

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



REMOCIÓN DE CADMIO EN SUELOS MEDIANTE LAVADO

VERTICAL CON DOS EXTRACTANTES

Tesis

Para optar el título de

INGENIERO AMBIENTAL

CECILIA GABRIELA SILVA SAMPE

TINGO MARÍA - PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú



FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

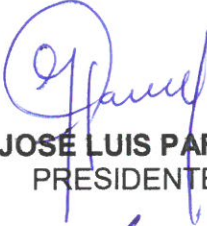
Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 08 de Enero del 2019, a horas 4:00 p.m. en la Sala de Sesiones del Departamento Académico de Ciencias Ambientales, para calificar la Tesis titulada:

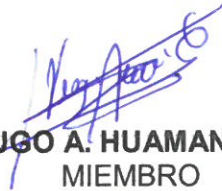
REMOCIÓN DE CADMIO EN SUELOS MEDIANTE LAVADO VERTICAL CON DOS EXTRACTANETES

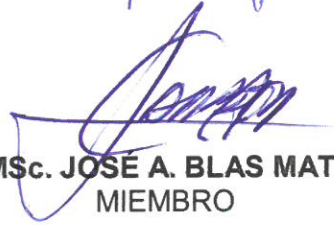
Presentado por la Bachiller: **CECILIA GABRIELA SILVA SAMPE**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **"BUENO"**

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

Tingo María, 23 de Abril de 2019


Ing. MSc. JOSÉ LUIS PAREDES SALAZAR
PRESIDENTE


Dr. HUGO A. HUAMANI YUPANQUI
MIEMBRO


Ing. MSc. JOSÉ A. BLAS MATIENZO
MIEMBRO


Ing. M.Sc. VICTOR M. BETETA ALVARADO
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



REMOCIÓN DE CADMIO EN SUELOS MEDIANTE LAVADO VERTICAL CON DOS EXTRACTANTES

Autor	: SILVA SAMPE, Cecilia Gabriela
Asesor	: BETETA ALVARADO, Victor Manuel
Escuela profesional	: Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
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 análisis de suelo y tratamiento de suelos - UNAS
Duración	: Fecha de inicio : 08/06/18 Terminó : 08/12/18
Financiamiento	: Propio

TINGO MARÍA - PERÚ

2018

DEDICATORIA

A mi padre Victor

A mi madre Kioko

A mi hermano Victor

A mis familiares, tíos, primos y abuelos

Gracias por formar parte de mi formación,

Como persona y profesional

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis no se hubiese finalizado sin la generosa ayuda de Dios y la valiosa contribución de todas y cada una de las personas que de una u otra forma contribuyeron en el desarrollo de la presente investigación. Sea éste mi reconocimiento hacia ellas.

Quiero expresar mis agradecimientos a la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por formar parte de mi formación y expreso mi reconocimiento al Ing. Víctor Beteta Alvarado, asesor del presente trabajo, quien me brindó su apoyo incondicional, a los señores miembros del jurado calificador: Ing. MSc. José Luis Paredes Salazar, al Dr. Hugo Alfredo Huamani Yupanqui y al Ing. MSc. José Antonio Blas Matienzo por sus oportunas sugerencias, su tiempo, amabilidad y generosidad.

Mi agradecimiento a los laboratorios de análisis de Suelos y tratamiento de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva y en especial, al Ing. Gilmer Neyra y al Ing Miguel Sanchez por su apoyo en la realización de las determinaciones analíticas que conllevaron el desarrollo del presente trabajo

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.1.1. Objetivos específicos.....	3
II. REVISIÓN LITERARIA	4
2.1. Suelo	4
2.2. Capacidad amortiguadora de los suelos.....	4
2.3. Formación del suelo	5
2.3.1. La lluvia	5
2.3.2. La atmósfera	6
2.4. Estructura del suelo.....	6
2.4.1. Horizonte A u orgánico y de lavado	6
2.4.2. Horizonte B o de acumulación	7
2.4.3. Horizonte C o de transición hacia la roca madre	7
2.5. Composición del suelo	7
2.5.1. Ígneas	7
2.5.2. Sedimentarias	7
2.5.3. Metamórficas.....	8
2.5.4. Componentes inorgánicos	8
2.5.5. Componentes orgánicos o humus	8
2.6. Características físicas del suelo	8

2.6.1. Textura del suelo	8
2.6.2. Presencia de carbonatos	11
2.6.3. Porosidad	11
2.6.4. Humedad.....	12
2.6.5. Densidad	12
2.7. Características químicas del suelo	12
2.7.1. pH del suelo	12
2.7.2. Contenido de materia orgánica.....	13
2.7.3. Presencia de óxidos	14
2.7.4. Salinidad	14
2.7.5. Conductividad eléctrica	15
2.8. Metales pesados	15
2.9. Cadmio.....	16
2.9.1. Antecedentes	16
2.9.2. Cadmio como metal pesado	17
2.9.3. Fuentes de cadmio	19
2.10. Suelo contaminado.....	21
2.11. Tratamiento de suelos	23
2.12. Lavado de suelo	25
2.13. Fundamento del lavado de suelo.....	26
2.13.1. Lavado in situ (soil flushing)	26

2.13.2. Lavado ex situ (soil washing)	28
2.14. Ácido acético	30
2.15. Jugo de carambola	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.1. Ubicación	33
3.1.1. Ubicación política	33
3.1.2. Ubicación geográfica	33
3.2. Materiales	34
3.2.1. Materiales de campo	34
3.2.2. Materiales de laboratorio	34
3.2.3. Equipos de laboratorio	34
3.2.4. Reactivos	34
3.2.5. Materiales para el equipo	34
3.3. Metodología	35
3.3.1. Muestreo del suelo	35
3.3.2. Características físicas del suelo	37
3.3.3. Caracterización química del suelo	42
3.3.4. Concentración de cadmio en el suelo	46
3.3.5. Diseño de sistema de lavado	48
3.3.6. Determinación del pH en función de la concentración de protones	49

3.3.7. Determinación de los efectos sobre el suelo lavado	50
3.3.8. Eficiencia del equipo.....	50
3.3.9. Diseño estadístico	50
3.3.10. Análisis de varianza	52
IV. RESULTADOS	54
4.1. Nivel de pH adecuado de los extractantes para la remoción de cadmio	54
4.1.1. Con respecto al suelo	54
4.1.2. Con respecto al Agua	61
4.2. Determinación del extractante con mayor eficiencia de remoción de cadmio.....	63
4.2.1. Con respecto al suelo	63
4.2.2. Con respecto al agua	65
4.3. Cambios químicos que sufrió el suelo al finalizar el lavado en comparación con el suelo inicial	67
4.3.1. Condiciones iniciales	67
4.3.2. Variación del pH	69
4.3.3. Potencial de Oxido Reducción.....	70
4.3.4. Conductividad.....	71
V. DISCUSIÓN.....	72
VI. CONCLUSIONES	77

VII. RECOMENDACIONES.....	78
VIII.ABSTRACT	79
IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	80
X. ANEXOS	87

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Área superficial típica de minerales del suelo	10
Cuadro 2. Punto cero de carga superficial	10
Cuadro 3. Tecnologías de Remediación aplicada en suelos clasificadas según el tipo de tratamiento	24
Cuadro 4. pH según grado de madurez	32
Cuadro 5. Estándares de calidad ambiental para suelo	35
Cuadro 6. Profundidad del muestreo de suelo	35
Cuadro 7. Número mínimo de puntos para el muestreo de identificación.....	36
Cuadro 8. Arreglo de tamices para la granulometría	41
Cuadro 9. Criterios de evaluación de un suelo con respecto a su pH	43
Cuadro 10. Ajuste de conductividad en función de la solución de KCl	45
Cuadro 11. Criterios para evaluar la salinidad de un suelo, con base a su conductividad	45
Cuadro 12. Número de Factores del diseño.....	51
Cuadro 13. Diseño estadístico	51
Cuadro 14. Análisis de Varianza del diseño factorial.....	53
Cuadro 15. Análisis de varianza para cadmio Total	55
Cuadro 16. Prueba de Tukey para cadmio total	56
Cuadro 17. Análisis de Varianza para cadmio disponible.....	58

Cuadro 18. Prueba de Tukey para Cadmio disponible	58
Cuadro 19. Análisis de varianza para cadmio soluble	60
Cuadro 20. Prueba de Tukey para Cadmio disponible	61
Cuadro 21. Análisis de varianza para cadmio	62
Cuadro 22. Prueba de Tukey para Cadmio	63
Cuadro 23. Caracterización fisicoquímica del suelo	68
Cuadro 24. Parámetros de calibración	90
Cuadro 25. Lectura de cadmio total	91
Cuadro 26. Lectura de cadmio disponible	92
Cuadro 27. Lectura de cadmio soluble.....	93
Cuadro 28. Lectura de cadmio soluble.....	94
Cuadro 29. Lectura de parámetros químicos – Suelo lavado	95
Cuadro 30. Lectura de parámetros químicos – Extractante usado en lavado	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Triángulo de textura del sistema de clasificación de la USDA	9
Figura 2. Esquema de lavado con agua in situ.....	26
Figura 3. Extracción de soluciones del suelo para tratar	27
Figura 4. Lavado in situ inyectado en el suelo.....	27
Figura 5. Grado de madurez de la carambola.....	31
Figura 6. Área de estudio.....	33
Figura 7. Partición de las muestras	36
Figura 8. Diseño de sistema de lavado vertical	49
Figura 9. Diseño experimental	52
Figura 10. Nivel de pH adecuado de los extractantes para cadmio total	55
Figura 11. Nivel de pH adecuado de los extractantes para cadmio disponible.....	57
Figura 12. Nivel de pH adecuado de los extractantes para cadmio soluble	59
Figura 13. Nivel de pH adecuado de los extractantes para remoción de cadmio	62
Figura 14. Eficiencia de remoción de cadmio total, disponible y soluble (analizado en suelo), por extractante	64

Figura 15. Eficiencia de remoción cadmio en función al pH (analizado en suelo), por extractante	65
Figura 16. Eficiencia de remoción de cadmio (analizado en agua), por extractante	66
Figura 17. Eficiencia de remoción de cadmio en función al pH (analizado en agua), por extractante	67
Figura 18. Comparación del pH inicial con respecto al pH de los tratamientos después del lavado con los extractantes	69
Figura 19. Comparación del potencial de óxido reducción inicial con respecto al final después del lavado con los extractantes	70
Figura 20. Comparación de la conductividad inicial con respecto al final después del lavado con los extractantes.....	71
Figura 21. Curva de calibración	90
Figura 22. Recolección de suelo	97
Figura 23. Traslado del suelo.....	97
Figura 24. Secado del suelo recolectado	98
Figura 25. Molido del suelo seco.....	98
Figura 26. Tamizado numero 1	99
Figura 27. Tamizado numero 2	99
Figura 28. Homogenización y partición de las muestras	100

Figura 29. Cortado de madera para estructura de lavado	100
Figura 30. Construcción de estructura de lavado	101
Figura 31. Acabado de la estructura de lavado	101
Figura 32. Ensamblaje del sistema de lavado	102
Figura 33. Acondicionamiento de contenedores de lavado	102
Figura 34. Sistema de Lavado terminado.....	103
Figura 35. Preparación del jugo de carambola.....	103
Figura 36. Guardado del jugo de carambola	104
Figura 37. Cernido del jugo de carambola	104
Figura 38. Extractante a un pH ₂	105
Figura 39. Extractante a un pH ₃	105
Figura 40. Extractante a un pH ₄	106
Figura 41. Puesta de suelo en Contenedores	106
Figura 42. Lavado vertical de suelo contaminado por cadmio	107
Figura 43. Análisis químico extractante post lavado.....	107
Figura 44. Muestras de agua para análisis de cadmio	108
Figura 45. Recogido de muestras de suelo lavadas.....	108
Figura 46. Secado de muestras lavadas	109
Figura 47. Tamizado de muestras secas lavadas	109
Figura 48. Muestras listas para análisis	110

Figura 49. Análisis químico de muestras de suelo lavado	110
Figura 50. Pesado de suelo para análisis de cadmio total, disponible y soluble.....	111
Figura 51. Agitación de suelo para análisis de cadmio total, disponible y soluble.....	111
Figura 52. Muestras listas para lectura de cadmio disponible y soluble	112
Figura 53. Preparación de muestras para cadmio total 1	112
Figura 54. Preparación de muestras para cadmio total 2	113
Figura 55. Muestras listas para lectura de cadmio total	113
Figura 56. Lectura de cadmio	114
Figura 57. Parámetros de calibración	114
Figura 58. Análisis inicial.....	115

RESUMEN

El trabajo realizado tuvo como objetivo remover cadmio en suelos mediante lavado vertical con dos extractantes; donde se determinó el nivel de pH adecuado, el extractante con mayor eficiencia para remoción de cadmio y la comparación de cambios químicos en el suelo antes y después del lavado.

Se armó un equipo de sistema de lavado vertical, el volumen de extractante usado fue de 2 L aplicados a 1 kg de suelo en cada tratamiento, con 3 repeticiones; se trabajó con dos tipos de extractantes el primero es el ácido acético y el segundo es el jugo de carambolas, trabajándolos a tres niveles de pH (2, 3 y 4); estos se arreglaron factorialmente, obteniendo 18 tratamientos más 3 testigo.

Al finalizar el sistema de lavado vertical se determinó que el mejor pH para la remoción de cadmio en ambos extractantes es a pH 2 y el extractantes más eficiente fue el ácido acético, alcanzando una eficiencia de 66.9 %, además de esto se mostraron cambios químicos en el suelo como el pH, el potencial de óxido reducción y la conductividad posterior al lavado.

Palabras claves: Ácido Acético, Jugo de Carambola, cambios químicos, extractante, nivel de pH.

I. INTRODUCCIÓN

El suelo como bien sabemos es uno de los recursos más importantes considerados para vida, por lo que un suelo contaminado, que ha sufrido un cambio en sus características físicas, químicas o biológicas, podría en el tiempo resultar incompatible con sus propiedades funcionales de uso, supondría una amenaza grave para la salud de los seres vivos e incluso para el ambiente en donde nos desarrollamos.

El cadmio es un metal pesado que por su naturaleza es uno de los elementos más tóxicos para la vida; también este se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza asociado a distintos minerales; además de esto el hombre ha contribuido enormemente a su dispersión desde los inicios de sus actividades ya sean mineras, agrícolas u otra asociada con el desarrollo industrial.

La Organización mundial de la salud, define a un suelo contaminado de cadmio cuando este sobrepasa el límite máximo permisible, que es 0.5 ppm o mg/kg, siendo potencialmente peligroso para la salud humana causando daños adversos; mientras que el estándar de calidad para el suelo nos dice que el máximo permisible es de 1.4 mg/Kg MS.

En los últimos años; la presencia de cadmio en los suelos y el riesgo de ingreso de éste elemento a la cadena alimenticia, ha generado mundialmente una preocupación creciente, debida al efecto tóxico de éste elemento en humanos y animales. El cadmio una vez consumido, puede acumularse en el riñón y en el hígado, puede alterar el sistema óseo, produciendo una enfermedad denominada Itai-Itai que fue detectada por primera vez en Japón (GODGUL 1995 *citado por* HUAYNATES, 2011).

Al igual que ocurre con otros contaminantes, es importante el cumplimiento de las normas que regulen el cadmio en cuanto a sus emisiones, niveles en el medio y niveles en alimentos y agua; así como también es importante la utilización de tecnologías para tratar suelos contaminados por cadmio.

En la presente tesis se planteó determinar la tasa de remoción del sistema de lavado de cadmio en suelos con diferentes extractantes químicos, para tener una visión sobre su aplicación en campo, por lo cual se planteó el problema ¿cuál es la capacidad de remover cadmio de suelo mediante lavado vertical con dos extractantes?, se tuvo como hipótesis que el lavado de suelos utilizando dos extractantes removerá más del 50% del cadmio del suelo.

1.1. Objetivo general

Remover cadmio en suelos mediante lavado vertical con dos extractantes

1.1.1. Objetivos específicos

- Determinar cuál es el nivel de pH adecuado de los extractantes para la remoción de cadmio
- Determinar el extractante con mayor eficiencia de remoción de cadmio.
- Comparar los cambios químicos que sufrió el suelo al finalizar el lavado con el suelo inicial

II. REVISIÓN LITERARIA

2.1. Suelo

Se define el suelo, desde el punto de vista medioambiental, como la fina capa superior de la corteza terrestre (litosfera), situada entre el lecho rocoso y la superficie. Está compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos. El suelo es uno de los componentes fundamentales del medio ya que constituye la parte de la superficie terrestre sobre la que se asienta la vida vegetal y sobre la cual se implanta la mayor parte de las actividades humanas, siendo, además, la interfaz entre la tierra, el aire y el agua lo que lo confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso (PASTOR, 2004).

2.2. Capacidad amortiguadora de los suelos

El suelo actúa como un sistema depurador, limitando la movilidad o la biodisponibilidad de diversos tipos de contaminantes. Esta capacidad, inactiva los efectos negativos de los contaminantes, transformándolos en especies no tóxicas para el ambiente, dicho proceso se realiza de forma natural debido a factores como las precipitaciones, intercambio iónico, pH del medio, contenido de materia orgánica, acción degradadora de los microorganismos presentes en el sustrato entre otros, pero cuando uno de los parámetros del sistema varía, el equilibrio se rompe. La interacción con el hombre, también

puede romper el equilibrio, debido a su uso (agricultura, ganadería, etc.), dicha modificación negativa del suelo se denomina degradación (RAMOS *et al.*, 2002, GALÁN y ROMERO, 2008, RUDA, *et al.*, 2004).

2.3. Formación del suelo

El suelo se forma a través de un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar sobre el medio rocoso original, produciendo la meteorización del mismo (PASTOR, 2004).

La meteorización es la erosión producida en una roca por los agentes atmosféricos, los cambios de temperatura y en general por la intemperie. Se dice que es de tipo físico cuando se produce la disgregación de la roca por procesos mecánicos que las trituran mediante grietas o fisuras, y se dice que es de tipo químico cuando la descomposición de la roca se produce por procesos químicos (disolución, hidratación, hidrólisis, carbonatación y oxidación), que atacan los minerales que las constituyen transformándolos en otros. En la formación del suelo intervienen, igualmente, otros factores como son los geológicos (naturaleza de la roca madre, erosión, sedimentación, etc.), climatológicos (temperatura, lluvia, viento, humedad, etc.) y biológicos (vegetación, fauna, etc.). Entre ellos cabe destacar los siguientes:

2.3.1. La lluvia

Que regula la humedad, el contenido del aire y el grado de lixiviación del suelo. El agua, en forma de una fina capa, rodea las partículas edáficas y tiene una importancia decisiva para el desarrollo de los procesos químicos en el medio natural, ya que en ella tienen lugar los fenómenos de disolución del suelo.

2.3.2. La atmósfera

Que en función de los factores climatológicos se interrelaciona con el suelo a través del balance entre la lluvia y la evaporación. La lluvia aporta al suelo agua con una cierta concentración de solutos mientras que en la evaporación se transfiere sólo agua al medio atmosférico. Dependiendo del balance evaporación-lluvia puede tener lugar la infiltración del agua hacia capas más profundas alimentando los acuíferos subterráneos, en un proceso en el que el agua interacciona con el suelo intercambiando elementos (lixiviación). Igualmente, el suelo tiene una relación indirecta con los gases atmosféricos, ya que se establece un intercambio de gases entre la atmósfera y el aire del suelo.

2.4. Estructura del suelo

Debido, sobre todo, a la infiltración del agua edáfica, que produce una cierta meteorización química, y a la actividad orgánica se desarrolla una estructura secuencial en capas distintas en el suelo según la profundidad. A estas capas se les denomina horizontes y constituyen el perfil del suelo. Básicamente en un suelo se distinguen, visualmente, tres horizontes en orden decreciente con características físicas, químicas, biológicas y funcionales diferentes (PASTOR, 2004).

2.4.1. Horizonte A u orgánico y de lavado

Compuesto por partículas minerales y materia orgánica (humus) que le confiere una coloración oscura. Los materiales finos y solubles son arrastrados por las aguas de infiltración (lixiviación) a los niveles inferiores (principalmente las sales de Fe, Al y Mn) y tiene lugar, conjuntamente, una transferencia de compuestos orgánicos.

2.4.2. Horizonte B o de acumulación

Se produce la acumulación de los compuestos de lixiviación procedentes del horizonte A. En esta capa tiene lugar la oxidación de la materia orgánica y una lixiviación moderada. Tiene coloración pardo rojiza por contener arcillas y óxidos (principalmente de Fe III).

2.4.3. Horizonte C o de transición hacia la roca madre

Es una capa fronteriza que separa la roca en proceso de meteorización de la roca sin alterar.

2.5. Composición del suelo

La composición química de un suelo viene determinada, en buena parte, por el tipo de material originario (roca), puesto que es el material base a partir del cual se forma el suelo. Junto a este material se va añadiendo, en el transcurso del tiempo que dura la formación de un suelo, materia orgánica procedente de organismos vivos (PASTOR, 2004). El contenido mineral de un suelo es el que determina su fertilidad. Básicamente son tres los tipos de rocas que pueden ser material original del suelo:

2.5.1. Ígneas

Formadas por solidificación de un material fundido (lava). Tienen como término medio un 50 % de óxido de silicio (SiO_2)

2.5.2. Sedimentarias

Formadas por sedimentación de materiales depositados por el viento, el agua, el hielo o la gravedad (areniscas (SiO_2), lutitas y arcillas), o por procesos químicos o bioquímicos (evaporitas y calizas).

2.5.3. Metamórficas

Formadas por recristalización de rocas ígneas o sedimentarias en condiciones de elevada presión y/o temperatura.

Por término medio, un suelo tiene la siguiente composición volumétrica:

- 50% de materia sólida: 45 % mineral y 5 % orgánica.
- 20-30 % disolución acuosa.
- 20-30 % aire.

Los constituyentes del suelo son de dos tipos:

2.5.4. Componentes inorgánicos

Son los productos derivados de la meteorización y, según su tamaño y naturaleza, se clasifican en gravas, arenas y arcillas (la cantidad relativa de cada una de ellas constituye la textura). Están constituidos por partículas minerales. En los poros y cavidades que existen entre las partículas también hay agua y aire. Se puede considerar que existen dos componentes mayoritarios en todo tipo de suelos: los silicatos y los óxidos.

2.5.5. Componentes orgánicos o humus

Son resultado de la descomposición de los restos de seres vivos por acción de las bacterias y los hongos. Su presencia da calidad al suelo, retiene el agua y sirve como fuente de alimento de microorganismos que fertilizan el suelo.

2.6. Características físicas del suelo

2.6.1. Textura del suelo

La textura del suelo es la proporción relativa por tamaños de partículas de arena, limo y arcilla; las cuales al combinarse permiten



Desde un punto de vista de la textura, Las arcillas son uno de los componentes mayoritarios del suelo y se encuentran en forma de complejos órgano-minerales, asociadas a coloides y precipitados de óxidos (TANDY *et al.*, 2004).

Existen varios tipos de arcillas que difieren entre ellas principalmente por su área superficial y por la presencia de cargas negativas en

su superficie que posibilitan la retención de elementos trazas. A mayor área específica hay mayor probabilidad de adsorción de metales como se observa en el cuadro 1 (REYES, 2010).

Cuadro 1. Área superficial típica de minerales del suelo

Minerales del suelo	Área superficial (m ² /g)
Caolinita	7 – 30
Illita	65 – 100
Montmorillonita	700 – 800
Óxidos de manganeso	30 – 300
Goethita	40 – 80
Carbonatos/arenas	0.5 – 5

Fuente: REYES, 2010

Sin embargo, la importancia de los minerales de la arcilla como adsorbentes es un factor dependiente de las características del sustrato, pues pasa a tener menor importancia cuando existe un contenido mayoritario de materia orgánica y/o oxihidróxidos de hierro, como se aprecia en el cuadro 2 (GALÁN y ROMERO, 2008).

Cuadro 2. Punto cero de carga superficial

Mineral	pH
Cuarzo/sílice	2.0 - 3.0
Caolinita	4.0 - 4.5
Goethita	7.0 - 8.0
Hematites	8.0 - 8.5
Gibbsita	9.0 - 9.5
Humus	4.0 - 4.5

Fuente: GALÁN y ROMERO, 2008

Por otro lado, los suelos que contienen una proporción muy elevada de limo, son suelos muy compactos, pero no tanto como los arcillosos. Estos suelos resultan de la sedimentación de materiales muy finos arrastrados por las aguas o depositados por el viento. Suelen presentarse junto a los lechos de los ríos y son muy fértiles.

Mientras que los suelos arenosos son considerados suelos secos en donde hay muy poca humedad y producen contaminación a nivel freático pues no tienen capacidad de fijación (GALÁN y ROMERO, 2008).

2.6.2. Presencia de carbonatos

Los carbonatos presentes en el suelo influyen en el comportamiento de los metales pues estos suelen precipitar en los compuestos carbonatados o pueden adsorberse a los óxidos que se encuentran en forma de precipitados en los carbonatos (REYES, 2010).

Los carbonatos favorecen la precipitación de los metales pesados o la adsorción de los mismos, sobre todo cuando los valores de pH son altos (GALÁN y ROMERO, 2008).

2.6.3. Porosidad

El espacio poroso del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso.

Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los microporos retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas. (FAO, 2017)

2.6.4. Humedad

El contenido de humedad del suelo, está formado por la suma de agua libre, capilar e higroscópica en donde la importancia del contenido de agua que presenta un suelo junto con la cantidad de aire, representa una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este (FERNÁNDEZ *et al.*, 2006).

2.6.5. Densidad

La densidad de un suelo se refiere al peso por volumen del suelo. Existen dos tipos de densidad, real y aparente. La densidad real, de las partículas densas del suelo, varía con la proporción de elementos constituyendo el suelo y en general está alrededor de 2.65.

Una densidad aparente alta indica un suelo compacto o tenor elevado de partículas granulares como la arena. Una densidad aparente baja no indica necesariamente un ambiente favorecido para el crecimiento de las plantas (FAO, 2017).

2.7. Características químicas del suelo

2.7.1. pH del suelo

El pH normal del suelo varía entre 4 y 8,5; cuando el pH de un sustrato está fuera de este rango, la movilidad de los metales, su adsorción y solubilidad se ven modificadas (TANDY *et al.*, 2004).

La mayoría de metales presentes en el suelo, se encuentran más disponibles en medio ácido; sin embargo, metales como el arsénico, molibdeno, selenio y cromo tienden a estar más disponibles a pH alcalinos (GALÁN. y ROMERO, 2008).

El pH determina el grado de adsorción de iones por las partículas del suelo, afectando así su solubilidad, movilidad, disponibilidad y formas iónicas de un contaminante y otros constituyentes del suelo. La solubilidad de muchos contaminantes inorgánicos cambia en función del pH (PIÑA, 2012).

Además, un incremento en el pH del suelo incrementa las áreas efectivas de adsorción de metales en arcillas y materia orgánica pero no implica que incremente la adsorción de dichos metales, pues esto depende además de la afinidad que exista entre el metal contaminante y el material adsorbente (REYES, 2010).

2.7.2. Contenido de materia orgánica

Este es uno de los factores que más influyen en la movilidad de los metales en el suelo debido a la facilidad que tiene la materia orgánica para reaccionar con los metales formando complejos y quelatados cuya movilidad es superior a la del metal por sí solo (GALÁN y ROMERO, 2008).

Las interacciones entre los metales y la materia orgánica también pueden ocasionar la formación de complejos organometálicos lo cual es un gran problema puesto que estos compuestos son altamente tóxicos y se dispersan fácilmente en el ambiente debido a su solubilidad (RODRÍGUEZ, *et al.*; 2009).

La presencia de grupos reactivos en la materia orgánica (periferia de los ácidos húmicos y flúvicos) permite la interacción con los metales pesados cuya efectividad depende de la acidez de estos grupos y del pH del medio (NAVARRO y NAVARRO, 2003).

2.7.3. Presencia de óxidos

En el suelo se pueden encontrar diferentes tipos de óxidos siendo los de hierro, manganeso y aluminio los que tienen una mayor capacidad de retención de metales pesados (UCHIMAYA *et al.*; 2010).

Estos óxidos se diseminan con facilidad por el suelo lo cual los hace muy activos e incrementa su capacidad de adsorber metales como Cu, Pb, Zn, Co, Cr entre otros (GALÁN y ROMERO, 2008).

Las condiciones oxidantes del suelo favorecen la retención de metales, mientras que las condiciones reductoras disuelven a los óxidos y permiten la liberación de los mismos (REYES, 2010).

2.7.4. Salinidad

En los suelos con alta salinidad se puede apreciar una movilidad elevada de los metales y una mayor retención de los mismos ya que los aniones como Cl^- y SO_4^{2-} forman compuestos estables con metales como Pb, Zn, Cu, Cd y Hg (GALÁN y ROMERO, 2008).

Además, cuando la salinidad de un sustrato aumenta, se produce una competencia entre los metales pesados y los metales alcalinos y alcalinotérreos por ligarse a los sitios de intercambio catiónico activos, lo que implica que los metales pesados pueden ser liberados a las fuentes de agua, causando contaminación (REYES, 2010).

De acuerdo con los valores de conductividad eléctrica, pH y porcentaje de sodio intercambiable, los suelos se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- Suelos salinos. Se caracterizan porque su extracto de saturación tiene un valor de conductividad eléctrica igual o superior que 4 mmhos/cm a 25 °C y la cantidad de sodio intercambiable es menor de 15%. Por lo general tienen una costra de sales blancas, que pueden ser cloruros, sulfatos y carbonatos de calcio, magnesio y sodio.
- Suelos sódicos. Presentan un color negro debido a su contenido elevado de sodio. Su porcentaje de sodio intercambiable es mayor que 15, el pH se encuentra entre 8.5 y 10.0, y la conductividad eléctrica está por debajo de 4 mmhos/cm a 25°C.
- Suelos salino-sódicos. Poseen una conductividad eléctrica de 4 mmhos/cm a 25°C, una concentración de sodio intercambiable de 15% y el pH es variable, comúnmente superior a 8.5 (MUÑOZ *et al.*, 2000).

2.7.5. Conductividad eléctrica

Este parámetro está en función de la naturaleza del sustrato y especialmente de la variación del pH como consecuencia del proceso electroquímico, pues crean perfiles de voltaje que modifican la conductividad del medio (DE LA ROSA *et al.*, 2007).

2.8. Metales pesados

Los metales pesados; son todos aquellos que tienen una densidad mayor a 5 g/cm³, poseen una conductividad eléctrica alta, son dúctiles, la mayoría son elementos de transición con capacidad para formar compuestos que pueden o no sufrir actividad redox. De los 902 elementos que se

encuentran naturalmente 21 son no metales, 16 son metales ligeros y los tres restantes, incluyendo al Arsénico, son metales pesados. Se incluye el cadmio, cromo, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, cobalto, mercurio, níquel, plomo, aluminio y selenio (Welch, 1995 *citado por* HUAYNATES, 2011).

El contenido de metales pesados en suelos; debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogenéticos que dan lugar al suelo. Pero la actividad humana ha incrementado el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables. De hecho, la entrada de metales pesados en el suelo ha ido aumentando desde que comenzó la industrialización (Han, 2003 *citado por* HUAYNATES, 2011).

2.9. Cadmio

2.9.1. Antecedentes

El cadmio se descubrió en 1817, en minerales de zinc. Históricamente todos los episodios ambientales importantes causados por el cadmio han sido resultado de la contaminación proveniente de la minería y refinado de materiales no ferrosos. El problema ambiental más serio que ha sido reportado hasta la fecha ocurrió en el valle del río Jinzū, en Japón, en donde el arroz de consumo local se regaba con agua del río y este estaba contaminado con cadmio disuelto que procedía de una minera de zinc y plomo situada río arriba. Cientos de personas de esta área, particularmente mujeres de edad avanzada y multíparas presentaron una enfermedad degenerativa de los huesos a la que se llamó "Itai-Itai" (Saldívar et al., 1997 *citado por* CORNEJO, 2015).

En las personas afectadas, algunos iones Ca^{2+} de los huesos fueron remplazados por iones Cd^{2+} , pues ambos iones tienen el mismo estado de oxidación y casi el mismo tamaño, ocasionando osteoporosis y malformaciones en los huesos (CORNEJO, 2015)

2.9.2. Cadmio como metal pesado

El cadmio es uno de los metales traza del suelo más solubles (James, 2002 *citado por* HUAYNATES, 2011) y peligrosos, debido a su alta movilidad y que en pequeñas concentraciones tiene efectos nocivos en las plantas.

El comportamiento del cadmio incorporado al suelo; está en función del tipo de reacción química y en los diversos procesos físicos y biológicos que ocurren en el suelo. Las principales reacciones involucradas en las interacciones entre los metales y los componentes del suelo son las de adsorción, precipitación y formación de complejos. En suelos incubados con cadmio, (Burlo, 1997 *citado por* HUAYNATES, 2011) encontró que éste se mantiene en solución a través del tiempo, lo que conserva su efecto tóxico. (Lampkin, 1998 *citado por* HUAYNATES, 2011) señalan que la disponibilidad y movilidad del cadmio en el suelo dependen del pH, humedad, materia orgánica, tipo y cantidad de arcilla, además de la cantidad y número de años de aplicación de fertilizantes fosforados.

El cadmio es un elemento químico de número atómico 48; peso atómico de 112.40 una y densidad relativa de 8.65 a 20°C (68 °F), valencia química 2. Su punto de fusión de 320.9°C (610 °F) y de ebullición de 765°C

(1410 °F). Es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado (HUAYNATES, 2011).

No se encuentra en estado libre en la naturaleza, y la greenockita (sulfuro de cadmio) es el único mineral de cadmio, aunque no es una fuente comercial del mismo. Casi todo el que se produce es obtenido como subproducto de la fundición y refinamiento de los minerales de zinc, pigmentos de industrias textiles, reciclaje de subproductos a base de hierro y aceites para motores y el uso de fertilizantes y pesticidas (Lasat, 2000 *citado por* HUAYNATES, 2011).

Este metal se encuentra en forma de sales como el sulfato de cadmio), el cual se utiliza como astringente. El sulfuro de cadmio (CdS), que aparece como un precipitado amarillo brillante cuando se pasa sulfuro de hidrógeno a través de una disolución de sal de cadmio, es un pigmento importante conocido como amarillo de cadmio. El seleniuro (CdSe), se utiliza también como pigmento (Terry, 2000 *citado por* HUAYNATES, 2011).

El nivel natural de cadmio en el suelo es generalmente <1 ppm. Puede existir de forma natural en altas concentraciones cuando se encuentra asociado a minerales de cinc, o en áreas cercanas a depósitos de cadmio. Básicamente se recupera como subproducto de los procesos de fundición y refinamiento de concentrados de cinc en una proporción de 3.0-3.5 kg/tm de zinc. (HUAYNATES, 2011).

En suelos contaminados; las especies de cadmio soluble predominantes es el ion libre Cd^{2+} junto con otras especies neutras como CdSO_4 o CdCl_2 , presentes en cantidades crecientes donde el pH es mayor que

6.5. El cadmio no tiene función biológica esencial y tanto él como sus compuestos son muy tóxicos para plantas y animales (Adriano, 2001 *citado por* HUAYNATES, 2011).

2.9.3. Fuentes de cadmio

– Minería

Más de cuatrocientos años de actividades mineras, en muchos casos ininterrumpidas, han dejado tras de sí montañas de residuos mineros conteniendo diversos materiales potencialmente tóxicos, a los cuales se exponen las poblaciones, la flora y la fauna, a través del suelo, aire o de las aguas contaminadas. En otros casos, existe el riesgo de fenómenos de bioacumulación en las distintas fases de las cadenas alimenticias. Dos de los contaminantes más frecuentes en las zonas mineras del país son el arsénico y el plomo, a los cuales se suma el cadmio en algunas de ellas (HUAYNATES, 2011).

– Explotación de petróleo

Las intensas actividades petroleras y de obtención de los derivados del petróleo en diversas regiones del país y en el mar, incluso aquellas donde existe una vulnerabilidad ecológica, han contribuido a una severa contaminación por hidrocarburos y otro tipo de sustancias potencialmente tóxicas, que han penetrado al suelo y contaminando cuerpos de agua (Garbisu y Alkorta, 2001 *citado por* HUAYNATES, 2011).

– Actividades agrícolas

El empleo de agroquímicos en las actividades agropecuarias, frecuentemente mediante prácticas inadecuadas, constituye una de las formas

de contaminación más importante, que impactan no solo los suelos de las áreas en donde se aplican, sino que llegan a través de los ríos hasta las zonas costeras afectando las especies marinas. La aplicación de plaguicidas genera conflictos sociales por el elevado número de trabajadores del campo intoxicados por estos productos, con un alto índice de mortalidad, así como también por la sospecha de efectos adversos sobre la salud de las comunidades vecinas, la flora y la fauna (Garbisu y Morral 1994 *citado por* HUAYNATES, 2011).

– **Actividades industriales**

La producción de bienes de consumo a lo largo y ancho del territorio nacional ha generado importantes focos de contaminación, en primer término, por la falta de conciencia ecológica que prevaleció por muchos años y en segundo por el manejo inadecuado de materiales y todo tipo de residuos, lo cual representa un serio problema en aquellos lugares donde se desarrollan éstas actividades.

– **Instalaciones de servicios.**

Se han acumulado las evidencias de graves problemas de contaminación de suelos, que conlleven al riesgo de contaminación de acuíferos, por fugas en contenedores de materiales peligrosos, así como por derrames continuos de lubricantes, solventes orgánicos y otro tipo de sustancias, por practica inadecuadas en su manejo, principalmente en estaciones de servicio de gasolina, talleres de reparación de autotransportes, estaciones e instalaciones de ferrocarriles, terminales de autobuses, aeropuertos y diversas industrias (Morral, 2001 *citado por* HUAYNATES, 2011).

Uso de aguas residuales en irrigación de campos agrícolas. El empleo de aguas residuales para riego de cultivos agrícolas por su alto contenido de materia orgánica, que actúa como fertilizante, y otras sustancias nocivas, implica el riesgo de que los suelos y los cultivos se contaminen con los residuos químicos provenientes de descargas industriales y municipales (HUAYNATES, 2011).

– **Basureros a cielo abierto.**

La disposición inadecuada de los residuos sólidos municipales, que pueden contener residuos peligrosos, representa una seria amenaza de contaminación a los suelos y cuerpos de agua. Las principales sustancias que se consideran causante principales de problema de contaminación son: metales (Pb, Cd, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Sn, Ba, Hg), compuestos inorgánicos, compuestos aromáticos y poliaromáticos, hidrocarburos aromáticos y agroquímicos (Morrall, 2001 *citado por* HUAYNATES, 2011).

2.10. Suelo contaminado

Un suelo contaminado es aquel que ha sufrido un cambio en sus características físicas, químicas o biológicas que por su naturaleza, dimensión o duración en el tiempo resulte incompatible con sus propiedades funcionales de uso o suponga una amenaza grave para la salud pública o el ambiente. (FERNÁNDEZ Y GARCÍA, 2013).

En los suelos, los metales pesados, pueden quedar retenidos o disueltos en la solución del suelo por procesos de adsorción, complejación y precipitación o estar absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pasar a la atmósfera por volatilización o movilizarse a las

aguas superficiales o subterráneas. La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez vertidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Todo el proceso y persistencia de los metales pesados en el ambiente, desencadena un sin número de efectos nocivos para todos los seres vivos que dependen de las plantas y animales, y así sucesivamente hasta llegar a los niveles más altos de la cadena trófica, donde las concentraciones de metal pesado son mayores (Han, 2003 *citado por* HUAYNATES, 2011).

Según la FAO/OMS en 1972 el cadmio puede ingerirse como máximo semanalmente 0.4-0.5mg por persona y en el agua de 1 Oug/1, debido a su toxicidad, mientras que para el plomo es de 3mg/kg por persona y la concentración de níquel es de 4.8mg/l de agua bebida por una persona. Las concentraciones de estos metales van a generar efectos agudos y crónicos. Entre los efectos agudos, en el hombre, las principales manifestaciones son la aparición de trastornos gastrointestinales tras la ingestión y las neumonitis químicas, mientras por último los efectos crónicos, se relacionan con la disfunción renal y los trastornos pulmonares, neurológicos, sobre el sistema cardiovascular, reproductor y carcinogenicidad (OMS, 1987 *citado por* HUAYNATES, 2011).

El cadmio se libera al aire, al suelo y al agua por actividades humanas. Se introduce al suelo a través de residuos sólidos de la producción de metales y de la manufactura de artículos que contienen cadmio, así como la cenizas producto de la incineración de residuos urbanos; está también presente en pequeñas cantidades en los fertilizantes fosfatados, desde donde puede

cederse al suelo y de este a los vegetales, por otra parte, los ríos contaminados con cadmio pueden contaminar al suelo por medio de la irrigación para propósitos agrícolas (Jinadasa y Mejare, 1992 *citado por* HUAYNATES, 2011).

La absorción de cadmio por las plantas es la principal ruta de entrada de éste metal en la cadena alimentaria, siendo su concentración en el suelo y el pH del mismo los factores determinantes del proceso (ALLOWAY, 1997 *citado por* HUAYNATES, 2011).

La normatividad mundial FAO clasifica al suelo como normal cuando contienen menos de 0.35 mg Cd/kg y se considera un suelo peligroso cuando este nivel aumenta a 3 - 5 mg Cd/kg de suelo (OMS, 1987 *citado por* HUAYNATES, 2011).

2.11. Tratamiento de suelos

Existe una gran variedad de tecnologías para la remediación de suelos contaminados, las cuales se pueden clasificar bajo distintos criterios: objetivo de la remediación, lugar en que se aplica el proceso de remediación y tipo de tratamiento utilizado, como se muestra en el cuadro 3.

Si se considera el lugar de aplicación, las técnicas In Situ son las que se aplican directamente en el sitio contaminado y las técnicas Ex Situ son aquellas en que se requiere de la extracción del medio contaminado para poder ser tratado (ALCAINO, G. 2012).

Según el objetivo de remediación, las técnicas de descontaminación se enfocan en la disminución o eliminación de la concentración de los contaminantes del medio, las técnicas de contención son las que aíslan los contaminantes del medio sin tener que actuar en él, y las

técnicas de confinamiento alteran las condiciones fisicoquímicas del medio consiguiendo la reducción de la movilidad de los contaminantes. (ALCAINO, G. 2012).

Si las tecnologías de remediación se clasifican según el tipo de tratamiento, los tratamientos biológicos usan la actividad metabólica natural de ciertos microorganismos para degradar, transformar o remover los contaminantes, los tratamientos fisicoquímicos logran la separación, contención o destrucción de contaminantes en el medio aprovechando las propiedades físicas y químicas de ellos y los tratamientos térmicos utilizan altas temperaturas para descomponer, volatilizar o fundir los contaminantes (ALCAINO, G. 2012).

Cuadro 3. Tecnologías de Remediación aplicada en suelos clasificadas según el tipo de tratamiento

Tratamientos			
Biológicos	Fisicoquímicos	Térmicos	Mixtos
Bioaumentación	Lavado de suelos Sellado de suelo	Calentamiento por conducción térmica	
Biodegradación	Electrorremediación	Calentamiento por radiofrecuencia	Extracción multifase
Bioestabilización	Extracción de agua	Calentamiento por resistencia eléctrica	
Bioventing Compostaje	Extracción de aire	Desorción térmica	
Fitorremediación	Flushing Oxidación UV	Pirólisis	Atenuación Natural
Lodos Biológicos	Pozos de Recirculación	Vitrificación	

Fuente: ALCAINO, G. 2012

2.12. Lavado de suelo

El lavado de suelos es un tratamiento generalmente ex situ en el que el suelo excavado es previamente separado físicamente por tamizado, densidad o gravedad para eliminar las partículas de grava más gruesas, con poca capacidad de adsorción, de la fracción fina y seguidamente lavado con extractantes químicos que permitan desorber y solubilizar los contaminantes. Después del tratamiento químico, el suelo se vuelve a lavar con agua para eliminar los contaminantes y agentes extractantes residuales y se devuelve a su lugar de origen. La eficacia de esta técnica depende del grado de adsorción del contaminante, controlado por una serie de propiedades 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 et al, 2007). El lavado de suelos se utiliza fundamentalmente para suelos contaminados con compuestos orgánicos semivolátiles, hidrocarburos derivados del petróleo y sustancias inorgánicas como cianuros y metales pesados, y es menos eficaz para tratar compuestos orgánicos volátiles y pesticidas. Las sustancias extractantes utilizadas pueden ser ácidos, bases, agentes quelantes, alcoholes, surfactantes y otros aditivos como sales. Se ha visto que agentes quelantes como el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), el ácido cítrico y el ácido nitrilotriacético (NTA), y otros ácidos como el ácido clorhídrico son eficaces a la hora de eliminar Cu, Pb y Zn de suelos contaminados. Asimismo, los surfactantes (compuestos con una parte hidrofóbica y una parte hidrofílica de naturaleza catiónica, aniónica y biológica)

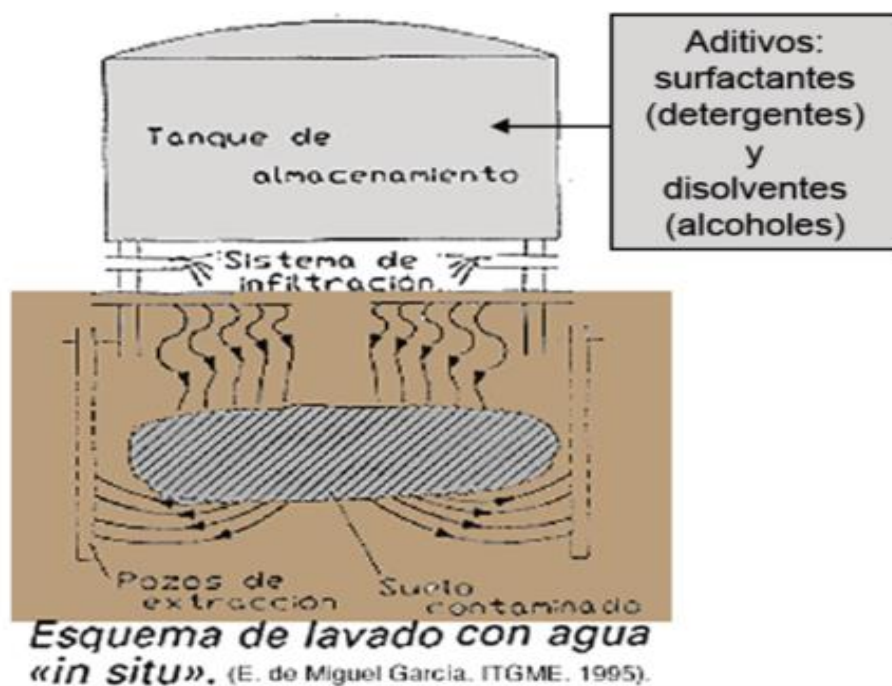
son eficaces a la hora de separar los compuestos no acuosos de fase líquida del agua y compuestos derivados del petróleo (Ortiz.et al, 2007).

2.13. Fundamento del lavado de suelo

2.13.1. Lavado in situ (soil flushing)

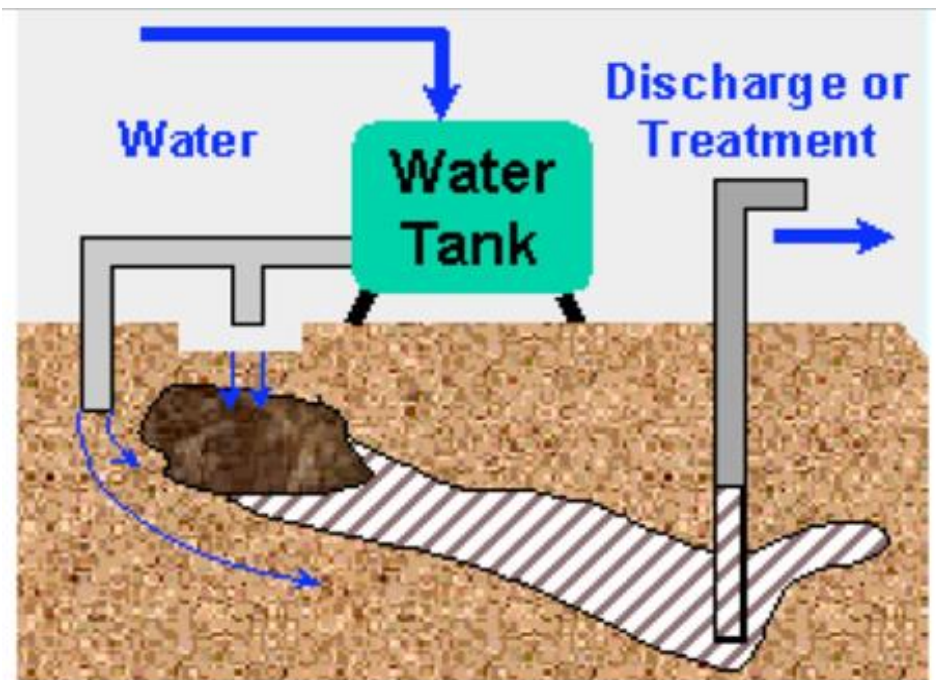
Para la realización del lavado in situ el agua a veces contiene algún aditivo para favorecer la solubilidad del contaminante, dentro de los aditivos tenemos: los surfactantes (detergentes) y disolventes (alcoholes); la efectividad es muy dependiente del tipo de suelo y contaminantes.

Las soluciones extraídas del suelo deben ser tratadas con algún sistema de depuración para separar los contaminantes del agua con los aditivos, para su reutilización y ello representa un importante aumento de los costes. Un inconveniente adicional es la posibilidad de que en el suelo pueda quedar un residuo aditivo.



Fuente: GARCÍA, E. 1995

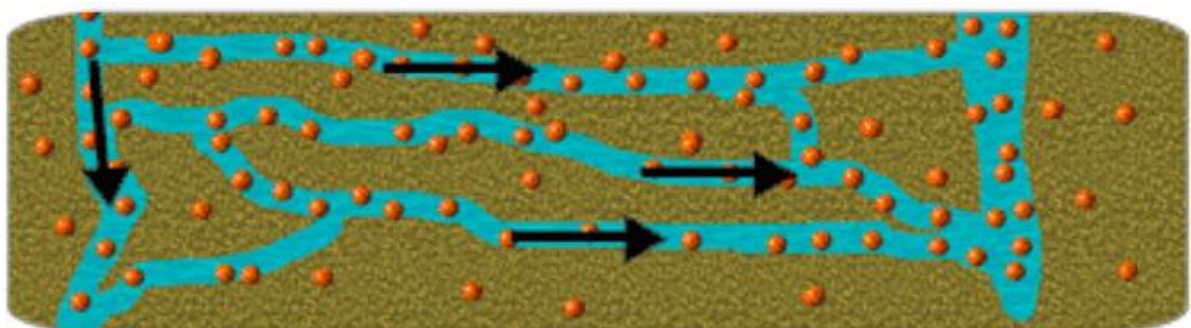
Figura 2. Esquema de lavado con agua in situ



Fuente: GARCÍA, E. 1995

Figura 3. Extracción de soluciones del suelo para tratar

El sistema maneja gran cantidad de líquidos que deben ser tratados antes de



volverlos a usar.

Fuente: GARCÍA, E. 1995

Figura 4. Lavado in situ inyectado en el suelo

En el lavado in situ el líquido es inyectado al suelo, atraviesa su masa y se disuelven los contaminantes; estos son arrastrados a los macro poros desde donde son bombeados a la superficie.

Dentro de sus aplicaciones y ventajas tenemos que:

Los VOCs y SVOCs que son solubles en agua, cianuros metálicos, disolventes nitrogenados, compuestos inorgánicos y metales pesados.

Dentro de sus limitaciones e inconvenientes tenemos:

- Los contaminantes no se destruyen.
- Los líquidos resultantes son abundantes y deben ser tratados.
- Los aditivos surfactantes y disolventes, se adhieren a las partículas del suelo disminuyendo la porosidad y quedan en mayor o menor cantidad retenidos en el suelo, contaminándolos.
- Los contaminantes orgánicos son fuertemente adsorbidos por las arcillas, por lo que resultan difíciles de arrastrar.
- En ocasiones, la descontaminación conseguida por esta técnica resulta insuficiente y es necesario complementar el proceso con otros procedimientos.

2.13.2. Lavado ex situ (soil washing)

El lavado ex situ es igual a la técnica in situ, pero ahora el suelo se excava y se lleva a una planta para su tratamiento, consiguiendo en este casi una limpieza mucho más completa y rápida.

Los contaminantes pueden ser arrastrados por disoluciones, pero también en suspensión.

Cuando el suelo se excava y se lleva a una planta, primero se homogeniza y luego se separa por tamaños y se trata en un sistema de lavado. La separación por tamaños se realiza para facilitar las labores de limpieza pues los contaminantes se unen preferentemente y si es necesario se repiten los lavados.

El proceso combina la separación por disolución y flotación por un lado y por otro, para los contaminantes pesados por gravedad. Se trata de una técnica muy experimentada en minería.

Dentro de las aplicaciones y ventajas tenemos:

- El proceso de lavado es mucho más enérgico (mezclado, agitado, tamizado y tratamiento selectivo) que en el tratamiento in situ con lo que se consigue una descontaminación mucho más intensa y rápida.
- Utilizable para cualquier tipo de suelo.
- Contaminantes solubles en agua.

Dentro de sus limitaciones e inconvenientes tenemos:

- Suelos con alto contenido de materia orgánica que requieren tratamiento previo.
- Los contaminantes orgánicos son fuertemente adsorbidos por las arcillas, por lo que resultan difíciles de eliminar.
- Para mezclar complejas de contaminantes hay que programar unos lavados secuenciales.

- Los líquidos resultantes son abundantes y deben de ser tratados.

2.14. Ácido acético

El ácido acético (también llamado ácido metilcarboxílico o ácido etanoico) puede encontrarse en forma de ionacetato. Se encuentra en el vinagre, y es el principal responsable de su sabor y olor agrios. Su fórmula es $\text{CH}_3\text{-COOH}$ ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$). De acuerdo con la IUPAC, se denomina sistemáticamente ácido etanoico.

Es el segundo de los ácidos carboxílicos, después del ácido fórmico o metanoico, que solo tiene un carbono, y antes del ácido propanoico, que ya tiene una cadena de tres carbonos.

Composición e información de componentes:

- Ingrediente : Ácido Acético
- Formula : CH_3OOH
- Porcentaje por peso : 99 %
- Numero CAS : 64-19-7

Propiedades físicas y químicas:

- Aspecto físico: líquido, límpido, incoloro, olor característico picante (vinagre)
- pH $\approx$ 0,5 (10 g/l)
- Punto de fusión: 16° C

- Punto de ebullición: 118° C
- Punto de inflamación: 40° C (formación de mezclas explosivas)
- Temperatura de auto ignición: 485° C
- Solubilidad: Miscible con el agua
- Densidad: 1,05 gr./cm³

2.15. Jugo de carambola

La carambola (*Averrhoa carambola* L.), pertenece a la familia Oxalidaceae y es originaria de Asia Tropical. (NAKASONE, *et al* 1998).

La carambola contiene ácido ascórbico, ácido cítrico y ácido oxálico en su gran mayoría.

El ácido oxálico o ácido etanodioico es un ácidodicarboxílico con dos átomos de carbono. Su fórmula molecular es $H_2C_2O_4$ y su fórmula desarrollada $HOOC-COOH$. Su nombre deriva del género de plantas *Oxalis*, por su presencia natural en ellas; el ácido oxálico es un ácido orgánico unas 3000 veces más potente que el ácido acético.

Normalmente los valores de pH de la carambola en los últimos estados de desarrollo oscilan alrededor 1,52 y 2,01 (GONZÁLEZ, 2000)



Figura 5. Grado de madurez de la carambola

Cuadro 4. pH según grado de madurez

mi	Peso (g)	Grado de madurez	pH
1	120.18	5	2.25
2	13.7	2	2.3
3	90.85	3	1.76
4	58.59	4	1.99
5	99.73	5	1.76
6	102.2	5	1.94
7	176.3	5	1.78
8	79.02	5	1.81
9	72.33	1	1.77

Fuente (Bermudez, 2018)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

3.1.1. Ubicación política

El trabajo se desarrolló en el laboratorio de tratamiento de suelos de la UNAS, Tingo María, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado.

3.1.2. Ubicación geográfica

El laboratorio de tratamiento de suelos está 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).



Figura 6. Área de estudio

3.2. Materiales

3.2.1. Materiales de campo

Contenedores, pala, machete, costalillos, rejilla tamiz, manta de plástico, formato de notas, lapicero, mascarilla, rafia, mapa de ubicación, solicitud, wincha de 50 m, sacos y GPS marca Garmin 62S.

3.2.2. Materiales de laboratorio

Embudo, papel filtro, frascos de vidrio de boca ancha, matraces, piceta, pipeta de 10 mL, probeta, vasos de precipitado de 100mL, papel suave, guantes, mascarilla, guardapolvo.

3.2.3. Equipos de laboratorio

Espectrofotómetro de absorción atómica en llama Spectr AA 55B, multiparámetro marca Hanna, termómetro, Tamices de diferentes mayas, balanza analítica marca Hanna, agitadores.

3.2.4. Reactivos

Solución estándar de cloruro de potasio (KCl) 0.1 N., solución estándar de cloruro de potasio (KCl) 0.01 N., agua destilada, agua desionizada solución amortiguadora de pH 7 y 4, ácido nítrico (HNO_3), ácido clorhídrico (HCl), ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido acético (CH_3COOH), acido natural (Jugo de carambola), EDTA, hexametáfosfato de sodio.

3.2.5. Materiales para el equipo

18 cubetas, 18 contenedores, 18 aspersores, 18 mangueras de 27 cm, 3 estructuras de soporte hechos de madera.

3.3. Metodología

3.3.1. Muestreo del suelo

El muestreo se realizó empleando la guía para muestreo de suelos en el marco del Decreto Supremo N°002-2013, MINAN, Estándares de Calidad Ambiental para suelo.

Se realizó el muestreo de identificación para determinar la existencia de contaminación del suelo a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los Estándares de Calidad Ambiental y/o los valores de fondo de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 002-2013-MINAM, teniendo en cuenta el cuadro 4, para lo cual se fue al CC.PP. de Picuroyacu, Castillo Grande, ubicado aproximadamente en Este: 388417 m y Norte: 8973225 m.

Cuadro 5. Estándares de calidad ambiental para suelo

Contaminante	Unidad	ECA
Cadmio Total	mg/Kg MS	1.4

ECA: Estándar de Calidad Ambiental para Suelo

MS: materia seca a 105 C°, muestra tamizada con malla de 2 mm.

mg: miligramos

Kg: Kilogramos

Fuente: D.S. N° 002-2013-MINAM

Se tomó muestras superficiales aleatoriamente, teniendo en cuenta el cuadro 6 y se aplicará sondeos manuales, por ser rápido de usar y de bajo costo.

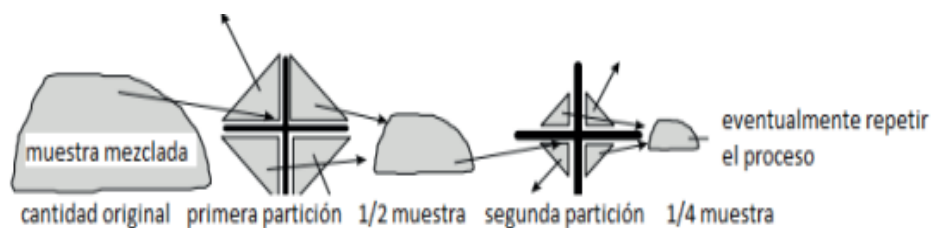
Cuadro 6. Profundidad del muestreo de suelo

Uso del suelo	Profundidad del muestreo
Suelo agrícola	0 a 30 cm (*) 30 a 60 cm

(*) Profundidad de aradura

Fuente: MINAN, 2014

Luego fueron sometidas a partición, para reducirlas y obtener una muestra compuesta representativa, aplicando el cuarteo a la muestra mezclada y se repetirá el proceso hasta que llegue a la cantidad de material necesario como lo indica la figura 7.



Fuente: MINAN 2014

Figura 7. Partición de las muestras

El número mínimo de puntos para el muestreo se determinó en función de cada área de potencial interés dentro del predio de estudio, como se muestra en el cuadro 7.

Cuadro 7. Número mínimo de puntos para el muestreo de identificación

Área de potencial interés (Ha)	Puntos de muestreo en total
0.1	4
0.5	6
1	9
2	15
3	21
4	23
5	20
10	30
15	33
20	36
25	38
30	40
40	42
50	44
100	50

Fuente: MINAN 2014

3.3.2. Características físicas del suelo

Para la caracterización física del suelo se llevó las muestras de suelo al laboratorio de análisis de suelos en donde se medirá:

3.3.2.1. Textura

Para la determinación del tamaño de partículas del suelo se realizó por el procedimiento de la pipeta. (FERNÁNDEZ *et al.*, 2006)

1. Se pesó 5 g de suelo seco, sin materia orgánica, se molerá y posteriormente se tamizará a través de una malla de < 2 mm. Luego se colocará la muestra en una botella de 250 mL para agregar a la botella con suelo 10 mL del dispersante hexametáfosfato de sodio y se llenará a aproximadamente 50 mL con agua destilada, se agitará la botella con suelo, agua y dispersante por 5 minutos, y se dejará reposar por 12 horas.
2. Después del periodo del reposo se agito la suspensión por 30 minutos con un agitador magnético.
3. Se pasó la suspensión por el tamiz de 300 mallas, y se recogerá el filtrado en cápsulas de porcelana. Se usará la menor cantidad de agua para separar la arena que quedará en el tamiz; la arcilla y el limo quedarán en la suspensión.
4. Se Pasó el filtrado a la botella de 250 mL y se agregará agua destilada hasta que se tenga un volumen de 200 mL. Se agitar la suspensión durante 2 minutos y se dejará reposar por 1 hora 21 minutos 40 segundos, después se tomará una alícuota de 25 mL. a la profundidad de 2 cm.

5. Se colocó la alícuota de 25 mL. en un bote de aluminio previamente pesado y se secará en estufa a 105°C hasta peso constante y se pondrá la muestra a enfriar en el desecador y se pesará.
6. La arena retenida en el tamiz de 300 mallas se pasó a un recipiente de aluminio previamente pesado y se dispondrá a secar en la estufa a 105°C hasta peso constante, luego se aplicará las siguientes ecuaciones.

$$\% \text{ de arena} = (B/A) * 100$$

$$\% \text{ de arcilla} = (E/A) * 100$$

$$\% \text{ de limo} = (F/A) * 100$$

$$C = (A - B)$$

$$E = D * 8$$

$$F = A - B - E$$

Dónde:

A: Peso de la muestra

B: Peso de arena

C: Peso de la arcilla + limo

D: Peso del suelo en la alícuota (partículas < 0.002mm)

E: Peso de la arcilla

F: Peso del limo

Con los porcentajes de arena, limo y arcilla y mediante el uso del triángulo de textura se puede apreciar en la figura 1 y se determinó la textura del suelo

3.3.2.2. Densidad

FERNÁNDEZ *et al.*, 2006, nos indica lo siguiente:

a. Densidad aparente

Se dispuso de una probeta de 50 mL previamente tarada en la balanza analítica y se colocó un volumen conocido de material, se registrará el peso ocupado por el material, se reportó el valor de la densidad aparente como una relación entre la masa y el volumen ocupado por la misma.

b. Densidad real

Se registró el peso del picnómetro seco y vacío, se agregó al picnómetro 1 g de la muestra y se registró el peso, se aforará el picnómetro con agua destilada y se registró el peso, se aforo el picnómetro únicamente con agua destilada y se registró el peso.

La densidad real se determinó empleando la ecuación:

$$\rho_{\text{real}} = \frac{1}{1 + \frac{m_{p+a} + m_{p+a+m}}{m_{p+m} - m_p}}$$

Dónde:

ρ_{real} : Densidad Real

m_{p+a+m} : Peso del picnómetro con agua

m_{p+a} : Peso del picnómetro con agua y muestra

m_{p+m} : Peso del picnómetro con la muestra

m_p : Peso del picnómetro vacío y seco

3.3.2.3. Tamaño de partícula

Para determinar el tamaño de partícula de la muestra se realizó primero un deslamado y luego un tamizado en seco, estos procedimientos se explican a continuación (FERNÁNDEZ *et al.*, 2006).

Se tomó 300 g de la muestra homogenizado y se dispondrán en el arreglo de tamices por la malla #100 (149 μm) y la malla #400 (37 μm), se alimentará progresivamente la muestra junto con un flujo constante de agua hasta procesar la totalidad del material.

Se tomó la fracción húmeda retenida en los tamices y se llevará a la estufa a 110 °C durante 2h, se determinará el peso de la fracción retenida sobre la malla #400 y de la fracción de finos se descartará en el proceso de deslamado.

Para el tamizado en seco se dispuso del arreglo de tamices mostrados en el cuadro 8, sobre este se colocó el material seco proveniente del deslamado, el cual se agitó durante 15 min.

Transcurrido ese tiempo se retiró el arreglo de tamices y se cuantificará el peso del material retenido en cada uno de ellos.

Se colecto el material retenido en el fondo y se colocará sobre un segundo arreglo de tamices para luego repetir el proceso anteriormente descrito.

Cuadro 8. Arreglo de tamices para la granulometría

Malla (#)	Abertura (μm)	Malla (#)	Abertura (μm)	Malla (#)	Abertura (μm)
4	4750	50	297	150	105
10	2000	60	250	200	74
20	841	70	210	270	53
30	595	80	177	325	44
40	420	100	149	400	37

Fuente: FERNÁNDEZ, L. *et al.*, 2006

3.3.2.4. Porcentaje de humedad

se determinó el contenido de humedad de una muestra de suelo, formado por la suma de sus aguas libre, capilar e higroscópica.

La importancia del contenido de agua que presenta un suelo representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento de este (FERNÁNDEZ *et al.*, 2006). En donde la humedad del suelo se calculará por la diferencia de peso entre una muestra húmeda y después de haberse secado en la estufa hasta obtener un peso constante, según el método NCh 1515.

Se colocó la muestra húmeda en un recipiente previamente tarado (Mr) para proceder a pesar la muestra húmeda más el recipiente. Obteniendo Mh. Luego se colocará el conjunto dentro del horno durante 24 horas a una temperatura 110 ± 5 °C, transcurrido dicho tiempo se determinará el peso del recipiente con la muestra seca (Ms), se usará el horno a 60 °C para no falsear la humedad en suelos que contienen cantidades significativas de materia orgánica, yeso o ciertos tipos de arcilla.

En la mayoría de casos el tiempo de secado varía dependiendo del suelo; por ejemplo, una muestra de arena pudo secar en solo algunas horas; ciertas arcillas pudieron tardar más de 24 horas. En caso que el tiempo establecido sea insuficiente la muestra continuó en el horno hasta tener pesadas consecutivas constantes transcurridas 4 horas entre ellas. Los datos se representarán en la ecuación:

$$W\% = \frac{(M_h - M_s) * 100}{(M_s - M_r)}$$

Dónde:

W%: Porcentaje de humedad en el suelo (%)

M_h: Peso del recipiente más la muestra de suelo húmedo (g)

M_s: Peso del recipiente más la muestra de suelo seca (g)

3.3.2.5. Porosidad

El porcentaje de porosidad se determinará empleando la ecuación:

$$Po\% = \frac{Pa}{Pr}$$

Dónde:

Po%: Porosidad total (%)

Pa: Densidad aparente (g/mL)

Pr: Densidad real (g/mL)

3.3.3. Caracterización química del suelo

Para la caracterización química del suelo se llevó las muestras de suelo al laboratorio de análisis de suelos en donde se midió:

3.3.3.1. Determinación del pH del suelo

El grado de acidez o alcalinidad de un suelo fue determinado por medio de un electrodo de vidrio en un contenido de humedad específico o relación de suelo-agua, y expresado en términos de la escala de pH, mediante el método potenciométrico o electroquímico en una relación suelo – agua de 1:5 o 1:10 (KARMA A. 1993).

Se pesó 10 g de suelo y se colocó en un vaso de precipitado, se agregó 100 mL de agua destilada, se agito 30 minutos y se dejó reposar 10 minutos.

Se ajustó el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras se dejaron reposar 10 minutos para medir el pH con el multiparámetro, de acuerdo al resultado se tomó en cuenta el cuadro 8 para poder categorizar su pH.

Cuadro 9. Criterios de evaluación de un suelo con respecto a su pH

Categoría	Valor de pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Medianamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	8.5

Fuente: KARMA, 1993

3.3.3.2. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica, que generalmente se expresa en mmhos/cm o en mSiemens/m; la NOM-021-RECNAT-2000 establece dSiemens/m a 25°C

Para la determinación de la conductividad se realizó por el método de la conductividad eléctrica mediante un conductímetro sobre una muestra del extracto de suelo.

Este método se basa en la teoría de la disociación electrolítica. Es aplicable a aguas o extractos de suelo. El equipo para medir la conductividad eléctrica es un conductímetro, que consiste en dos electrodos colocados a una distancia fija y con líquido entre ellos. Los electrodos son de platino y en ocasiones pueden llevar un recubrimiento de platino negro o grafito; estos se encuentran sellados dentro de un tubo de plástico o vidrio (celda), de tal manera que este aparato puede ser sumergido en el líquido por medir. La resistencia eléctrica a través de los electrodos se registra a una temperatura estándar, generalmente 25°C.

a. Procedimiento

a.1. Preparación de la muestra

Se pesará 10 g de suelo y se colocó en un vaso de precipitado, se agregará 100 mL de agua destilada, se agitó 30 minutos y se dejó reposar 10 minutos.

a.2. Determinación de la conductividad eléctrica.

Se calibró el conductímetro antes de usar, luego el medidor de conductividad se calibró con una solución estándar, para esto se requirió de dos soluciones de KCl, 0.1 N y 0.01 N, con cada una se ajustó el equipo a la conductividad indicada en el cuadro 10.

Cuadro 10. Ajuste de conductividad en función de la solución de KCl

Solución estándar de KCl (N)	Conductividad eléctrica a 25 °C (dS/m)
0.1	12.9
0.01	1.412

Después se procedió a la lectura de la conductividad para ello se tuvo en cuenta los criterios que nos muestra el cuadro 10.

Cuadro 11. Criterios para evaluar la salinidad de un suelo, con base a su conductividad

Categoría del suelo	Valor (mmhos/cm o dS/m)
No salino	0 - 2.0
Poco salino	2.1 - 4.0
Moderadamente salino	4.1 - 8.0
Muy salino	8.1 - 16.0
Extremadamente salino	> 16.0

3.3.3.3. Potencial oxido reducción

Este protocolo se basa en los métodos estándares para la determinación del potencial redox en soluciones (ASTM D1498- Análisis físicos y químicos en suelo Volumen de inyección (μl) (FERNÁNDEZ *et al.*, 2006).

Se introdujo el electrodo directamente en el sistema (suelo), extremando cuidados de limpieza y se tuvo en cuenta que las muestras debieron que estar siempre saturadas de agua, por lo que se recomienda este último procedimiento (FERNÁNDEZ *et al.*, 2006).

3.3.4. Concentración de cadmio en el suelo

La concentración de cadmio en el suelo se realizó en el laboratorio de suelos de la facultad de Agronomía y se determinó la concentración de cadmio del suelo mediante el método de absorción atómica en llama propuesto por el EPA (1994).

Lo que debemos saber para realizar las lecturas de cadmio es:

Cadmio disponible = cadmio soluble + cadmio cambiante.

cadmio total = cadmio residual + cadmio disponible.

La lectura de la concentración de cadmio (cadmio total, cadmio disponible y cadmio soluble) en el suelo se realizó inicialmente tomando una muestra representativa al inicio del proyecto y al finalizar los lavados con cada uno de los tratamientos del suelo; también se realizó lectura de cadmio en los efluentes que resultó del lavado aplicado con los dos extractantes, para así tener datos más confiables de la remoción del cadmio en el suelo.

- Cadmio soluble en suelo

El procedimiento para cadmio soluble interviene primero con secar el suelo y tamizarlo con malla de 2 mm, segundo con pesar 5 g de suelo, colocarlo en un vaso y agregar 20 ml de agua destilada; tercero con poner en el agitador por 15 minutos y filtrar, cuarto con lecturar en el espectrofotómetro de absorción atómica.

- Cadmio disponible en suelo

El procedimiento para cadmio disponible interviene primero con secar el suelo y tamizarlo con malla de 2 mm, segundo con pesar 5 g de suelo, colocarlo en un vaso y agregar 20 ml de EDTA 0.05M (EDTA 0.05 M = 18.8 g

EDTA en 1 litro de agua destilada), tercero poner en el agitador por 60 minutos y filtrar, cuarto lecturar en el Espectrofotómetro de absorción atómica.

- Cadmio Total en suelo

El procedimiento para cadmio total interviene primero con secar el suelo y tamizarlo con malla de 2 mm, segundo con pesar 2 g de suelo colocarlo en un matraz, adicionarle 10 ml de solución ácido nítrico 1:1 (50%) y calentar a 95 °C por 5 minutos, tercero con sacar la muestra para enfriar, una vez fría añadir 5 ml de ácido nítrico y calentar a 95 °C por 5 minutos, cuarto con sacar la muestra para enfriar, una vez fría añadir 5 ml de ácido nítrico y calentar a 95 °C hasta reducir el contenido a 5 ml, quinto con sacar la muestra y enfriar, una vez fría añadir 2ml de agua destilada, sexto con añadir a la muestra 3 ml de peróxido de hidrogeno, si la muestra efervesce agregar 1ml hasta que este cese y séptimo con agregar 5 ml de ácido clorhídrico, agregar 10 ml de agua destilada, calentar a 95 °C por 15 minutos, filtrar y lecturar.

3.3.4.1. Condiciones instrumentales para la lectura de cadmio

El espectrofotómetro de absorción atómica debió presentar las siguientes condiciones para lecturar el cadmio del suelo.

- Corriente de lámpara: 10.0 mA
- Longitud de onda: 228.8 nm
- Paso de la luz: 0.5 nm
- Flujo de aire: 13.50 L/min
- Flama utilizada: Aire/ Acetileno

Flujo de acetileno: 2.00 L/min

3.3.5. Diseño de sistema de lavado

Para el desarrollo del equipo piloto de lavado se requiere un sistema que permita tener condiciones adecuadas para su correcto funcionamiento; que tenga la capacidad de albergar 1kg de suelo más el extractante química que realizara el lavado de cadmio.

Por lo tanto, se escogió un sistema de lavado vertical múltiple, el cual se describe a continuación.

Este sistema funcionó a presión de la gravedad y consiste en 18 contenedores que en su interior acogieron los 18 tratamientos de 1kg de tierra de contaminada por cadmio respectivamente.

Los contenedores fueron de plástico con un orificio en la parte inferior para permitir el pase del extractante químico (comercial y natural); en la parte superior estará completamente descubierto permitiendo así el pase del extractante para la realización del lavado de suelo.

Cada contenedor tuvo un pequeño tanque de abastecimiento el cual contuvo el extractante química (2 L), que conectado junto a una manguera y un aspersor cada uno, representará el sistema completo.

Para que la gravedad tenga acción en este sistema se implementó un soporte de madera en el cual los tanques de abastecimiento se encontraran en la parte superior y los contenedores con los diferentes tratamientos a lavar en la parte inferior.

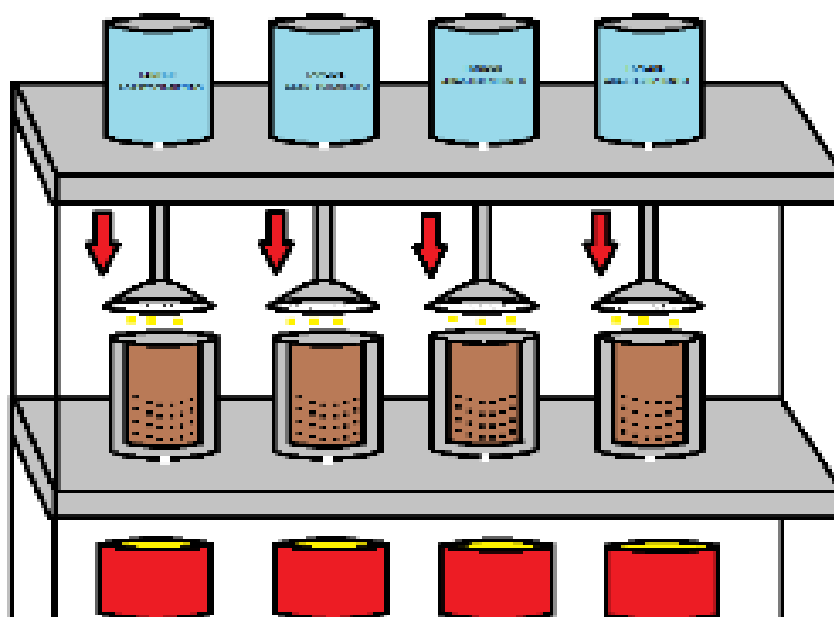


Figura 8. Diseño de sistema de lavado vertical

3.3.6. Determinación del pH en función de la concentración de protones

Para la determinación de las diferentes concentraciones de pH (2, 3 Y 4) de ambas sustancias extractantes se realizó teniendo en cuenta lo siguiente:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

$$V_1 \cdot C_1 = V_2 \cdot C_2$$

De esta manera teniendo una concentración de pH inicial inferior a 2 en los extractantes (químico y natural) pudimos diluirla con la ayuda del agua desionizada obteniendo así una concentración final, en este caso pH (2,3y4), según lo requerido para la experimentación del estudio que se realizó.

3.3.7. Determinación de los efectos sobre el suelo lavado

Para la determinación de los efectos sobre los parámetros fisicoquímicos se tomaron las mediciones de cada parámetro físico y químico ya mencionado, al finalizar cada lavado

3.3.8. Eficiencia del equipo

Se calculó la eficiencia del sistema de lavado de suelos mediante una correlación porcentual entre la concentración inicial y la final del cadmio presente en cada uno de los tratamientos.

$$Efic. lav. = \frac{(Ci - Cf) * 100}{Ci}$$

Dónde:

Efic. Lav: Eficiencia del equipo de lavado (%)

Ci: Concentración inicial de cadmio (mg/L)

Cf: Concentración final de cadmio (mg/L)

3.3.9. 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 de niveles de pH con los extractantes

Ha: Existe diferencia significativa en alguna de las combinaciones de niveles de pH con los extractantes

3.3.9.1. Número de factores

En la presente tesis se tendrá 2 factores, como se muestra en el cuadro número 12

Cuadro 12. Número de Factores del diseño

Factor 1	Factor 2	
	E1	E2
P1	E1P1	E2P1
P2	E1P2	E2P2
P3	E1P3	E2P3

Dónde:

P: Niveles de pH, 2,3, 4.

E: Tipo de Extractante (Natural, Comercial).

Este arreglo factorías se utilizó para ambos extractantes y el número de repeticiones que se utilizó para cada arreglo factorial fué el de 3; dándonos finalmente una matriz de:

3(Niveles de pH) x1(Volumen) x2(extractantes) x3(repeticiones).

Cuadro 13. Diseño estadístico

Extractante	Volumen	Niveles de pH	Repeticiones
COMERCIAL	V2	2	3
		3	3
		4	3
NATURAL	V2	2	3
		3	3
		4	3

a. Tipo de investigación

Experimental

b. Unidad experimental

1 kg de suelo (por tratamiento)

c. Variable independiente

Tipo de extractante

Nivel de pH del extractante

Variable dependiente

Remoción de cadmio

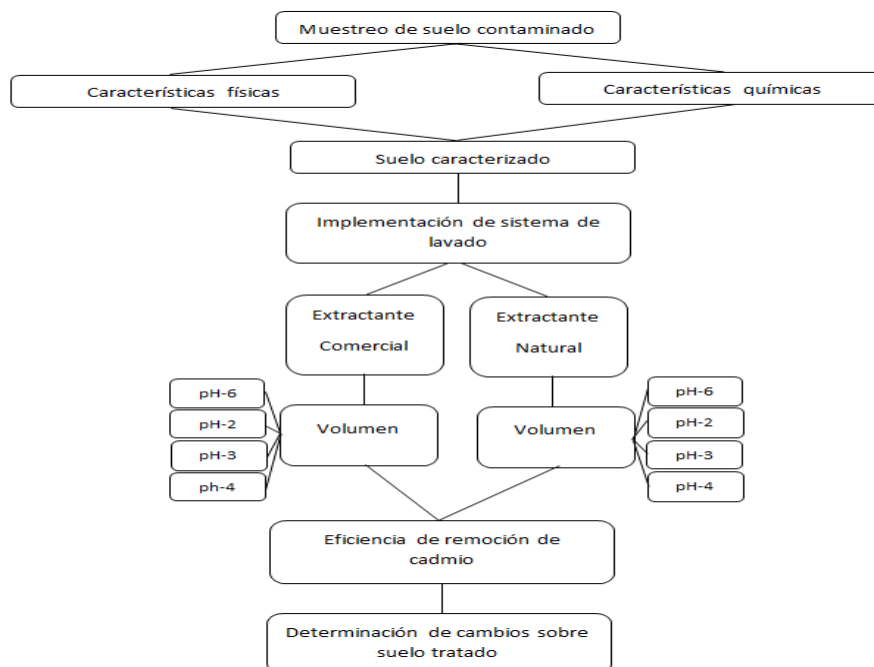


Figura 9. Diseño experimental

3.3.10. Análisis de varianza

BADII *et al.*; (2007), nos dice que para el análisis de varianza de un diseño factorial tuvo la forma como se aprecia en el cuadro número 14

Cuadro 14. Análisis de Varianza del diseño factorial

Causas	G.L.	CM	F
Tratamientos	ab-1	$\frac{SC_{trat}}{ab - 1}$	$\frac{CM_{trat}}{CM_{Error}}$
Factor A	a-1	$\frac{SC_{facA.}}{a - 1}$	$\frac{CM_{facA}}{CM_{Error}}$
Factor 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
Error II	ab(n-1)-(n+1)	$\frac{SC_{error **}}{G.L.}$	S_{II}^2
Bloque	n-1	$\frac{SC_{bloque}}{n - 1}$	$\frac{CM_{bloque}}{CM_{Error}}$
Total	abn-1	---	---

Dónde:

SCtrat: Suma de cuadrados del tratamiento

SCfacA: Suma de cuadrados del factor A

SCfacB: Suma de cuadrados del Factor B

SCerror*: Suma de cuadrados del error I

SCerror**: Suma de cuadrados del error II

CMtrat: Cuadrado medio del tratamiento

CMError: Cuadrado medio del error

CMFacA: Cuadrado medio del factor A

CMFacB: Cuadrado medio del factor B

CMint: Cuadrado medio de la interacción

CMBloque: Cuadrado medio del bloque

IV. RESULTADOS

4.1. Nivel de pH adecuado de los extractantes para la remoción de cadmio

4.1.1. Con respecto al suelo

En la figura 10 se puede observar 3 niveles de pH (2,3 y 4) en el eje X, dispuestos para dos tipos de extractantes (ácido acético y Jugo de carambola); en el eje Y se tiene la remoción de cadmio total en ppm.

En esta grafica podemos apreciar la remoción de cadmio total a diferentes pH; en la que, a medida que el pH aumenta su acides, hay mayor remoción de cadmio para ambos extractantes; en el caso del extractante ácido acético para cadmio total tenemos como resultados que a pH2 presenta una remoción de 1.94 ppm, para pH3 presenta una remoción de 1.54 ppm y para pH4 presenta una remoción de 0.96 ppm dejando a relucir lo siguiente ($pH2 > pH3 > pH4$); mientras que para el extractante jugo de carambola a pH2 presenta una remoción de 0.93 ppm, para pH3 presenta una remoción de 0.32 ppm y para pH4 presenta una remoción de 0.18 ppm dejando a relucir lo siguiente ($pH2 > pH3 > pH4$).

Por lo tanto, el nivel de pH adecuado de los extractantes ácido acético y jugo de carambola, para la remoción de cadmio total es el de pH2.

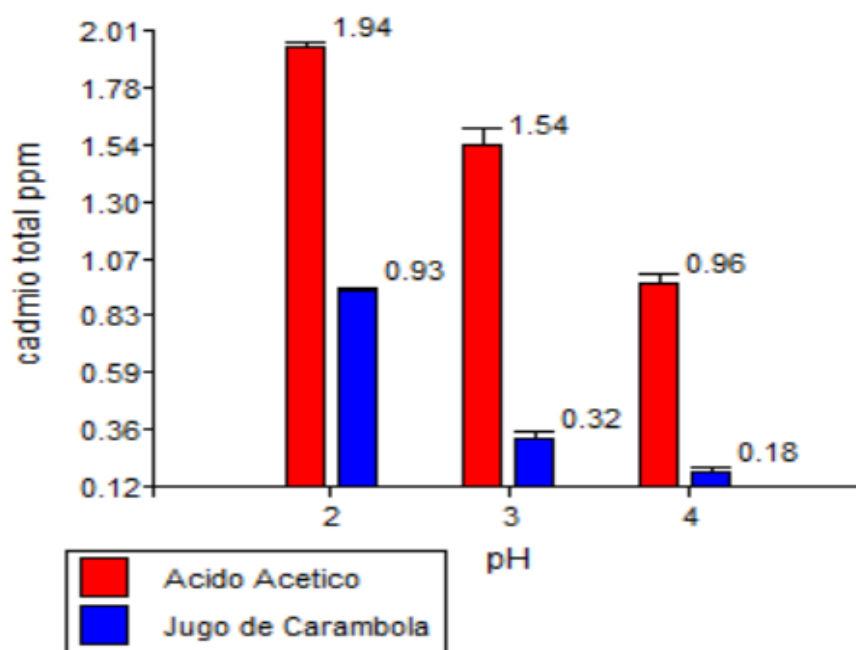


Figura 10. Nivel de pH adecuado de los extractantes para cadmio total

En el cuadro 15 tenemos el análisis de varianza para cadmio total en el que se puede observar un alto valor de diferencia significativa con respecto a la interacción de los niveles del pH con los extractantes debido a esto se rechaza la hipótesis nula (H_0); por lo que se realizara la prueba de Tukey para poder observar en cuál de las interacciones con los diferentes niveles de pH presentan estos niveles de significancia ya mencionadas.

Cuadro 15. Análisis de varianza para cadmio Total

F.V	GL	SC	CM	F	P-Valor
Modelo	5	6.93	1.39	356.76	<0.0001
Extractante	1	4.53	4.53	1166.9	<0.0001
pH	2	2.25	1.13	289.88	<0.0001
Extractante*pH	2	0.14	0.07	18.58	0.0002
Error	12	0.05	3.9e-0.3		
Total	17	6.98			

En el cuadro 16 se puede apreciar la prueba de Tukey para cadmio total en la que se puede ver las diferencias significativas de A, B, C Y D; apreciamos que el ácido acético en sus tres niveles de pH son estadísticamente diferentes, el ácido acético a un pH4 y el jugo de carambola a un pH2 estadísticamente son similares y el jugo de carambola a pH 3 y 4 estadísticamente son similares.

Cuadro 16. Prueba de Tukey para cadmio total

Extractante	pH	Medias	n	E.E.	
Ácido Acético	2	1.94	3	0.04	A
Ácido Acético	3	1.54	3	0.04	B
Ácido Acético	4	0.96	3	0.04	C
Jugo Carambola	2	0.93	3	0.04	C
Jugo Carambola	3	0.32	3	0.04	D
Jugo Carambola	4	0.18	3	0.04	D

En la figura 11 se puede observar 3 niveles de pH (2,3 y 4) en el eje X, dispuestos para dos tipos de extractantes (ácido acético y jugo de carambola); en el eje Y se tiene la remoción de cadmio disponible en ppm.

En esta grafica podemos apreciar la remoción de cadmio disponible a diferentes pH; en la que, a medida que el pH aumenta su acides hay mayor remoción de cadmio para ambos extractantes, en el caso del extractante ácido acético para cadmio total tenemos como resultados que a pH2 presenta una remoción de 1.79 ppm, para pH3 presenta una remoción de 1.16 ppm y para pH4 presenta una remoción de 0.49 ppm dejando a relucir lo siguiente (pH2>pH3>pH4) con respecto a la remoción de cadmio; mientras que para el

extractante jugo de carambola a pH2 presenta una remoción de 0.52 ppm, para pH3 presenta una remoción de 0.19 ppm y para pH4 presenta una remoción de 0.09 ppm dejando a relucir lo siguiente ($pH2 > pH3 > pH4$) con respecto a la remoción de cadmio.

Por lo tanto, el nivel de pH adecuado de los extractantes Ácido Acético y jugo de carambola, para la remoción de cadmio disponible es el de pH2.

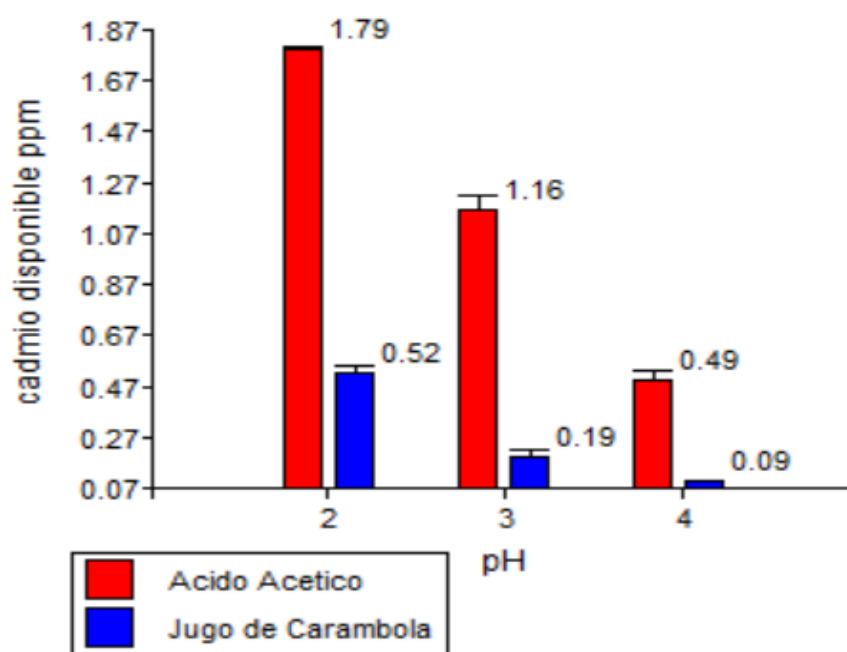


Figura 11. Nivel de pH adecuado de los extractantes para cadmio disponible

En el cuadro 17 tenemos el análisis de varianza para cadmio disponible en el que se puede observar un alto valor de diferencia significativa con respecto a la interacción de los niveles del pH con los extractantes debido a esto se rechaza la hipótesis nula (H_0); por lo que se realizara la prueba de Tukey para poder observar en cuál de las interacciones con los diferentes niveles de Ph presentan estos niveles de significancia ya mencionadas.

Cuadro 17. Análisis de Varianza para cadmio disponible

F.V	GL	SC	CM	F	P-Valor
Modelo	5	6.34	1.27	407.15	<0.0001
Extractante	1	3.5	3.5	1122.53	<0.0001
pH	2	2.25	1.13	361.28	<0.0001
Extractante*pH	2	0.59	0.3	95.33	<0.0001
Error	12	0.04	3.1e-03		
Total	17	6.38			

En el cuadro 18 se puede apreciar la prueba de Tukey para cadmio disponible en la que se puede ver las diferencias significativas de A, B, C Y D; apreciamos que el ácido acético en sus tres niveles de pH son estadísticamente diferentes, el ácido acético a un pH4 y el jugo de carambola a un pH2 estadísticamente son similares y el jugo de carambola a pH 3 y 4 estadísticamente son similares.

Cuadro 18. Prueba de Tukey para Cadmio disponible

Extractante	pH	Medias	n	E.E.	
Ácido Acético	2	1.79	3	0.03	A
Ácido Acético	3	1.16	3	0.03	B
Ácido Acético	4	0.52	3	0.03	C
Jugo Carambola	2	0.49	3	0.03	C
Jugo Carambola	3	0.19	3	0.03	D
Jugo Carambola	4	0.09	3	0.03	D

En la figura 12 se puede observar 3 niveles de pH (2,3 y 4) en el eje X, dispuestos para dos tipos de extractantes (ácido acético y Jugo de carambola); en el eje Y se tiene la remoción de cadmio soluble en ppm.

En esta grafica podemos apreciar la remoción de cadmio soluble a diferentes pH; en la que, a medida que el pH aumenta su acides hay mayor

remoción de cadmio para ambos extractantes, en el caso del extractante ácido acético para cadmio soluble tenemos como resultados que a pH2 presenta una remoción de 1.38 ppm, para pH3 presenta una remoción de 0.81 ppm y para pH4 presenta una remoción de 0.19 ppm dejando a relucir lo siguiente ($\text{pH}_2 > \text{pH}_3 > \text{pH}_4$); mientras que para el extractante jugo de carambola a pH2 presenta una remoción de 0.30 ppm, para pH3 presenta una remoción de 0.07 ppm y para pH4 presenta una remoción de 0.08 ppm dejando a relucir lo siguiente ($\text{pH}_2 > \text{pH}_4 > \text{pH}_3$) con respecto a la remoción de cadmio.

Por lo tanto, el nivel de pH adecuado de los extractantes ácido acético y jugo de carambola, para la remoción de cadmio soluble es el de pH2.

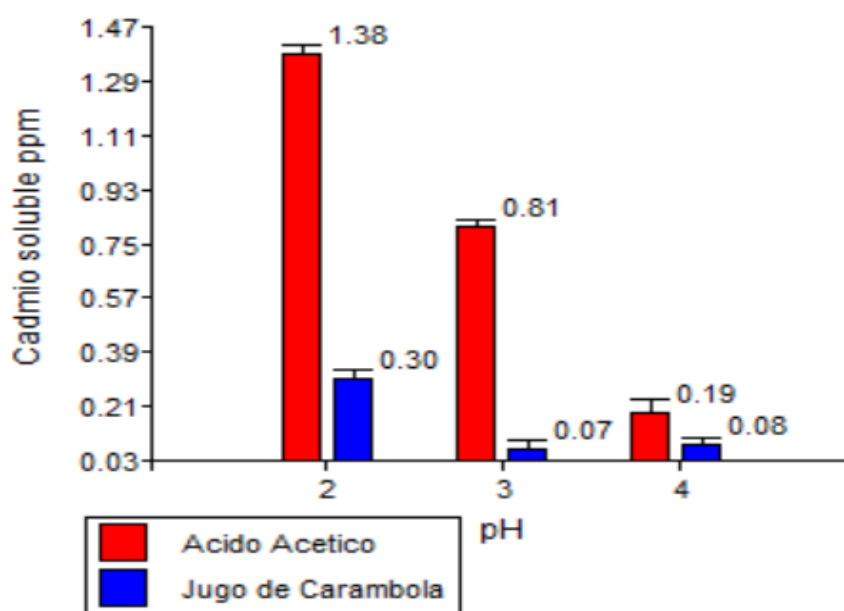


Figura 12. Nivel de pH adecuado de los extractantes para cadmio soluble

En el cuadro 19 tenemos el análisis de varianza para cadmio soluble en el que se puede observar un alto valor de diferencia significativa con respecto a la interacción de los niveles del pH con los extractantes debido a esto se rechaza la hipótesis nula (H_0); por lo que se realizara la prueba de Tukey para poder observar en cuál de las interacciones con los diferentes niveles de pH presentan estos niveles de significancia ya mencionadas.

Cuadro 19. Análisis de varianza para cadmio soluble

F.V	GL	SC	CM	F	P-Valor
Modelo	5	4.07	0.81	285.46	<0.0001
Extractante	1	1.85	1.85	647.47	<0.0001
pH	2	1.5	0.75	262.8	<0.0001
Extractante*pH	2	0.72	0.36	127.11	<0.0001
Error	12	0.03	2.9e-0.3		
Total	17	4.1			

En el cuadro 20 se puede apreciar la prueba de Tukey para cadmio soluble en la que se puede ver las diferencias significativas de A, B, C Y D; apreciamos que el ácido acético en sus tres niveles de pH son estadísticamente diferentes, el ácido acético a un pH4 y el jugo de carambola a un pH2 estadísticamente son similares y el jugo de carambola a pH 3 y 4 estadísticamente son similares.

Cuadro 20. Prueba de Tukey para Cadmio soluble

Extractante	pH	Medias	n	E.E.	
Ácido Acético	2	1.38	3	0.03	A
Ácido Acético	3	0.81	3	0.03	B
Ácido Acético	4	0.3	3	0.03	C
Jugo Carambola	2	0.19	3	0.03	C
Jugo Carambola	3	0.08	3	0.03	D
Jugo Carambola	4	0.07	3	0.03	D

4.1.2. Con respecto al Agua

En la figura 13 se puede observar 3 niveles de pH (2,3 y 4) en el eje X, dispuestos para dos tipos de extractantes (ácido acético y jugo de carambola); en el eje Y se tiene la remoción de cadmio en ppm.

En esta grafica podemos apreciar la remoción de cadmio a diferentes pH; en la que, a medida que el pH aumenta hay mayor remoción de cadmio para ambos extractantes, en el caso del extractante ácido acético para cadmio soluble tenemos como resultados que a pH2 presenta una remoción de 1.51 ppm, para pH3 presenta una remoción de 0.87 ppm y para pH₄ presenta una remoción de 0.37 ppm dejando a relucir lo siguiente (pH₂>pH₃>pH₄) con respecto a la remoción de cadmio; mientras que para el extractante jugo de carambola a pH3 presenta una remoción de 0.23 ppm, para pH3 presenta una remoción de 0.00 ppm y para pH4 presenta una remoción de 0.00 ppm dejando a relucir lo siguiente (pH₂>pH₃ ≥pH₄) con respecto a la remoción de cadmio.

Por lo tanto, el nivel de pH adecuado de los extractantes Ácido Acético y jugo de carambola, para la remoción de cadmio es el de pH2.

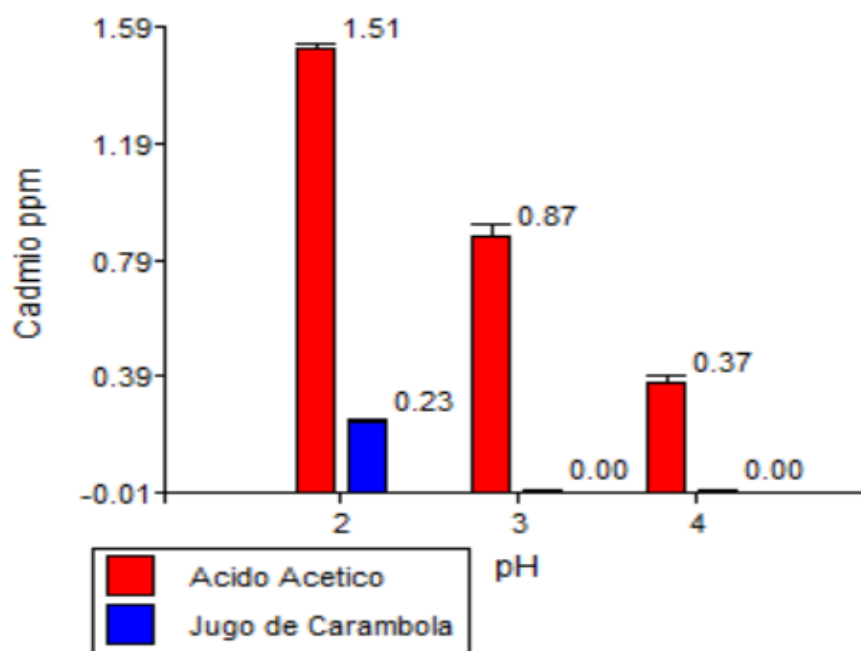


Figura 13. Nivel de pH adecuado de los extractantes para remoción de cadmio

En el cuadro 21 tenemos el análisis de varianza para cadmio en el que se puede observar un alto valor de diferencia significativa con respecto a la interacción de los niveles del pH con los extractantes debido a esto se rechaza la hipótesis nula (H_0); por lo que se realizara la prueba de Tukey para poder observar en cuál de las interacciones con los diferentes niveles de pH presentan estos niveles de significancia ya mencionadas.

Cuadro 21. Análisis de varianza para cadmio

F.V	GL	SC	CM	F	P-Valor
Modelo	5	5.24	1.05	864.6	<0.0001
Extractante	1	3.17	3.17	2611.49	<0.0001
pH	2	1.45	0.73	599.78	<0.0001
Extractante*pH	2	0.62	0.31	255.97	<0.0001
Error	12	0.01	21.2e-03		
Total	17	5.25			

En el cuadro 22 se puede apreciar la prueba de Tukey para cadmio en la que se puede ver las diferencias significativas de A, B, C, D y E; pudiendo apreciar que hay diferencias entre los niveles de pH para ácido acético y jugo de carambola a un pH 2 Y solo se presenta similitud entre pH 3 y 4 de jugo de carambola.

Cuadro 22. Prueba de Tukey para Cadmio

Extractante	pH	Medias	n	E.E.	
Ácido Acético	2	1.51	3	0.02	A
Ácido Acético	3	0.87	3	0.02	B
Ácido Acético	4	0.37	3	0.02	C
Jugo Carambola	2	0.23	3	0.02	D
Jugo Carambola	3	0.00	3	0.02	E
Jugo Carambola	4	0.00	3	0.02	E

4.2. Determinación del extractante con mayor eficiencia de remoción de cadmio.

4.2.1. Con respecto al suelo

En la figura 14 se puede observar en el eje X los dos extractantes utilizados para la remoción de cadmio en el suelo (ácido acético y jugo de carambola) y en el eje Y se encuentra la remoción de cadmio en ppm.

En este grafico se puede apreciar la eficiencia que tiene cada extractante para la remoción de cadmio (total, disponible y soluble); en la que evidenciándonos en los datos resueltos el ácido acético vendría a tener mayor eficiencia; para cadmio total con un promedio de 1.48 ppm, para cadmio disponible con un promedio de 1.15 ppm y para cadmio soluble con un promedio de 0.79 ppm.

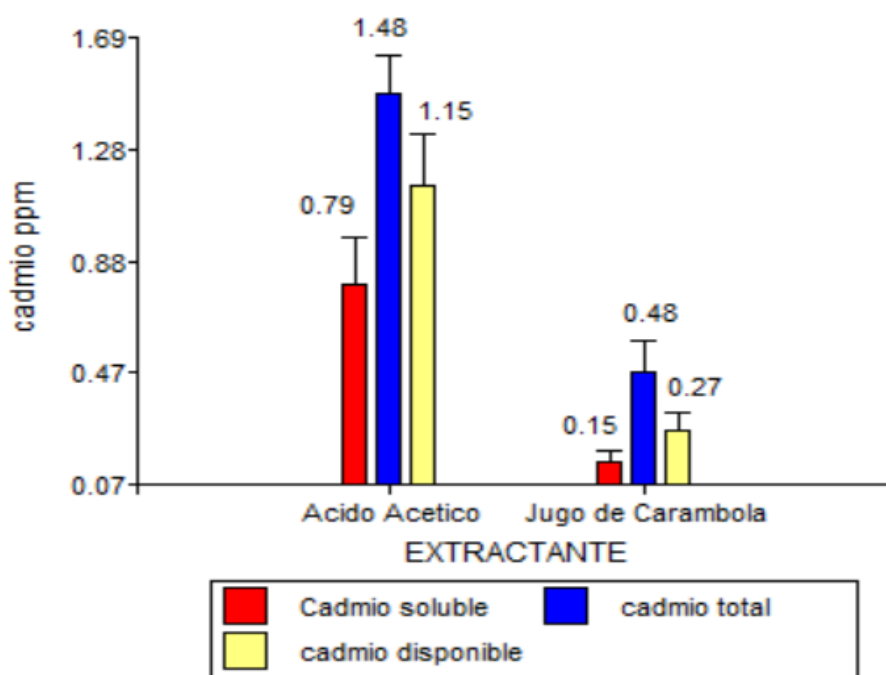


Figura 14. Eficiencia de remoción de cadmio total, disponible y soluble (analizado en suelo), por extractante

En la figura 15 se puede apreciar la eficiencia en porcentaje (%) para los dos extractantes utilizados en función de los diferentes niveles de pH evaluados (pH2, pH3, pH4).

Como se ver el grafico de resultados no da que el ácido acético a pH2 tiene un promedio de 66.90 % en eficiencia y para jugo de carambola al pH ya mencionado presenta 32.07% en eficiencia de remoción de cadmio; el ácido acético a pH3 tiene un promedio de 53.10 % en eficiencia de remoción mientras que para el Jugo de Carambola al mismo pH presenta 11.03%; por último, el ácido cético a pH4 presenta una eficiencia de remoción de 33.22% y el jugo de carambola al mismo pH solo el 6.28%.

Por tanto, el extractante con mayor eficiencia de remoción para cadmio es el Ácido acético.

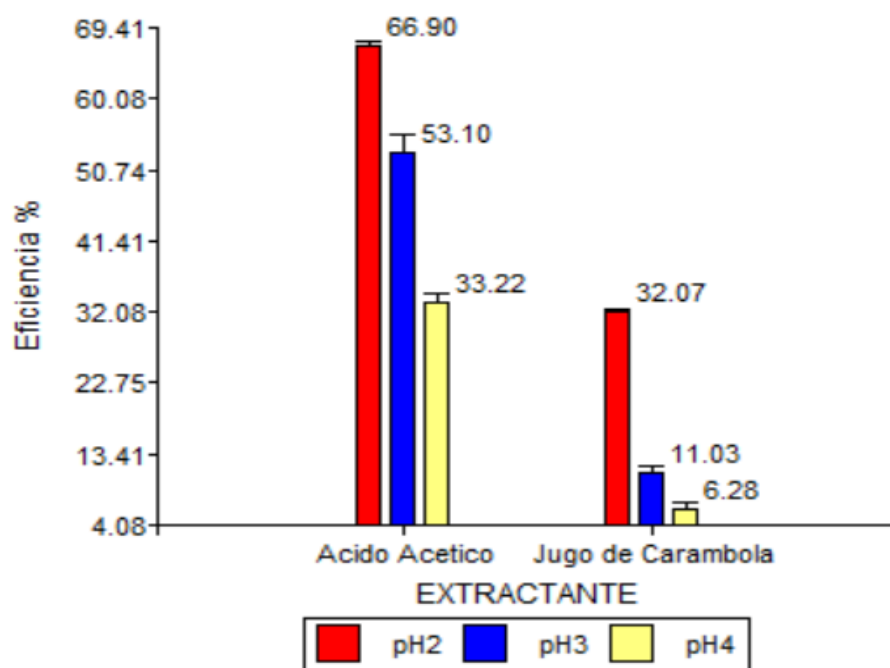


Figura 15. Eficiencia de remoción cadmio en función al pH (analizado en suelo), por extractante

4.2.2. Con respecto al agua

En la figura 16 se puede observar en el eje X los dos extractantes utilizados para la remoción de cadmio en el suelo (analizado en agua) (ácido acético Y jugo de carambola) y en el eje Y se encuentra la remoción de cadmio en ppm.

En este grafico se puede apreciar la eficiencia que tiene cada extractante para la remoción de cadmio; en la que evidenciándonos en los datos resueltos el ácido acético vendría a tener mayor eficiencia; para cadmio con un promedio de 0.92 ppm en promedio para la remoción del contaminante antes ya mencionado.

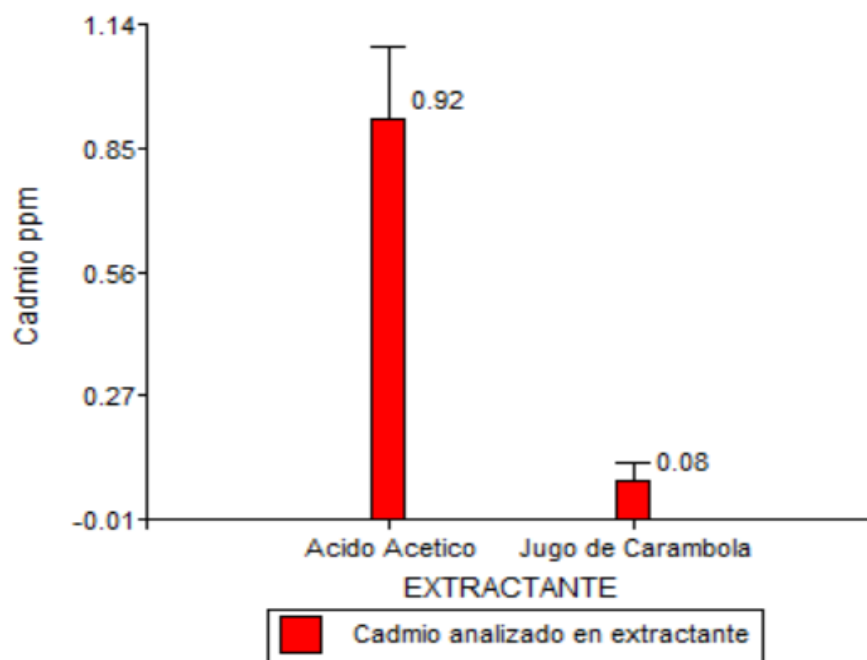


Figura 16. Eficiencia de remoción de cadmio (analizado en agua), por extractante

En la figura 17 se puede apreciar la eficiencia en porcentaje (%) para los dos extractantes utilizados en función de los diferentes niveles de pH evaluados (pH2, pH3, pH4).

Como se ver el grafico de resultados no da que el ácido acético a pH2 tiene un promedio de 52.10 % en eficiencia y para jugo de carambola al pH ya mencionado presenta 8.06% en eficiencia; el ácido acético a Ph3 tiene un promedio de 29.98 % en eficiencia de remoción mientras que para el jugo de carambola al mismo pH presenta 0.00 %; por último, el ácido acético a pH4 presenta una eficiencia de remoción de 12.74 % y el jugo de carambola al mismo pH presenta 0.00 %.

Por tanto, el extractante con mayor eficiencia de remoción para cadmio es el ácido acético.

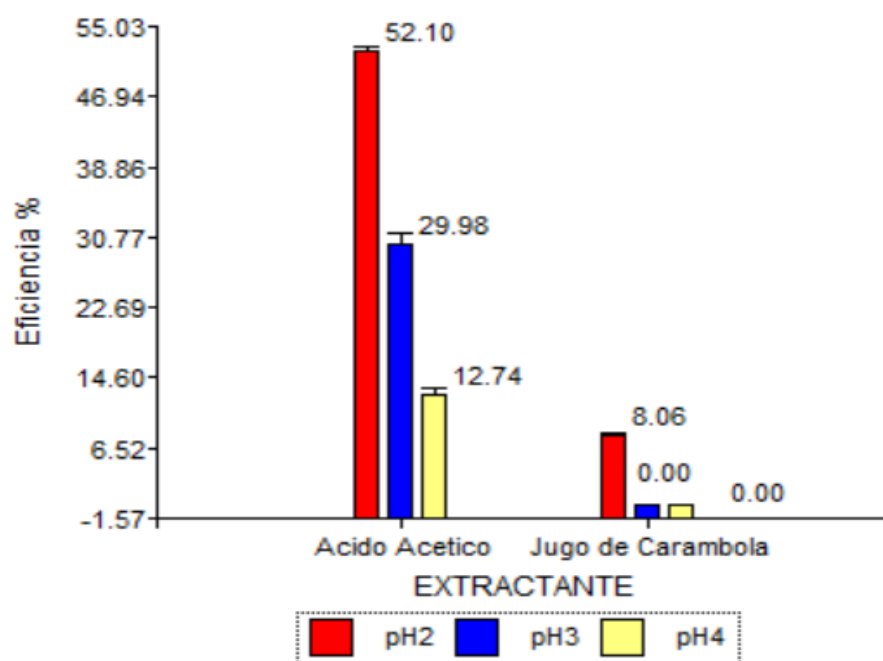


Figura 17. Eficiencia de remoción de cadmio en función al pH (analizado en agua), por extractante

4.3. Cambios químicos que sufrió el suelo al finalizar el lavado en comparación con el suelo inicial

4.3.1. Condiciones iniciales

En el cuadro 23, que tenemos a continuación se encuentra las características fisicoquímicas de nuestro suelo sin tratar, esta evaluación de condiciones iniciales viene a ser muy importante ya que nos permitirá contrastar las características químicas antes y después del tratamiento aplicado

A pesar de que solo evaluaremos la parte química también se incluyó la caracterización física ya que es necesario conocer el suelo en todos los aspectos.

En la parte superior del cuadro 23 se encuentra la caracterización física del suelo en la que tenemos que el suelo inicialmente presenta una textura franco arcillosa, una densidad real de 1.20 g/cm^3 , una densidad aparente de 47.67 g/cm^3 , una porosidad de 47.67% y una humedad de 36.28%.

En la parte inferior se encuentra la caracterización química que es lo que evaluaremos, tenemos un pH de 6.7, un potencial de óxido reducción de 35.7 Mv, una temperatura de 26.6°C , en sólidos disueltos 156 ppm, en salinidad 0.6% y por último cadmio total, disponible y soluble con 2.9 ppm, 2.3 ppm y 1.7 ppm respectivamente.

Cuadro 23. Caracterización fisicoquímica del suelo

Caracterización físico del suelo	
Textura:	Franco arcilloso
Densidad real (g/cm^3):	2.51
Densidad aparente (g/cm^3):	1.20
Porosidad (%):	47.67
Humedad (%):	36.283
Caracterización química del suelo	
pH:	6.7
Potencial de óxido reducción (Mv)	35.7
Temperatura ($^\circ\text{C}$)	26.6
Conductividad (μS)	288.3
Sólidos disueltos (ppm)	156
Salinidad (%)	0.6
[Cd Total] (ppm)	2.9
[Cd disponible] (ppm)	2.3
[Cd Soluble] (ppm)	1.7

[Cd]: Concentración de cadmio

MS: materia seca, muestra tamizada con malla de 2 m

4.3.2. Variación del pH

En la figura 18 tenemos representado la variación del pH del suelo después de aplicarse los lavados con los extractantes ácido acético y jugo de carambola a los diferentes niveles de pH 2, 3 y 4.

Como podemos apreciar el pH inicial del suelo es de 6.7; al utilizar ácido acético a un pH2 el pH del suelo lavado aumenta su acidez con un pH de 3.81, al utilizar este extractante a un nivel de pH3 la acidez del suelo aumenta a un pH de 4.95 y a un nivel de pH4 la acidez del suelo es de un pH de 6.40.

Si verificamos el resultado con respecto al jugo de carambola vemos que a los tres niveles de pH utilizados (2,3 y 4) son casi constantes y parecidos en comparación con el del suelo inicial siendo 6.16, 6.60 y 6.70 respectivamente.

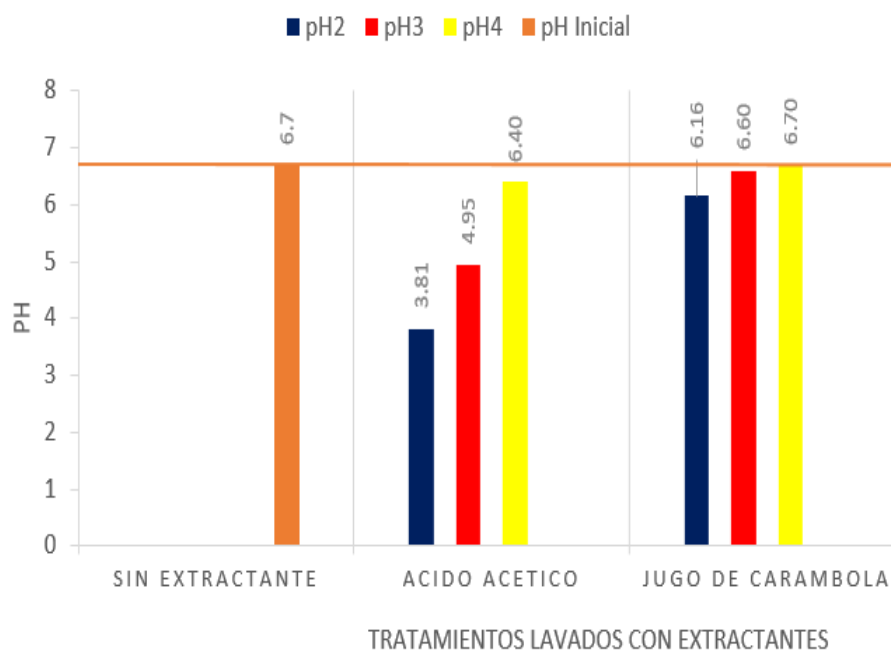


Figura 18. Comparación del pH inicial con respecto al pH de los tratamientos después del lavado con los extractantes

4.3.3. Potencial de Oxido Reducción

En la figura 19 podemos observar la variación del potencial de óxido reducción después del tratamiento aplicado en comparación con el del suelo inicial, podemos darnos cuenta que en primera instancia el suelo en cuestión presentaba 35.7 mV, al utilizar el extractante ácido acético en sus tres niveles de pH el potencial de óxido reducción varía notablemente siendo las mediciones para estos de 209.8 mV, 144.1 mV y 60.6 mV respectivamente; haciendo notar que los niveles de pH que tuvieron mayor incremento en el potencial de óxido reducción fue para pH2 y pH3.

En el caso del extractante jugo de carambola a los tres niveles de pH evaluados (2,3 y 4), no presento un aumento significativo teniendo mediciones de 76.3 mV, 49.3 mV y 44.6 mV respectivamente.

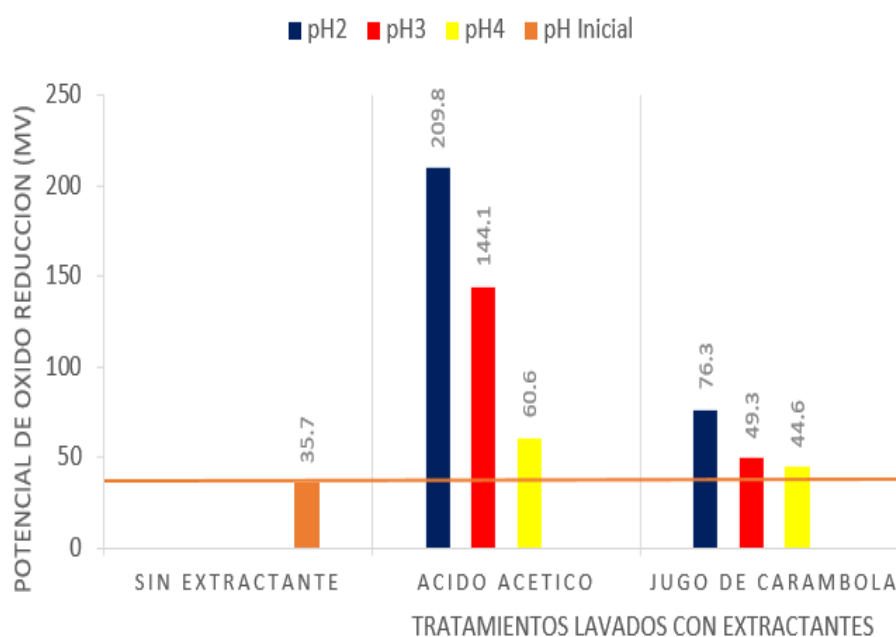


Figura 19. Comparación del potencial de óxido reducción inicial con respecto al final después del lavado con los extractantes

4.3.4. Conductividad

En la figura 20 podemos observar la variación de la conductividad inicial con las que resultaron después de aplicarse los lavados a los diferentes niveles de pH; como se muestra tenemos que la conductividad inicial es de 288.3 μS , al utilizar el extractante ácido acético tuvimos incrementos significativos, a un pH₂ la conductividad fue de 2762.7 μS , a un pH (3 y 4) la conductividad fue de 1768.3 y 1457.7 respectivamente

Utilizando el extractante jugo de carambola también tuvimos incrementos significativos de la conductividad; como resultado de los niveles de pH (2,3 y 4) las mediciones fueron de 1717.0 μS , 1660.3 μS y 1507 μS ; cómo podemos apreciar los resultados de la conductividad con respecto al jugo de carambola no fueron tan variables entre sus niveles de pH en comparación con los resultados que se obtuvieron para el ácido acético.

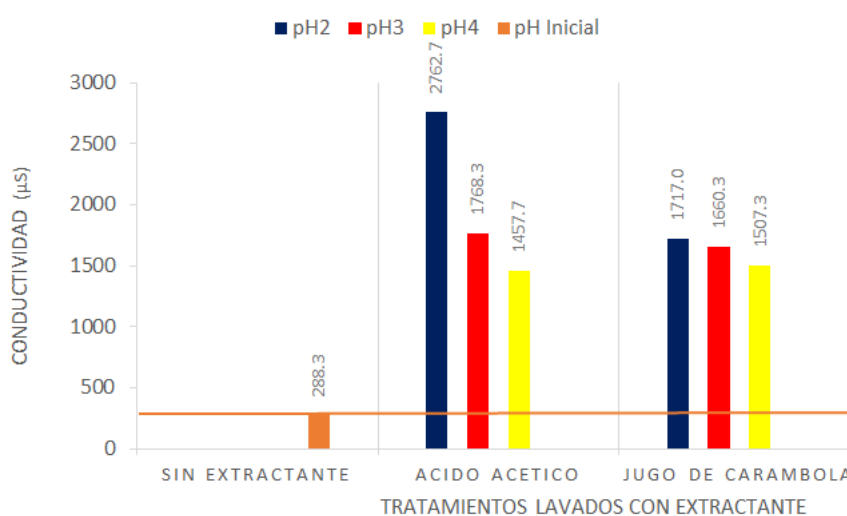


Figura 20. Comparación de la conductividad inicial con respecto al final después del lavado con los extractantes

V. DISCUSIÓN

Según los datos obtenidos para determinar cuál es el nivel de pH adecuado de los extractantes para la remoción de cadmio, se realizó por medio de un análisis estadístico para determinar la mejor combinación de factores y tener el mejor resultado en remoción de cadmio, en el arreglo factorial que utilizamos 2×3 se pudo apreciar que mientras más ácido sea el nivel de pH a utilizar mayor fue la remoción, según (PIÑA, 2012) afirma que el pH , afecta la solubilidad, movilidad, disponibilidad y formas iónicas de un contaminante que apoyado por (GALÁN. y ROMERO, 2008) nos dice que La mayoría de metales presentes en el suelo, se encuentran más disponibles en medio ácido, por lo que basándonos en estos autores la utilización de un pH más ácido ayudaría a que nuestro metal pesado sea lavado con mayor facilidad, dejando ver que los resultados obtenidos tendrían concordancia con lo sostenido.

Para poder entender mejor los resultados acerca del cadmio se obtuvieron resultados tanto en suelo como en agua y en cada uno de estos se evaluaron la remoción en función de niveles de pH por cada extractante utilizado y disponiéndolos a cadmio total, disponible y soluble para así poder tener datos más confiables y saber acerca del comportamiento de este contaminante en los diferentes lavados realizados; en base a esto observamos que en los gráficos 10, 11 y 12 la remoción para cadmio total fue de 1.94 ppm, para cadmio disponible fue de 1.79 ppm, para cadmio soluble fue de 1.38 ppm

evidenciándonos una vez más la disminución del contaminante; pero sin embargo en el grafico 13 correspondiente a la remoción de cadmio analizado en agua nos arroja un resultado de 1.51 ppm; debemos tener en cuenta que la lectura de cadmio total (analizado en suelo) 1.94 ppm, y la lectura de cadmio (analizado en agua) 1.51 ppm deberían estas dos cantidades tener similitudes cuantitativas, sin embargo estos dos se diferencian por 0.43 ppm, pudiendo deberse a que en el suelo existen fracciones de diferentes estados de cambio como cadmio intercambiable o el residual, que no fueron analizados, en el que sus valores pudieron haber cambiado por la naturaleza del extractante usado

Según los resultados obtenidos para determinar el extractante con mayor eficiencia de remoción; se pudo apreciar que en la figura 14 (analizado en suelo) el ácido acético tuvo mayor promedio en comparación al jugo de carambola, para cadmio total disponible y soluble y se obtuvo 1.48 ppm, 1.15 ppm y 0.79 ppm respectivamente; mientras que si vemos en la figura 16 (analizado en agua) obtuvimos nuevamente que el ácido acético tuvo mayor promedio de remoción en comparación del jugo de carambola con un 0.92 ppm.

Según los resultados obtenidos la eficiencia del extractante en función de los diferentes niveles de pH en el gráfico 15 de resultados nos da que el ácido acético a pH2 tiene un promedio de 66.90 %, a pH3 tiene un promedio de 53.10 % , a pH4 presenta una eficiencia de remoción de 33.22%; Si verificamos los resultados en el grafico 17 (analizados en agua) obtuvimos que a pH2 tiene un promedio de 52.10 % en eficiencia, a pH3 tiene un promedio de 29.98 % y a pH4 presenta una eficiencia de remoción de 12.74%;

pudiendo deberse al tipo de extractante ya que al momento en el que se realizó el lavado el tiempo que demora en que pasara el extractante a través del suelo desde inicio a fin en el caso del ácido acético fue de 4 horas; mientras que para el jugo de carambola fue el de 8 horas.

Con esto aclaramos que el mejor extractante para cadmio analizado en suelo y en agua vendría a ser el ácido acético con un 66.90 % y 52.11 % respectivamente superando a la hipótesis planteada inicialmente que el lavado de suelos utilizando dos extractantes removerá más del 50% del cadmio del suelo, esto se debería a que existen factores que influyen en la disponibilidad y movilidad del cadmio en el suelo; como tipo y cantidad de arcilla así lo explica (Lampkin, 1998 *citado por* HUAYNATES, 2011).

El suelo que utilizamos fue franco arcilloso y según (TANDY *et al.*, 2004), las arcillas son uno de los componentes mayoritarios del suelo y se encuentran de diferentes tipos y formas de complejos órgano-minerales, (GALÁN y ROMERO, 2008). también nos dice que, al estar constituidas esencialmente por silicato de aluminio hidratado, presentan alta consistencia plástica, puede ser modelado y además de ser impermeables retienen metales por adsorción y por la presencia de cargas negativas en su superficie que posibilitan la retención de elementos traza (REYES, 2010) como el cadmio que es uno de los metales traza del suelo más solubles (James, 2002 *citado por* HUAYNATES, 2011)

Otro factor que influye es el pH y en el suelo normalmente varía entre 4 y 8,5; cuando el pH de un sustrato está fuera de este rango, la movilidad de los metales, su adsorción y solubilidad se ven modificadas

(TANDY *et al.*, 2004). Además, un incremento en el pH del suelo incrementa las áreas efectivas de adsorción de metales en arcillas y materia orgánica pero no implica que incremente la adsorción de dichos metales, pues esto depende además de la afinidad que exista entre el metal contaminante y el material adsorbente (suelo) (REYES, 2010).

Si observamos el grafico 18 vemos la variación del pH con los lavados aplicados, en primera instancia el pH inicial del suelo es de 6.7; al utilizar ácido acético a un pH2 su acides aumenta con un pH de 3.81, saliendo de variación normal que sería entre 4 y 8.5 como lo afirma (TANDY *et al.*, 2004)., mientras que el lavado a un pH de (3 y 4) sus resultados se encuentran dentro de la variabilidad normal del pH del suelo; al igual que en los resultados para los tres niveles de pH aplicados con jugo de carambola; en comparación con el trabajo de investigación según (YACHA, 2018) podemos corroborar que la acides (pH) del suelo variaría según el tipo de agente extractor que se use.

Otro factor que influencia es el potencial de óxido reducción, con este podemos saber de acuerdo a sus concentraciones si tiene o no un alto potencial de transferencia de electrones, apoyado por (REYES, 2010) explicando que las condiciones oxidantes del suelo favorecen la retención de metales, mientras que las condiciones reductoras disuelven a los óxidos y permiten la liberación de los mismos. Según muestra nuestros resultados se pueden apreciar que en el grafico 19, inicialmente teníamos 35.7 Mv, e inmediatamente al aplicarse los lavados, su potencial de óxido reducción aumento, siendo el mayor para el caso de ácido acético a un nivel de pH2 con un valor de 209.8 Mv; explicando así que este aumento podría deberse a que el

extractante en cuestión tiene un potencial de óxido reducción alto y al hacer contacto con el suelo al lavarse propicio el aumento de su potencial.

Otro factor que influencia es la conductividad, podemos apreciar que en el grafico 20 los niveles de conductividad final en comparación a la inicial se incrementaron increíblemente, esto podría deberse a que, al incrementar el gradiente de potencial generado en el sistema, habría un incremento de iones libres y por lo tanto habría un incremento de conductividad; además (DE LA ROSA *et al.*,2007) nos confirma con los resultados de su investigación que la conductividad está en función de la naturaleza del sustrato y especialmente de la variación del pH como consecuencia del proceso electroquímico, pues crean perfiles de voltaje que modifican la conductividad del medio.

Podemos concluir además que del trabajo realizado la remoción de cadmio no dependió ni del tipo de extractante, ni del nivel de pH independientemente; si no de la interacción de ambas. Además de esto también dependería del tipo de suelo puesto que utilizamos un suelo arcilloso y se sabe que las arcillas tienden a tener mayor afinidad por la retención de metales pesados, se justificaría la eficiencia de tan solo el 66.90 % en eficiencia de remoción, en consecuencia, del tipo de extractante y sus niveles de pH, que entendemos también que la acides en la que se encuentre el suelo facilitaría la movilidad y disponibilidad del contaminante en cuestión.

VI. CONCLUSIONES

1. El nivel de pH adecuado de los extractantes ácido acético y jugo de carambola para la remoción de cadmio fue el de pH 2.
2. El extractante con mayor eficiencia de remoción de cadmio fue el ácido acético alcanzando un 66.90 %.
3. Al tratar el suelo mediante lavado vertical, los parámetros químicos como pH, potencial de óxido reducción, conductividad eléctrica y concentración de cadmio, presentaron cambios en comparación a sus valores iniciales.
4. Se removió el cadmio del suelo mediante lavado vertical con dos extractes

VII. RECOMENDACIONES

1. Considerar siempre el tipo de suelo para tener mejores resultados en tecnologías de remediación para sistemas de lavado.
2. Considerar siempre el tipo de extractante como variable para remoción de cadmio para sistema de lavado.
3. Verificar siempre la calibración del equipo de espectrofotómetro; para que la curva de calibración en su línea de tendencia este con el error menos posible y sus lecturas sean las más precisas posibles.
4. Secar siempre las muestras de suelo a la intemperie y no en estufa, puesto que es lo más recomendable para análisis en laboratorio.

VIII. ABSTRACT

The objective of the work was to remove cadmium in soils by vertical washing with two extractants; where the appropriate pH level was determined, the extractant with greater efficiency for cadmium removal and the comparison of chemical changes in the soil before and after washing.

A team of vertical washing system was assembled, the volume of extractant used was 2 L applied to 1 kg of soil in each treatment, with 3 repetitions; We worked with two types of extractants: the first is acetic acid and the second is the juice of carambola, working at three pH levels (2, 3 and 4); these were arranged factorially, obtaining 18 treatments plus 3 witness.

At the end of the vertical washing system it was determined that the best pH for the removal of cadmium in both extractants is at pH 2 and the most efficient extractant was acetic acid, reaching an efficiency of 66.9%, besides this chemical changes were shown in the soil as the pH, the potential of oxide reduction and the conductivity after washing.

Key words: Acetic acid, Carambola juice, chemical changes, extractant, pH level.

IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

ADRIANO, A. 2001. Manual sobre el manejo post-cosecha del cacao; Investigación en cacao. 8 ed. Cartagena, Colombia, Minicana. 713 p.

ALCAINO, G. 2012. Análisis y comparación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales. [En línea]: REPOSITORIO ACADÉMICO DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE, (<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/113010>, documento, 10 febrero 2018)

ALLOWAY, B. 1997. The origin of the heavy metals in soils. London Blackie Academic and Professional, 2 ed. 38-57 p.

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

BERMÚDEZ, W. 2015. análisis fisicoquímico de la carambola (averrhoa carambola l.) en la ciudad de tingo maría. [en línea]: repositorio académico de la unas, (<file:///C:/Users/House/Downloads/305797536->

Analisis-Fisicoquimico-de-La-Carambola.pdf, documento, 31 de mayo 2018)

BURLO, F. 1999. Effects on and accumulating by tomato plants. Arsenic species. 9 ed. London 1253 p.

CAPÓ MARTÍ M.A., Principios de ecotoxicología: diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. Editorial Tebar, 2007.

CORNEJO, 2015. Biotransformación de cadmio por medio de bacterias de suelo en biorreactores air lift. [En línea]: (<http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/360/T.AMB39.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, documento, 10 febrero 2018)

DE LA ROSA, D., TEUTLI, M. Y RAMÍREZ, M. 2007. Electrorremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo. [En línea]: SCIELO, (<http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v23n3/v23n3a3.pdf>. Artículo, 10 febrero 2018)

DEVIDA. 2013. Guía de métodos de detección y análisis de cadmio en cacao (*Theobroma Cacao L.*). [En línea]: slideshare; (<https://es.slideshare.net/RIICCHPeru/guia-de-metodos-de-deteccion-y-analisis-de-cadmio-en-cacao>, archivo, 10 febrero 2018)

FAO. 2017. Propiedades físicas del suelo. [En línea]: FAO, (<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>, documento, 10 febrero 2018))

FERNÁNDEZ V.G. Y GARCIA V.L.A. Apuntes de clase de la asignatura Balances de masa en suelos contaminados, especialización Ingeniería Sanitaria UNAM (2013).

FERNÁNDEZ, L., ROJAS, N.; ROLDÁN, T.; RAMÍREZ, E.; ZEGARRA, H.; URIBE, R.; REYES, R.; FLORES, D. y ARCE, J. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. México. 184 pp.

GALÁN, E. y ROMERO, A. 2008. Contaminación de suelos por metales pesados. [En línea]: CONFERENCIA ESPAÑOLA, (http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf, revista, 10 febrero 2018))

GARBISU, C., ALKORTA, I. 2001. Phytoextracction. A cost-effective plantbased technology for the removal of metals from the environment. 2ed. Liverpool Inglaterra. Review paper. 109 p.

GARCÍA, E. 1995. Técnicas de remediación de suelo. España. 70 p.

GODGUL, K.C. 1995. Chromium contamination from chromite mine; Environ. 9 ed. Bayer, Germany 300 p.

GONZÁLEZ, RENGIFO. 2000. Los cítricos. Primera edición. Editorial América S.A. Caracas. Pág. 102-113 y 420-431.

HAN, A. 2003. El cultivo del cacao. [En línea]: FAO, (<http://www.tdr.cesca.es> , documento, 10 febrero 2018).

HUAYNATES, J. 2011. Efecto de la materia orgánica en la absorción de cadmio por el suelo, en la localidad de supte. Tingo María. Perú. [En línea]: UNAS, (<http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/451/T.CSA-84.pdf?sequence=1&isAllowed=y> , documento, 10 febrero 2018)

JAMES, B. R. 2002. Chemical transformations of chromium in soils; Relevance to mobility, s.n. [En línea]: Bio availability and remediation, (<http://www.chromium-asoc.com/publications/crfile8feb02.htm> , documento, 10 febrero 2018)

JINADASA, N., MILHAM, P., HAWKINS, C.1999. Cadmio levels in soils and vegetables. Of the greater Sydney. A report for the rural industries research and development corporation. 5ed. Sydney Australia. 300 p.

LAMPKIN, N. 1998. Agricultura ecológica. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid, Barcelona, México 500 p.

LASAT, M.M. 2000. The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil; American Association for the advancement of science. 9 ed. Manchester. England. 33 p.

MORRAL, D. 2003. Eco Fisiología del Cultivo de Cacao; Universidad Nacional Agraria la Malina. 8ed. Lima, Perú, s.n. 311 p.

NAKASONE BARRERA, J.A.; M.S. HERNÁNDEZ; D. PÁEZ Y E. OVIEDO. 2001. Tecnologías para el aprovechamiento integral de frutas nativas en la región amazónica colombiana. Programa Nacional de Transferencia de tecnología Agropecuaria -PRONATTA-. Instituto Amazónico de investigaciones científicas -SINCHI-. Universidad de la Amazonía. Florencia-Caquetá.

NAVARRO, S. Y NAVARRO, G. 2003. Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida. Edit. Mundi-Prensa. España. 487 pp.

OMS; 1987. Food standards programme; Codex alimentarius commission. 20 ed. Geneva 123 p.

ORTIZ,et al, 2007. Técnicas de recuperación de suelos contaminados. Madrid. España: <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM001700.pdf>

:

PASTOR,2004. Guía de la contaminación del suelo. Zaragoza. España,[en línea]:http://www.conectapyme.com/files/medio/guia_suelos_contaminados.pdf, , documento, 10 febrero 2018)

PIÑA,2012. Lavado in situ de un suelo contaminado con diésel, asistido con surfactantes. México, [en línea]: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/11041/253.pdf?sequence=1&isAllowed=y>, documento, 10 febrero 2018)

RAMOS, P.; DEL CARMEN, M. y MORENO, V. 2002. Avances en Calidad Ambiental Edit. Universidad de Salamanca. España. 665pp.

REYES, M. 2010. Comportamiento de los metales pesados en el suelo. [En línea]: Revista Épsilon, ([https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ep/article /view/883/791](https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ep/article/view/883/791), revista, 10 febrero 2018)

RODRÍGUEZ, J.; LÓPEZ, M. y GRAU, J. 2009. Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de los suelos agrícolas y pastos de España. Edit. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. España. 16 pp

SALDIVAR L., TOVAR A., NAMIHIRA D.; 1997 Contaminantes inorgánicos.

Capítulo 13- Cadmio. BVSDE. 16 p.

TANDY, S.; BOSSART, K.; MUELLER, R.; RITSCHER, J.; HAUSER, L.; SCHULIN, R. y NOWACK, B. 2004. Extracción de metales pesados de suelos utilizando materiales biodegradables [En línea]: Environmental Science & Technology, (<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es0348750>, artículo 10 febrero 2018)

TERRY, N. 2000. Selenium in higher plants. Annu; Rev. Plant Physiol. s.n.

UCHIMAYA, M; LIMA, I.; KLASSON, T.; CHANG, S.; WARTELE, L. y RODGERS, J. 2010. Inmovilización de iones de metales pesados (CuII, CdII, NiII y PbII) por Biochar derivados de la basura en agua y suelo. [En línea]: Journal of agricultural and food chemistry, (<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/jf9044217>, artículo 10 febrero 2018)

WELCH, R.M. 1995. Micronutrient nutrition of plants; Critical reviews in plant science. s.e. London. 82 p.

YACHA, 2018. Electrorremediación de cadmio en suelo franco arcilloso a intervalo de tiempo y potencial de corriente. Perú. 108 p.

X. ANEXOS

Apéndice 1. Determinación del pH en función de la concentración de protones

Ácido acético pH_2 :

$$\text{pH}_2 = [10^{-2}] = 0.01$$

$$\text{pH}_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 1.24 = [10^{-1.24}] = 0.057$$

$$V_1 \times C_1 = V_2 \times C_2$$

$$V_1 \times 0.057 = 1000 \text{ ml} \times 0.01$$

$$V_1 = 175 \text{ ml de } \text{CH}_3\text{COOH}$$

175 ml de $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow 1000 \text{ ml}$ solución extractante

X $\rightarrow$ 2000 ml solución extractante

$$X = 350 \text{ ml de } \text{CH}_3\text{COOH}$$

Ácido acético pH_3 :

$$\text{pH}_3 = [10^{-3}] = 1 \times 10^{-3}$$

$$\text{pH}_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 1.24 = [10^{-1.24}] = 0.057$$

$$V_1 \times C_1 = V_2 \times C_2$$

$$V_1 \times 0.057 = 1000 \text{ ml} \times 1 \times 10^{-3}$$

$$V_1 = 17.5 \text{ ml de } \text{CH}_3\text{COOH}$$

17.5 ml de $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow 1000 \text{ ml}$ solución extractante

X $\rightarrow$ 2000 ml solución extractante

$$X = 35 \text{ ml de } \text{CH}_3\text{COOH}$$

Ácido acético pH_4

$$\text{pH}_4 = [10^{-3}] = 1 \times 10^{-4}$$

$$\text{pH}_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 1.24 = [10^{-1.24}] = 0.057$$

$$V_1 \times C_1 = V_2 \times C_2$$

$$V_1 \times 0.057 = 1000 \text{ ml} \times 1 \times 10^{-4}$$

$$V_1 = 1.75 \text{ ml de } \text{CH}_3\text{COOH}$$

1.75 ml de $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow 1000 \text{ ml}$ solución extractante

X $\rightarrow$ 2000 ml solución extractante

$$X = 3.5 \text{ ml de } \text{CH}_3\text{COOH}$$

Jugo de Carambola pH₂:

$$\text{pH}_2 = [10^{-2}] = 0.01$$

$$\text{pH}_{\text{Jugo de Carambola}} = 1.4 = [10^{-1.4}] = 0.0398$$

$$V_1 \times C_1 = V_2 \times C_2$$

$$V_1 \times 0.0398 = 1000 \text{ ml} \times 0.01$$

$$V_1 = 251.3 \text{ ml de Jugo de Carambola}$$

251.3 ml de Jugo de Carambola → 1000 ml solución extractante

X → 2000 ml solución extractante

$$X = 502.6 \text{ ml de Jugo de carambola}$$

Jugo de Carambola pH₃:

$$\text{pH}_3 = [10^{-3}] = 1 \times 10^{-3}$$

$$\text{pH}_{\text{Jugo de Carambola}} = 1.4 = [10^{-1.4}] = 0.0398$$

$$V_1 \times C_1 = V_2 \times C_2$$

$$V_1 \times 0.0398 = 1000 \text{ ml} \times 1 \times 10^{-3}$$

$$V_1 = 25.1 \text{ ml de Jugo de Carambola}$$

25.1 ml de Jugo de Carambola → 1000 ml solución extractante

X → 2000 ml solución extractante

$$X = 50.2 \text{ ml de CH}_3\text{COOH}$$

Jugo de Carambola pH₄:

$$\text{pH}_4 = [10^{-4}] = 1 \times 10^{-4}$$

$$\text{pH}_{\text{Jugo de Carambola}} = 1.4 = [10^{-1.4}] = 0.0398$$

$$V_1 \times C_1 = V_2 \times C_2$$

$$V_1 \times 0.0398 = 1000 \text{ ml} \times 1 \times 10^{-4}$$

$$V_1 = 2.5 \text{ ml de Jugo de Carambola}$$

2.5 ml de Jugo de Carambola → 1000 ml solución extractante

X → 2000 ml solución extractante

$$X = 5 \text{ ml de CH}_3\text{COOH}$$

Apéndice 2. Curva de calibración

Cuadro 24. Parámetros de calibración

standard	Conc	Valor Reslope
0	0	0
1	0.02	0.009
2	0.08	0.031
3	0.2	0.06
4	0.8	0.268

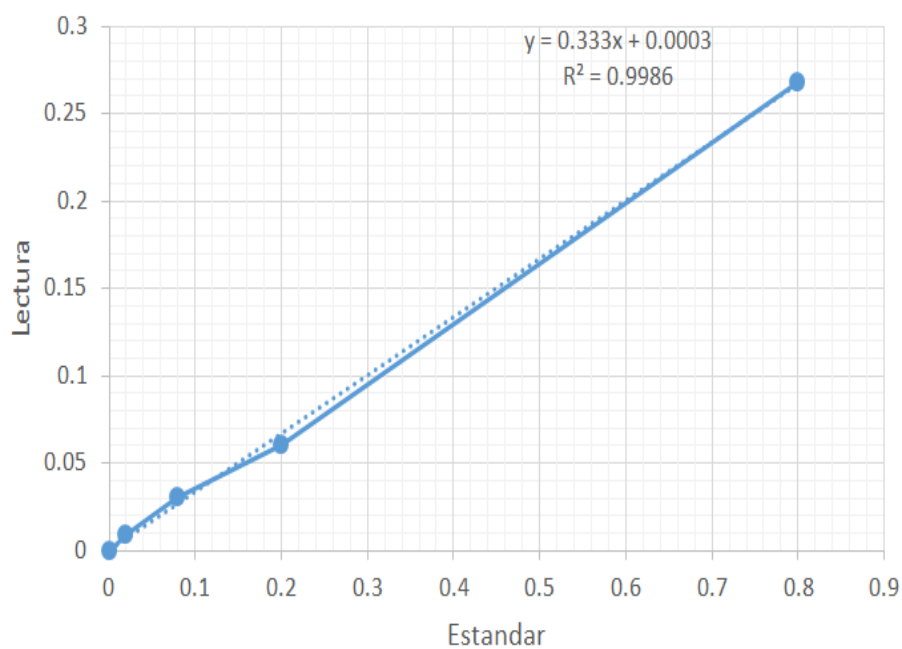


Figura 21. Curva de calibración

Apéndice 3. Lecturas de cadmio

Cadmio Total

Lectura de cadmio → 1000 ml

X → Volumen de la fiola (50 ml)

$$X = \frac{\text{Lectura cadmio} \times \text{Volumen de la fiola (50 ml)}}{1000 \text{ ml}}$$

$$\frac{\text{Lectura cadmio} \times \text{Volumen de la fiola (50 ml)}}{1000 \text{ ml}} \rightarrow \text{Peso del suelo (2 g)}$$

Cadmio total → 1000 g suelo

$$C_t = \frac{\text{Lectura de cadmio} \times \text{volumen de fiola (50 ml)}}{\text{peso de suelo (2 g)}}$$

Cadmio total = Lectura de cadmio x 25

Cuadro 25. Lectura de cadmio total

Código	Cadmio Total	
	lectura	Ppm
T R1	0.111	2.789
T R2	0.112	2.800
T R3	0.112	2.800
A PH2 R1	0.040	1.000
A PH2 R2	0.038	0.950
A PH2 R3	0.037	0.930
A PH3 R1	0.059	1.480
A PH3 R2	0.054	1.350
A PH3 R3	0.050	1.250
A PH4 R1	0.075	1.870
A PH4 R2	0.08	2.010
A PH4 R3	0.077	1.930
C PH2 R1	0.079	1.984
C PH2 R2	0.078	1.951
C PH2 R3	0.079	1.975
C PH3 R1	0.101	2.530
C PH3 R2	0.105	2.620
C PH3 R3	0.104	2.590
C PH4 R1	0.108	2.698
C PH4 R2	0.11	2.761
C PH4 R3	0.107	2.695

Cadmio Disponible

Lectura de cadmio → 1000 ml

X → Volumen del vaso (20 ml)

$$X = \frac{\text{Lectura cadmio} \times \text{Volumen del vaso (20 ml)}}{1000 \text{ ml}}$$

$$\frac{\text{Lectura cadmio} \times \text{Volumen de vaso (20 ml)}}{1000 \text{ ml}} \rightarrow \text{Peso del suelo (5 g)}$$

Cadmio disponible → 1000 g suelo

$$C_d = \frac{\text{Lectura de cadmio} \times \text{volumen del vaso (20 ml)}}{\text{peso de suelo (5 g)}}$$

Cadmio disponible = Lectura de cadmio x 4

Cuadro 26. Lectura de cadmio disponible

Código	Cadmio Disponible	
	lectura	ppm
T R1	0.56	2.240
T R2	0.558	2.230
T R3	0.559	2.237
A PH2 R1	0.129	0.517
A PH2 R2	0.124	0.497
A PH2 R3	0.126	0.505
A PH3 R1	0.314	1.254
A PH3 R2	0.282	1.128
A PH3 R3	0.26	1.041
A PH4 R1	0.439	1.756
A PH4 R2	0.467	1.868
A PH4 R3	0.451	1.803
C PH2 R1	0.456	1.823
C PH2 R2	0.433	1.731
C PH2 R3	0.448	1.792
C PH3 R1	0.517	2.066
C PH3 R2	0.537	2.148
C PH3 R3	0.529	2.119
C PH4 R1	0.55	2.201
C PH4 R2	0.553	2.213
C PH4 R3	0.552	2.210

Cadmio Soluble

Lectura de cadmio → 1000 ml

X → Volumen del vaso (20 ml)

$$X = \frac{\text{Lectura cadmio} \times \text{Volumen del vaso (20 ml)}}{1000 \text{ ml}}$$

$$\frac{\text{Lectura cadmio} \times \text{Volumen de vaso (20 ml)}}{1000 \text{ ml}} \rightarrow \text{Peso del suelo (5 g)}$$

Cadmio soluble → 1000 g suelo

$$C_s = \frac{\text{Lectura de cadmio} \times \text{volumen del vaso (20 ml)}}{\text{peso de suelo (5 g)}}$$

Cadmio soluble = Lectura de cadmio x 4

Cuadro 27. Lectura de cadmio soluble

Código	Cadmio soluble	
	lectura	ppm
T R1	0.42	1.680
T R2	0.425	1.700
T R3	0.422	1.690
A PH2 R1	0.096	0.382
A PH2 R2	0.072	0.287
A PH2 R3	0.074	0.296
A PH3 R1	0.233	0.931
A PH3 R2	0.218	0.873
A PH3 R3	0.217	0.870
A PH4 R1	0.366	1.462
A PH4 R2	0.399	1.597
A PH4 R3	0.368	1.473
C PH2 R1	0.361	1.442
C PH2 R2	0.333	1.332
C PH2 R3	0.335	1.420
C PH3 R1	0.396	1.583
C PH3 R2	0.419	1.676
C PH3 R3	0.407	1.628
C PH4 R1	0.417	1.669
C PH4 R2	0.396	1.584
C PH4 R3	0.401	1.602

Cadmio en extractante utilizado (Lavado)

Cuadro 28. Lectura de cadmio soluble

No hubo diluciones por lo que la lectura hecha es concentración contenida.

Código	Cadmio en extractante utilizado (Lavado)
T R1	
T R2	
T R3	
A PH2 R1	1.473
A PH2 R2	1.539
A PH2 R3	1.521
A PH3 R1	0.931
A PH3 R2	0.884
A PH3 R3	0.793
A PH4 R1	0.337
A PH4 R2	0.402
A PH4 R3	0.369
C PH2 R1	0.243
C PH2 R2	0.221
C PH2 R3	0.237
C PH3 R1	
C PH3 R2	
C PH3 R3	
C PH4 R1	
C PH4 R2	
C PH4 R3	

Apéndice 4. Lectura de parámetros químicos

Cuadro 29. Lectura de parámetros químicos – Suelo lavado

Código	pH	Potencial de Oxido Reducción Mv	T°	Conductividad μS	Solidos Disueltos ppm	Salinidad (%)
T R1	6.83	35.6	26.0	1504	754	2.9
T R2	6.78	38.0	25.4	2036	1018	3.9
T R3	6.84	34.0	26.2	1778	870	3.4
A PH2 R1	3.82	208.8	24.5	2738	1388	5.2
A PH2 R2	3.84	208.2	24.7	2730	1369	5.3
A PH2 R3	3.78	212.3	25.8	2820	1406	5.5
A PH3 R1	4.96	143.4	24.7	1839	925	3.6
A PH3 R2	4.93	145.3	24.3	1556	782	3.0
A PH3 R3	4.95	143.6	24.3	1910	952	3.7
A PH4 R1	6.30	66.1	24.5	1387	693	2.7
A PH4 R2	6.41	60.4	24.4	1522	760	3.0
A PH4 R3	6.49	55.2	24.3	1464	733	2.8
C PH2 R1	6.15	81.8	27.2	1635	818	3.6
C PH2 R2	6.12	76.4	27.0	1847	923	3.6
C PH2 R3	6.20	70.8	26.7	1669	844	3.2
C PH3 R1	6.56	52.8	26.9	1525	761	2.9
C PH3 R2	6.59	48.6	26.8	1886	941	3.7
C PH3 R3	6.64	46.5	26.8	1570	783	3.0
C PH4 R1	6.68	47.2	26.8	1495	748	2.9
C PH4 R2	6.70	43.4	26.6	1507	753	2.9
C PH4 R3	6.71	43.2	17.4	1520	776	2.9

Cuadro 30. Lectura de parámetros químicos – Extractante usado en lavado

Código	pH	Potencial de Oxidc Reducción Mv	T°	Conductividad μS	Solidos Disueltos g/L	Salinidad (%)	Litros
T R1	7.04	22.0	20.4	3.51	1.76	6.8	1.500
T R2	7.08	20.2	21.1	3.23	1.61	6.2	1.400
T R3	7.13	17.4	21.3	3.20	1.63	6.3	1.500
A PH2 R1	2.92	260.2	23.8	20.56	10.25	39.8	1.450
A PH2 R2	2.93	258.5	23.9	20.53	10.24	39.7	1.450
A PH2 R3	2.93	258.6	24.0	19.59	10.53	38.1	1.450
A PH3 R1	4.71	157.0	23.8	20.02	10.02	38.8	1.400
A PH3 R2	4.76	157.3	23.8	20.50	10.31	39.9	1.400
A PH3 R3	4.79	158.3	23.8	22.79	11.38	44.2	1.400
A PH4 R1	6.31	70.1	23.8	5.83	2.91	11.3	1.300
A PH4 R2	6.30	65.4	23.8	5.61	2.80	10.8	1.450
A PH4 R3	6.33	64.4	23.8	5.90	2.96	11.5	1.475
C PH2 R1	5.65	103.1	22.9	8.47	4.24	16.4	1.475
C PH2 R2	5.80	94.4	22.9	8.65	4.33	16.8	1.400
C PH2 R3	5.76	96.4	22.8	8.66	4.32	16.7	1.400
C PH3 R1	6.18	73.5	22.6	5.66	2.83	11	1.400
C PH3 R2	6.10	78.0	22.7	5.61	2.80	10.9	1.550
C PH3 R3	6.10	81.9	22.6	5.74	2.87	11.1	1.525
C PH4 R1	6.44	56.7	22.7	4.41	2.20	8.5	1.500
C PH4 R2	6.44	59.2	22.7	4.38	2.18	8.5	1.500
C PH4 R3	6.54	51.8	22.8	4.48	2.24	8.7	1.500

Apéndice 5. Panel fotográfico

Anexo A. recolección y preparación del suelo



Figura 22. Recolección de suelo



Figura 23. Traslado del suelo



Figura 24. Secado del suelo recolectado



Figura 25. Molido del suelo seco



Figura 26. Tamizado numero 1



Figura 27. Tamizado numero 2



Figura 28. Homogenización y partición de las muestras

Anexo B. Construcción y armado del equipo de lavado vertical



Figura 29. Cortado de madera para estructura de lavado



Figura 30. Construcción de estructura de lavado



Figura 31. Acabado de la estructura de lavado



Figura 32. Ensamblaje del sistema de lavado



Figura 33. Acondicionamiento de contenedores de lavado



Figura 34. Sistema de Lavado terminado

Anexo C. Preparación de los extractantes

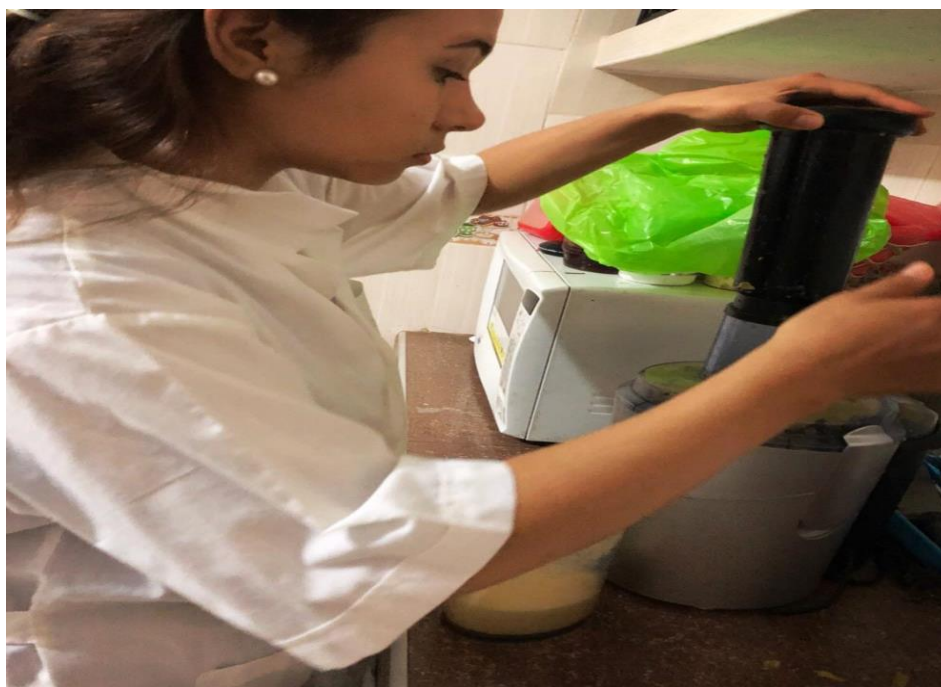


Figura 35. Preparación del jugo de carambola



Figura 36. Guardado del jugo de carambola



Figura 37. Cernido del jugo de carambola

Anexo D. Preparación de los niveles de Ph y lavado vertical de suelo

Figura 38. Extractante a un pH₂Figura 39. Extractante a un pH₃

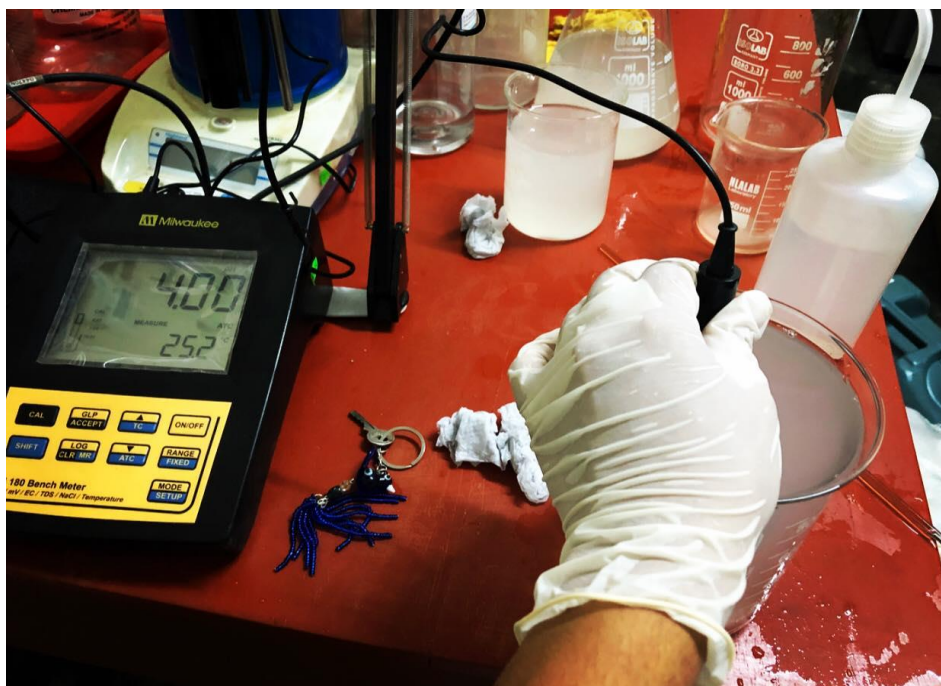


Figura 40. Extractante a un pH4



Figura 41. Puesta de suelo en Contenedores



Figura 42. Lavado vertical de suelo contaminado por cadmio

Anexo E. Análisis, procesamiento de muestras y resultados



Figura 43. Análisis químico extractante post lavado



Figura 44. Muestras de agua para análisis de cadmio



Figura 45. Recogido de muestras de suelo lavadas



Figura 46. Secado de muestras lavadas



Figura 47. Tamizado de muestras secas lavadas



Figura 48. Muestras listas para análisis



Figura 49. Análisis químico de muestras de suelo lavado



Figura 50. Pesado de suelo para análisis de cadmio total, disponible y soluble



Figura 51. Agitación de suelo para análisis de cadmio total, disponible y soluble



Figura 52. Muestras listas para lectura de cadmio disponible y soluble



Figura 53. Preparación de muestras para cadmio total 1



Figura 54. Preparación de muestras para cadmio total 2



Figura 55. Muestras listas para lectura de cadmio total



Figura 56. Lectura de cadmio



Figura 57. Parámetros de calibración



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 AV. UNIVERSITARIA S/N - CARRETERA CENTRAL KM 1.27 - TINGO MARIA - CELULAR 941531359
Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos
analisisdesuelos@hotmmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:				SILVA SAMPE CECILIA GABRIELA				PROCEDENCIA:				PICURUYACU
N°	COD. LAB.	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O.	N	Cd soluble	Cd disponible	
		CULTIVO	SECTOR	Areia	Argila	Limo						
				%	%	%	1:1	%	%	ppm	ppm	ppm
1	S3476	CACAO	Picuryacu Alto	--	--	--	--	--	--	1.70		2.30

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
 FECHA : 12 de Julio del 2018
 RECIBO N°901-0547958



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 CUL. PAVANES DE SUELOS



Ing. Luis C. Mansilla Minaña
 JEFE

Figura 58. Análisis inicial