

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**REMOCIÓN DE CADMIO (Cd) POR ELECTORREMEDIACIÓN DE
LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN EL DISTRITO MOLINO – HUÁNUCO**

Tesis

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

DANITZA DELSY HIDALGO ORTIZ

Tingo María – Perú

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°054-2022-FRNR-UNAS

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 28 de setiembre de 2022 a horas 02:00 p. m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental:

“REMOCIÓN DE CADMIO (Cd) POR ELECTORREMEDIACIÓN DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL DISTRITO MOLINO - HUÁNUCO”

Presentado por la Bachiller: **HIDALGO ORTIZ, Danitza Delsy**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENO”**

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

Tingo María, 09 de noviembre de 2022

Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
PRESIDENTE

Ing. M.Sc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
MIEMBRO

Ing. M.Sc. ERLE O. BUSTAMANTE SCAGLIONI
MIEMBRO

Dr. VICTOR MANUEL BETETA ALVARADO
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**REMOCIÓN DE CADMIO (Cd) POR ELECTORREMEDIACIÓN DE
LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES EN EL DISTRITO MOLINO – HUÁNUCO**

Tesis

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

DANITZA DELSY HIDALGO ORTIZ

Tingo María – Perú

2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



REMOCIÓN DE CADMIO (Cd) POR ELECTORREMEDIACIÓN DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL DISTRITO MOLINO – HUÁNUCO

Autor : Danitza Delsy Hidalgo Ortiz

Asesor(es) : Dr. Victor Manuel Beteta Alvarado

Programa de investigación : Tecnologías para reducir la contaminación

Línea(s) de investigación : Ciencia y Tecnologías Ambientales

Eje temático : Desarrollo de nuevas tecnologías para reducción de la contaminación ambiental

Lugar de ejecución : Universidad Nacional Agraria de la Selva

Duración : Fecha de inicio: 22 de setiembre del 2021
Termino: 22 de marzo del 2022

Financiamiento : S/ 7,279.00

Tingo María – Perú, 2022

DEDICATORIA

*A mis padres Armando Hidalgo y Norma Ortiz,
por haberme forjado como la persona que soy en
la actualidad, muchos de mis logros se lo debo a
ustedes entre los que se concluye éste, son mi
motivación constante para alcanzar mis anhelos.*

Danitza

AGRADECIMIENTOS

- ✓ A mis padres, hermano Waldir y el que me guía desde el cielo Lenny y demás personas que contribuyeron con mi formación profesional.
- ✓ A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por la formación académica.
- ✓ A mi apreciado asesor el Ing. Dr. Víctor Beteta Alvarado, por su ánimo y consejos en la culminación de esta tesis.
- ✓ Al laboratorio de Calidad de Aire por la predisposición para ejecutar la Investigación, asimismo, al laboratorio de Análisis de Suelos, Agua.
- ✓ A todos mis compañeros y amigos, mis peques Yuli, Brigith, Vale, Grecia, Nelly, Alex, Stefany por soportarnos, por las traspasadas durante todos los años de estudio.

¡Gracias a todos ustedes!

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivo.general	1
1.2. Objetivos.específicos	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes.....	3
2.2 Biodisponibilidad de metales pesados	5
2.3 Cadmio en el ambiente	6
2.4 Lodos	6
2.4.1. Clasificación de lodos.....	7
2.5. Biosólido	8
2.5.1. Alternativas de aprovechamiento de lodos	8
2.6 Electrorremediación.....	11
2.6.1. Componentes de la electrorremediación.....	12
2.6.2. Factores que influyen.....	13
2.7. Normatividad	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1. Descripción de lugar de estudio.....	17
3.1.1. Aspectos sociales y ambientales	17

3.1.1.1. Clima	17
3.1.1.2. Zona de vida	18
3.1.1.3. Población.....	18
3.1.1.4. Actividades socio económicas.....	18
3.2. Descripción del lugar de trabajo	18
3.3. Materiales y equipos	19
3.3.3. Reactivos	19
3.3.4. Programas del computador.....	19
3.4. Tipo de investigación	19
3.4.1. Variables en estudio	19
a. Variable dependiente	19
b. Variable independiente	19
3.4.2. Diseño de investigación	19
3.4.3. Diseño estadístico	21
3.5. Metodología.....	22
3.5.1. Diseño del equipo	22
3.5.3. Población, muestra y Muestreo del lodo.	23
3.6. Cálculo de los valores de las variables sujetas a estudio.....	24
3.6.1. Determinar las condiciones iniciales de los lodos residuales con cadmio de la PTAR.	24
3.6.2. Tiempo y voltaje óptimo de electrorremediación en la remoción de Cadmio en los lodos residuales	25

3.6.3. Eficiencia en la remoción de Cadmio en lodos residuales	25
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1 Condiciones iniciales de los lodos residuales de la PTAR.	26
4.1.1.1 Color.....	28
4.1.1.2 Concentración de cadmio del lodo residual.....	30
4.2 Tiempo y voltaje óptimo de electrorremediación.....	32
4.3 Eficiencia en la remoción de Cadmio en lodos residuales.....	34
V. CONCLUSIONES	37
VI. PROPUESTAS A FUTURO	38
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Parámetros de toxicidad química.....	7
2. Parámetros de Higienización	8
3. Contraste de las opciones de aprovechamiento para los lodos.	9
4. Parámetros de toxicidad química en Biosólidos de Clase A y B.....	15
5. Tasa Máxima por año de contaminantes para ejecución de biosólidos.	15
6. Parámetros de higienización	16
7. Diseño factorial de variables y tratamientos.....	20
8. Cuantía de muestras necesarias	23
9. Promedio de temperatura (C°), pH, conductividad (mS/cm) inicial de los lodos. ...	26
10. Concentraciones de Cadmio antes de la aplicación de electroremediación.	30
11. Remoción de cadmio en todos los tratamientos empleados.	32
12. Prueba de ANOVA sobre la determinación del tiempo y voltaje óptimo	33
14. Remoción de Cadmio (%) en muestra testigo y por cada tratamiento utilizado. ...	34
15. Prueba de ANOVA sobre la eficiencia en la remoción de Cadmio.....	36
18. Datos iniciales conductividad eléctrica.	43
19. Datos iniciales de pH.	45
20. Datos iniciales de temperatura.	47
21. Datos iniciales y finales Cadmio con porcentajes de remoción.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa político del distrito de Molino	17
2. Flujograma de la investigación	21
3. Diseño del equipo experimental en ejecución	22
4. Temperatura inicial de tratamientos y testigos (C°) de los lodos residuales	26
5. pH inicial de tratamientos y testigos del lodo residual del PTAR.Molino	27
6. Conductividad inicial de tratamientos y testigos (mS/cm) en los lodos residuales ..	28
7. Color del lodo antes de aplicar la electrorremediacion.....	29
8. Color del lodo después del tratamiento	29
9. Concentraciones iniciales de Cadmio (ppm) en los lodos residuales	31
10. Concentraciones finales de Cadmio (ppm) en los lodos residuales.....	32
11. Remoción de Cadmio (%) por cada tratamiento utilizado.....	35
12. Electrodos de grafito de 3/8.....	51
13. Cloruro de sodio	51
14. Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) - Molino	52
15. Toma de ubicación en PTAR.....	52
16. Muestreo en el PTAR	53
17. Pesado del lodo	53
18. Pesado de NaCl.....	54
19. Pesado de muestra 10:100 para determinación de parámetros fisicoquímicos.....	54
20. Dilución de la muestra para su posterior medición	55
21. Medición de pH, conductividad y temperatura.....	55
22. Medición de pH, conductividad y temperatura de los testigos.	56
23. Medición de conductividad de blanco o testigo	56

24. Tratamiento V1T1 al inicio	57
25. Tratamiento V1T1 al inicio.	57
26. Tratamiento V1T1 al después.	58
27. Tratamiento V2T1 al inicio.	58
28. Tratamiento V2T1 al inicio.	59
29. Tratamiento V2T1 después.....	59
30. Tratamiento V3T1 al inicio.	60
31. Tratamiento V3T1 al inicio.	60
32. Tratamiento V3T1 después.....	61
33. Tratamiento V3T1 después.....	61
34. Se continuó con todos los tratamientos	62
35. Equipo en funcionamiento para el tratamiento V1T3, V2T3 y V3T3	62
36. Pesado de la muestra para luego ser llevado al laboratorio de Suelos.....	63
37. Testigo V1T1 antes.....	63
38. Testigo V1T1 antes.....	64
39. Testigo V1T1 después	64
40. Testigo V2T1 antes.....	65
41. Testigo V2T1 antes.....	65
42. Testigo V2T1 después.	66
43. Testigo V3T1 antes.....	66
44. Testigo V3T1 antes.....	67
45. Testigo V3T1 después	67
46. Muestras de lodo en bolsas ziploc llevados al laboratorio	68
47. Visita del jurado al laboratorio	68
48. Visita del jurado al laboratorio	69

RESUMEN

Esta investigación presenta la aplicación de la técnica de electrorremediación en el tratamiento de lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) – Molino en la provincia de Pachitea, Huánuco. El estudio consistió en un primer paso en el muestreo del lodo y la caracterización de los parámetros fisicoquímicos, en segundo paso la instalación del prototipo para la técnica de electrorremediación. Las concentraciones de Cadmio (Cd) en las muestras de lodo antes y después del experimento se determinaron por espectroscopia de absorción atómica. Habiéndose realizado nueve tratamientos con tres horas distintas (4, 8, 12 horas) y tres voltajes distintos (15V, 20V, 25V) con cinco repeticiones respectivamente donde se aplicó la misma solución electrolítica de Cloruro de Sodio 12% al (99.5%), el testigo o muestra control solo se aplicó el tiempo y voltaje con excepción de la solución electrolítica. Se observaron diferencias significativas de remoción de Cadmio entre los tratamientos. El tiempo y voltaje optimo fue el tratamiento de 15 voltios - 8 horas (V1T2) y la eficiencia de remoción máxima fue de 84.48% correspondiente al tratamiento de 25 voltios - 12 horas (V3T3). Los resultados muestran la factibilidad de utilizar la técnica para la remoción de metales pesados en lodos.

Palabras clave: Remoción, fisicoquímico, voltaje, Cloruro de Sodio, electrolítica.

ABSTRACT

This research presents the application of the electroremediation technique in the treatment of sludge from the Wastewater Treatment Plant (WWTP) - Mill in the province of Pachitea, Huánuco. The study consisted in a first step in the sampling of the mud and the characterization of the physicochemical parameters, in the second step the installation of the prototype for the electroremediation technique. Cadmium (Cd) concentrations in the sludge samples before and after the experiment were determined by atomic absorption spectroscopy. Having carried out nine treatments with three different hours (4, 8, 12 hours) and three different voltages (15V, 20V, 25V) with five repetitions, respectively, where the same electrolytic solution of Sodium Chloride 12% (99.5%) was applied. the witness or control sample was only applied the time and voltage with the exception of the electrolyte solution. Significant differences in Cadmium removal were observed between treatments. The optimal time and voltage was the treatment of 15 volts - 8 hours (V1T2) and the maximum removal efficiency was 84.48% corresponding to the treatment of 25 volts - 12 hours (V3T3). The results show the feasibility of using the technique for the removal of heavy metals in sludge.

Keywords: Removal, physicochemical, voltage, Sodium Chloride, electrolytic.

I. INTRODUCCION

Desde los años 1990 se vinieron desarrollando múltiples tecnologías para la remediación de los contaminantes muchas de las cuales se aplican exitosamente actualmente. En la actualidad nivel nacional las plantas de tratamiento de aguas residuales producen grandes cantidades de lodos, por consiguiente dichos lodos no se dan un buen manejo ni reaprovechamiento debido a la contaminación por metales pesados como arsénico, cadmio, mercurio entre otros asimismo son perniciosos para la salud humana debido a la presencia de microorganismos , virus, bacterias, que ponen en riesgo la salud de las personas pero por otra parte contienen un alto contenido de materia orgánica por el alto contenido nitrógeno y el fósforo, los cuales contribuyen a una mejora de las condiciones fisicoquímicas del suelo.

En la presente investigación se evaluará la remoción de cadmio aplicando la electrorremediación de los lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Molino debido a que ésta planta tiene problemas con la disposición final de dichos lodos, además, no se da el cumplimiento del Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos Generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

Se aplicará dicha técnica para que los lodos que lleguen a su disposición final no contengan traza de metal pesado como el Cadmio y como consecuencia no genere impactos a ser humano ni el ambiente, teniendo como problema de investigación ¿ Cuánto de Cadmio podrá ser removido de los lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el Distrito Molino – Huánuco al aplicarse electrorremediación?, teniendo como hipótesis que se alcanzará un 70% de remoción de cadmio aplicando electrorremediación de los lodos de la PTAR en el Distrito Molino – Huánuco.

1.1. Objetivo general

Determinar el porcentaje de remoción de Cadmio (Cd) aplicando electrorremediación en los lodos residuales la PTAR en el Distrito Molino – Huánuco.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar las condiciones iniciales de los lodos residuales con cadmio de la PTAR.

- Determinar el tiempo y voltaje óptimo de electrorremediación en la remoción de Cadmio en los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales en el Distrito Molino – Huánuco.
- Determinar la eficiencia en la remoción de Cadmio en lodos residuales mediante el proceso de electrorremediación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Ybañez, (2018), en su estudio realizado “Remoción de Plomo y Cadmio en Lodos Residuales del PTAR Ventanilla mediante Remediación Electrocínética, Lima-2018.” El objetivo fue calcular la proporción de remoción de cadmio y plomo en los lodos residuales con el procedimiento de remediación electrocínética y para obtener los niveles de concentración de dichos metales se hizo mediante una caracterización inicial, para lo cual en setiembre se realizó el muestreo en la Planta de Tratamiento de Aguas residuales en Ventanilla obteniendo como concentraciones iniciales de 180 mg/kg en plomo y 3880 mg/kg en cadmio, teniendo en cuenta que el cadmio sobrepasa excesivamente los niveles permisibles planteados por la Agencia de Protección Ambiental. Se trabajó con una población de 300 kilogramos y la muestra fue de 15 kilogramos, se trabajó con tres celdas las cuales cada una consistía en medidas de 30x20x20 centímetros, en cada celda se puso el lodo y dos electrodos de grafito de 3/8 de pulgada, el electrolito que se trabajó fue una solución de cloruro de sodio, el cual se trabajó en concentraciones y dosis distintas para cada procedimiento, se hizo cinco test en 20 horas cada uno. Los resultados de la cuarta repetición fue la que tuvo buenos resultados, teniendo la remoción hasta 71.11% del plomo y 71.65% de cadmio.

ZHANG *et al.* (2019), en la investigación “Electro-remediation of tailings from a multi-metal sulphide mine: comparing removal efficiencies of Pb, Zn, Cu and Cd” consistió en el estudio de relaves mineros sulfurosos los cuales están caracterizados por las altas concentraciones de metales pesados (Cd 14.1 ± 0.3 mg/kg, Pb 3532 ± 97 mg/kg y Cu 239 ± 18 mg/kg) y abundante carbonato (17%) se trabajó a escala laboratorio, fueron sometidos a ocho tratamientos de remediación de electrodiálisis, experimentos para investigar la correspondiente incidencia de la densidad de corriente, tiempo de tratamiento y tamaño de partícula en la eficiencia de eliminación. Para Pb y Cu mejoraron la eliminación al aumentar la densidad de corriente, mientras que para la eliminación de Cd y Zn no fue la misma. En contraste para la remoción de Cd y Zn mejoró al moler los relaves, mientras que para Pb y Cu no lo hizo. A la densidad de corriente más alta (1.2 mA/cm²) la remoción fue 94% para Pb, 75% Zn, 71% Cu y 67% Cd en relaves molidos en 28 días. La extracción secuencial realizada antes y después de la EDR reveló fracciones oxidables más grandes de Zn, Cu y Cd lo que representa grandes fracciones de sulfuro lo que posiblemente sea la principal barrera para eliminar de manera muy eficiente como el Pb. Esto estuvo de acuerdo con las pruebas de extracción ácido base en las que el Pb mostró alta solubilidad tanto a pH alto como bajo (65% y 86% de extracción),

mientras que la extracción considerable de Zn (55%) ocurrió solo a pH bajo y se obtuvo una extracción muy limitada (<20%) de Cu y Cd a cualquier pH.

Streche et al.,(2013) en la investigación realizado tratamiento de suelo contaminado con Diesel por métodos DCT “The treatment of diesel contaminated soil by dcts methods” el estudio consistió en probar dos tecnología que se basan en el uso de campo eléctrico para poder tratar los suelos contaminados, la primera tecnología que se aplicó fue la electrorremediación y la segunda fue la remediación de electroenjuague. La prueba se realizó a nivel de laboratorio la primera prueba implicó la aplicación de un voltaje persistente en 28 días donde alcanzó una eficiencia hasta el 80% para TPH eliminando, mientras que en el segundo sistema tenía el propósito de ver que sucede cuando combine la electrorremediación con el método del lavado durante 21 días. Después de los 21 días utilizando el lavado líquido el agua desmineralizada recuperamos 31.82% del diésel que se introducido inicialmente en el suelo.

García *et al.* (2011) en su estudio realizado “Electrorremediación de suelos arenosos contaminados por Pb, Cd y As provenientes de residuos mineros, utilizando agua y ácido acético como electrolitos” determinó que la remoción de Pb llega a un 12%, para Cd un 20% y para As un 22%, a comparación con el tratamiento de electrorremediación se tiene una remoción máxima de 84.48% en un periodo de 12 horas constantes con un voltaje de 25 voltios, la diferencia básicamente se encuentra en el tipo de electrolito utilizado, debido a que utiliza el ácido acético y en esta investigación se utiliza el cloruro de sodio viendo que ésta última mejora la conductividad eléctrica y promueve la remoción del metal.

Fuentes et al., (2004). En su investigación denominado “Phytotoxicity and heavy metals speciation of stabilised sewage sludges” donde se analiza los diferentes tipos de lodos (aeróbicos, anaeróbicos, no estabilizados y los lodos procedentes de un estanque de estabilización de residuos) en la que se compara la distribución de los metales pesados que contienen, según el tratamiento al que se hayan sometido. Los lodos de depuradora se sometieron a pruebas de caracterización química y fitotoxicidad, se determinó la cantidad total de metales de Cadmio, Cromo, Cobre, Calcio, Potasio, Hierro, Magnesio, Níquel, Sodio, Plomo, Zinc. Se siguió el método de la Oficina Comunitaria de Referencia (BCR) para la especiación total de metales pesados, se confirmó que la concentración total de metales pesados no superaba los límites establecidos por la legislación europea y que el tratamiento de estabilización al que se sometían los lodos influía fuertemente en la distribución de metales pesados y en las fases a las que estaban establecidos. Los extractos de lodos no ejercieron ningún efecto adverso significativo sobre germinación relativa de las semillas de la cebada o

berro, aunque la reducción de índice de germinación indica que existían algunas características que si tuvieron un efecto adverso sobre el crecimiento radicular.

2.2 Biodisponibilidad de metales pesados

Según (Sánchez et al., 2011) considera que se comprende a la biodisponibilidad, como fracción de metales pesados que se encuentran disponibles para la absorción de la planta, lo cual va depender de la movilidad y solubilidad del metal en solución del suelo, básicamente solo los metales unidos a fracciones solubles e intercambiables están realmente disponibles para las plantas, por lo que las concentraciones totales de los metales en el suelo no reflejan necesariamente los niveles de metales biodisponibles.

Los metales pesados se asocian con distintas fracciones.

- Fracción soluble, se encuentran como iones de metal libre o formando complejos metálicos solubles en la solución del suelo.
- Fracción intercambiable, en ella se incluyen los metales adsorbidos como la materia orgánica, Fe etc. Estos metales se pueden liberar fácilmente en proceso de intercambio iónico.
- Fracción orgánica del suelo.
- Fracción ligada a los óxidos, hidróxidos y carbonatos del suelo.
- Fracción residual, ubicada en las estructuras de los silicatos del suelo.

Los lodos contienen grandes cantidades de materia orgánica lo que implica tener una elevada concentración de metales pesados y microorganismos incluidos el cadmio por lo que es imprescindible su estabilización. Según Gonzales et al.,(2011), menciona la definición de la especiación de los metales pesados lo siguiente:

- a) Fracción intercambiable: son las que incluyen a los metales adsorbidos en la superficie solida del suelo, unidos por interacciones electrostáticas relativamente débiles. Estos metales pueden liberarse a través del intercambio iónico, los iones metálicos intercambiables son una medida de la facultad con la que los metales pesados se liberan en la solución del suelo, este paso representa la fracción biodisponible más alta de la biodisponibilidad.
- b) Fracción reducible: los metales pesados están vinculados de forma primaria a óxidos e hidróxidos de Mn y Fe, los metales pueden estar conexos a óxidos que se mencionaron por alguno de los mecanismos correspondientes o la mezcla de las mismas:

coprecipitación, la adsorción, formación de complejos de superficie, la penetración en la estructura cristalina y el intercambio iónico. Los metales pesados vinculados a estos minerales no poseen estabilidad en circunstancias reductoras. Esta fracción posee ocupación en la segunda ubicación en la biodisponibilidad de metales pesados hacia la solución del suelo.

- c) **Fracción oxidable:** Los metales pesados que pueden estar vinculados por medio de reacciones de complicación a la materia orgánica del suelo. Las formas de metales pesados disueltos se liberan cuando la materia orgánica es atacada en circunstancias oxidantes rigurosas, la biodisponibilidad de esta fracción posee dependencia de la clase de materia orgánica.
- d) **Fracción residual:** Son los metales pesados restantes y su biodisponibilidad es muy baja.

2.3 Cadmio en el ambiente

El esparcimiento de ciertos fertilizantes o estiércol animal a los terrenos agrícolas eleva el nivel de cadmio, provocando un incremento de este metal debido a su concentración en las plantas (raíces, frutos además de hojas). Los alimentos que más se concentran son los cereales como el arroz, maíz y trigo, verduras de hoja verde (lechuga, espinaca), soja, zanahoria y la patata, seguidos de pescado, el pan y en inferior medida la carne y fruta (Resolución Ministerial N° 757-2013-MINSA, 2013).

2.4 Lodos

Este es un residuo sólido del proceso de tratamiento de aguas residuales que tiene un alto contenido orgánico y es una particularidad que se ejecuta de forma principal a los lodos y aguas residuales de pre y pos tratamiento de las instalaciones sanitarias en el sitio. Los lodos de depuradora son una mezcla de agua y sólidos separados de las aguas residuales como resultados de los procesos naturales o artificiales (D.S. N° 015-2017-VIVIENDA, 2017).

Los lodos se caracterizan por ser un residuo extremadamente líquido (más de un 95% de agua). Su composición es variable y depende de la carga de contaminación del agua residual inicial y de las características técnicas de los tratamientos llevados a cabo en las aguas residuales. Muchas de ellas contienen un valor agrícola (materia orgánica, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) y pequeñas cantidades de calcio (Ca), magnesio (Mg) y otros micronutrientes esenciales para las plantas) y posible contaminación por metales pesados, entre ellos cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn), los patógenos, y contaminantes orgánicos (Ministerio Para La Transición Ecológica, 2018)

Los lodos son diferentes y dependen básicamente del origen de los mismos ya que los lodos que se originan en una planta de agua potable con una proveniente de un PTAR no contienen las mismas características (Mishchuk, 2009). Ybañez (2018) señala que “la naturaleza de los lodos depende de elementos como la conformación de las aguas residuales, el proceso de tratamiento y el tiempo de los lodos”.

2.4.1. Clasificación de lodos.

D.S. N° 015-2017-VIVIENDA (2017) indica que para lograr la producción de biosólidos es necesario clasificarlos:

- Biosólido tipo A: Aplicable al suelo sin restricciones de salud.
- Biosólido tipo B: Aplicable a suelos con restricciones sanitarias dependiendo de la ubicación del suelo y el tipo de cultivo.

Dicho reglamento menciona que para reutilizar de los biosólidos de Tipo A y/o de Tipo B, los generadores deben de dar cumplimiento de manera conjunta con los estándares de estabilización, higienización como de toxicidad química, conforme con las circunstancias detalladas en el Reglamento para cada clase de biosólido. En la situación de que los lodos producidos en las PTAR no poseen cumplimiento con los estándares de estabilización como de higienización al momento de extraerlo de la PTAR, estos parámetros deben de alcanzar como parte del procedimiento de generación de biosólidos de acuerdo con la tecnología de estabilización e higienización previstas en los Anexo I y II, respectivamente

El reglamento también establece que los lodos generados y para ser clasificados tanto de clase A como de clase B tienen que cumplir con los parámetros de estabilización, toxicidad química y de higienización Parámetros de estabilización

$$\frac{\text{Concentracion de materia orgánica}}{\text{Materia orgánica (SV)} \leq 60\% \text{ de Materia Seca (ST)}}$$

Fuente: Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA

Tabla 1. Parámetros de toxicidad química

Parámetros de toxicidad química de biosólidos de Clase A y de Clase B								
Mg/kg ST Materia Seca	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn

Clase A y Clase B	40	40	1200	1500	400	17	400	2400
-------------------	----	----	------	------	-----	----	-----	------

Fuente: Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA

Tabla 2. Parámetros de Higienización

Parámetros de higienización de biosólidos			
Indicador	Clase A	Clase B	
Indicadores de contaminación fecal	Escherichia coli < 1000 NMP/1g ST	Los niveles de higienización se pueden demostrar con el cumplimiento de los procesos previstos en el anexo I, en su defecto mediante una de las tecnologías indicadas para la higienización en la sección B, del anexo II	
Indicadores de huevo de helminto	Salmonella sp. < 1 NMP/10g ST		

Fuente: Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA

2.5. Biosólido

Es un subproducto de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos producidos en el procesamiento de aguas residuales, y tiene particularidades químicas, físicas además de microbiológicas que ayuden a su reaprovechamiento como acondicionador de suelos. La ceniza de la incineración de lodos no se considera un biosólido (D.S. N° 015-2017-VIVIENDA, 2017).

2.5.1. Alternativas de aprovechamiento de lodos

Debido al alto contenido de materia orgánica de los lodos, pueden parecer a primera vista un fertilizante ideal, los lodos como fertilizantes apropiados. Los lodos merman gradualmente su contenido de fósforo además de nitrógeno, a medida que disminuye su contenido de agua, produciendo nitrógeno, potasio además de fósforo en los sólidos de los lodos resultan mínimos, con N y P entorno de 3%. Los mejores valores de fertilizante se obtienen al momento de emplear también en la fase líquida, y esto conforma además una ventaja al minimizar la carga de fósforo como de nitrógeno sobre la planta de tratado (Galvis & Rivera, 2013).

Los biosólidos o lodos de las depuradoras son residuos, peligrosos como el mercurio y el arsénico, y otros de mayor beneficio como el fósforo y el nitrógeno. Estos biosólidos,

alcanzan a ser dañinos para su integridad debido a la disposición de virus, químicos además de bacterias, que pueden provocar padecimientos, por lo que los biosólidos necesitan procedimientos pertinentes como el neutralizar elementos patógenos, filtración, estabilización además de secado anterior si es requerido, para la prevención de efectos adversos en la salud humana y para el medio ambiente (Galvis & Rivera, 2013).

(Pérez Rodríguez, 2012) menciona las siguientes alternativas de aprovechamiento:

- Ganadería y agricultura
- Silvicultura (vivero y forestación)
- Restauración de suelos degradados
- Adaptación de espacios verdes (parques)
- preparación de enmiendas y fertilizantes
- Biorremediación de suelos contaminados
- Preparación de materiales de construcción

Asimismo considerando que el reaprovechamiento debe ser lo máximo posible y que las alternativas de incineración o disposición deben ser las ultimas en considerar (Pérez Rodríguez, 2012).

2.5.1.1. Pros y contras de las opciones de aprovechamiento de los lodos

Según Galvis & Rivera (2013), indica en el cuadro siguiente las Pros y contras de las opciones de aprovechamiento para los lodos.

Tabla 3. Contras de las opciones de aprovechamiento para los lodos.

Alternativa	Ventajas	Desventajas
Incineración	✓ Los biosólidos son minimizados a cenizas in-situ	➤ De clase económica dado que es la opción de costo más elevado para eliminar lodos.
	✓ La combustión elimina la totalidad de los microorganismos que se encuentran presentes y	

	oxida los elementos tóxicos orgánicos.	
	✓ Los metales pesados en las cenizas son escasamente solubles. ✓ Un diseño adecuado puede hacer la incineración económicamente viable.	➤ Las infraestructuras de incineración suelen establecer de forma común graves problemas de contestación social.
	✓ Como resultado esta un producto con buena calidad ✓ Comercializable para su uso en agricultura.	➤ Necesita contenidos en sólidos con mas de 40 ➤ Si como agente elevador de textura incorporado.
Compostaje	✓ Admite ser combinado con otros procedimiento y detalla unos costos primarios mínimos.	➤ Se requiere un sistema de ventilación forzada o rotación mecánica y el patógeno puede propagarse a través del polvo. ➤ Es necesario incorporar otro elemento como origen de carbono.
Producción de ladrillos	✓ Separación de metales pesados por medio del procedimiento de cocción.	

2.6 Electrorremediación

El método de electro-remediación trata de la descontaminación, puntualmente de metales pesados y demás compuestos iónicos, además de suelos o los correspondientes lodos que se originan de algún procedimiento anterior, que tienen contaminación con estas especies (Shapiro & Probststein, 1993).

La electrorremediación consiste en la aplicación de la energía eléctrica directa a través de electrodos sumergidos en el agua que da como resultado la oxidación en el ánodo generando un frente ácido, mientras que la reducción en el cátodo produciendo un frente básico (Acar & Alshawabkeh, 1993).

La técnica implica la aplicación de un campo eléctrico continuo entre dos electrodos enterrados, para el caso del suelo, durante un cierto tiempo. Con la aplicación de este campo eléctrico se consigue, dependiendo de diversos factores como el grado de humedad del terreno, acidez, etc., movilizar las especies cargadas hacia los electrodos correspondientes, ánodo o cátodo (Rodríguez & Vázquez, 2003).

Dicha técnica es conveniente ya que se puede utilizar en cualquier zona es mas en zonas alejadas donde no llegan electricidad debido a que se adapta a diferentes sistemas de energías renovables o alternativas como es el caso de energías solares (paneles solares), eólicas o almacenamiento de energías en celdas acumuladoras (Rodríguez & Vázquez, 2003).

La humedad es uno de los principales factores en la electrorremediación de suelos puesto que este proceso tiene lugar en etapa líquida durante la totalidad de la producción del campo eléctrico, el comportamiento de los contaminantes también afecta al proceso, Pérez (2016) menciona que si el contaminante es de tipo inorgánico como los metales estos se removerán mediante electromigración, al generar un campo eléctrico los compuestos se disocian en iones y dependiendo de la carga se desplazan hacia el ánodo o al cátodo.

El movimiento de los iones no es muy efectivo en el suelo, esto se debe a que las rutas de los iones u orbitales son más largas en los suelos sin húmedas. La técnica es mucho más efectiva en suelos con soluciones acuosas que en suelos in humedad (Ybañez, 2018).

El transporte de especies bajo un campo eléctrico, son los procesos significativos de transporte de especies en suelos bajo campo eléctrico que consisten en flujos masicos generados por difusión, electromigración, advección electroosmótica y electroforesis. En la descontaminación de especies que incluyen los metales pesados varias variables

composicionales y ambientales afectan la contribución de cada flujo (Acar & Alshawabkeh, 1993).

2.6.1. Componentes de la electrorremediación

2.6.1.1. Celdas electrolíticas

Una celda electroquímica es un sistema que consta de una fuente de energía exterior, un elemento electrolítico y electrodos. También es conocido como reactor electroquímico o celda electrolítica es un depósito en el que se sumergen el cátodo y el ánodo, pueden estar hechos de varios elementos como es el plexiglás (lámina acrílica), vidrio, etc. Debe tenerse en cuenta a la hora de elegir que sea duradero y que no provoque interferencias químicas en el proceso de electrorremediación (Pérez, 2016).

2.6.1.2. Electrodos

Son conductores que ayudan a contactar, conecta a partes no metálicas de circuitos eléctricos, es decir es una superficie donde tiene lugar la reacción redox (Pérez, 2016).

Cuando se trata de una electrorremediación la elección del tipo de material y su geometría es muy importante. Los electrodos pueden ser varillas o placas que puede ser de aluminio, zinc, acero, grafito, etc (López, 2013).

2.6.1.3. Electrolitos

Los electrolitos son sustancias que tienen la capacidad de transportar una corriente eléctrica ya sea con carga negativa o carga positiva y generalmente se colocan en un tanque o balde electrolítica (Ybañez, 2018).

(López, 2013) Señala que el agua es el líquido más utilizado, pero no promueve el movimiento de los iones por lo que es necesario otro electrolito como el cloruro de sodio para así generar corriente eléctrica y facilitar el movimiento.

2.6.1.4. Fuente de alimentación

También llamado fuente de energía porque alimenta todo el sistema, esto da como resultado un proceso electrocinético a medida que las impurezas se desorben, se absorben en el líquido y se transportan a los electrodos (Llivichuzca, 2016).

Una fuente de poder o power source es un dispositivo que convierte la corriente alterna en una o más corrientes continuas para alimentar un sistema electroquímico (Pérez, 2016).

2.6.2. Factores que influyen

Se tiene que tener en cuenta estos cinco factores que influyen en la electrorremediación de forma significativa

2.6.2.1. Distancia entre electrodos

La electrorremediación se aplica en campo y nivel laboratorio a distancia de centímetros hasta metros respectivamente, esta técnica se ha utilizado a escala comercial en los años 1987 en los Estados Unidos de Norteamérica esto se dio para recuperar los suelos contaminados o degradados con metales, elementos orgánicos, desechos radioactivos, inorgánicos, residuos peligrosos, solventes y más (De La Rosa et al., 2007).

2.6.2.2. Tipo de electrodos

Pérez (2016), menciona que los electrodos son conductores que entran en contacto con las partes no metálicas del circuito y son las superficies sobre las que se producen las reacciones redox. En otras palabras, que ánodo cuando el electrodo pierde un electrón y produce oxidación y cátodo cuando el correspondiente electrodo adquiere un electrón y produce reducción.

Uno de los factores importantes en la electrorremediación es el tipo de material del electrodo utilizado “los elementos empleados son metales nobles como platino, plata, oro y grafito ya que estos materiales son inertes y no admiten la formación de iones que lleguen a alterar el resultado, debido a su alto costo de titanio, acero, etc. será reemplazados grafito” (Pérez, 2016).

2.6.2.3. Presencia de grafito

Se encuentra de manera natural en el medio ambiente en minúsculos cristales hexagonales de manera de agregados esféricos de suelo compacto y escamoso. El grafito se encuentra comúnmente en asociación con minerales como: cuarzo, la mica, la calcita, feldespato, la pirita y el óxido de hierro. Es un alotrópico del carbono. Mineral blando, gris hacia negro, brillo metaloide, peso puntual de 2.23, dureza de 1-2, cristaliza en el sistema hexagonal, firme y de forma química inerte a temperatura apropiada, no posee toxicidad, inodoro, posee resistencia a temperaturas elevadas y óptimo conductor de elevadas temperaturas y fluido eléctrico (Pérez, 2016).

2.6.2.4. Contenido de agua en el lodo

Para que el sistema de electrorremediación funcione, es imprescindible cierto grado de saturación de agua en el suelo para que sea posible. Ha sido

cuantificado por diversos autores que la humedad es necesaria por ende es necesario mantener agregando una solución líquida (electrolito) (De La Rosa et al., 2007).

2.6.2.5. Tiempo

El tiempo dependerá del tipo de estudio y lo que se quiere obtener o remover los contaminantes ya que se han venido desarrollando múltiples remediaciones desde aplicaciones en el campo como laboratorios en tiempos muy variados desde años, hasta minutos (Gao et al., 2013).

2.6.2.6. Conductividad eléctrica

Según De La Rosa et al, (2007). Afirma que “la capacidad de un medio o espacio físico de permitir el paso de la corriente eléctrica y para conocerla es necesario ponerla en suspensión acuosa y medirla con un conductímetro, las modificaciones de pH del suelo cambian la conductividad general del entorno, por lo que se establecen perfiles de voltaje”

2.6.2.7. Naturaleza del contaminante

La forma y tipo de contaminante es un factor determinante para ver si la técnica es eficiente o no. De La Rosa et al, (2007) afirma que los agentes que contaminan se pueden visualizar como solutos disueltos, sólidos precipitados, adsorbidos a partículas del suelo o sorbidos en materia orgánica. En la actualidad las especies químicas son valoradas por extracción secuencial o lixiviación selectiva y se ha verificado que las formas intercambiables se trasladan con rapidez superior que las absorbidas en la materia orgánica o en la fracción de residuo.

2.6.2.8. pH

Se sabe que los cambios del potencial de hidrógeno, de un modo natural generan reacciones de los metales al mezclarse con otras sustancias será muy variable el, asimismo generará que los metales encontrados en los lodos reaccionen haciendo que migren hacia uno de los polos ya sea en el frente básico que ayuda a la fijación de los metales o en el frente ácido donde se genera la disociación de metales que también ayuda a la remoción de dicho contaminante (Pérez, 2012).

2.7. Normatividad

En distintos países se regulan los biosólidos, en las que determinan rangos y parámetros en los concentrados de metales pesados. En los Estados Unidos y en la Unión Europea cuentan con normativas desde hace muchos años y que muchos países fueron tomando

como ejemplo para plasmarlo en las suyas. Básicamente Europa es la que lleva el control en la tasa de ejecución (concentrado de metales pesados por hectárea).

A nivel nacional se tiene el D.S. N°015-2017-VIVIENDA en la que se admite el Reglamento para el Reaprovechamiento de lodos Producidos en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales donde señala la clasificación de Clase A y clase B y para su reaprovechamiento de los mismos tienen cumplir de forma conjunta con los parámetros de estabilización, toxicidad e higienización de acuerdo a las condiciones establecidas. Asimismo, el 13 de marzo del 2018 se aprueba el protocolo de monitoreo de biosólidos Mediante Resolución Ministerial N° 093-2018-VIVIENDA.

De modo que los lodos tienen la obligación de cumplir con estos parámetros para que el lodo sea clasificado como biosólido, se debe visualizar lo mencionado en la tabla correspondiente.

Tabla 4. Parámetros de toxicidad química en Biosólidos de Clase A y B.

Mg/kg ST Materia Seca	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn
Clase A y Clase B	40	40	1200	1500	400	17	400	2400

Fuente: D.S. N° 015-2017-VIVIENDA

Del mismo modo, si se desea incorporar el biosólido en el suelo, es necesario cumplir con la normativa que ha definido la tasa por año máxima de agentes que contaminan por hectárea anual, a continuación, se tienen las valoraciones máximas:

Tabla 5. Tasa Máxima por año de contaminantes para ejecución de biosólidos.

Kg contaminante/Ha Suelo(año)	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	Zn
Clase A y Clase B	2,0	2,0	75	100	20	1,0	2,0	150

Fuente: Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA

Parámetros de estabilización

$$\frac{\text{Concentracion de materia orgánica}}{\text{Materia orgánica (SV)} \leq 60\% \text{ de Materia Seca (ST)}} \dots \dots \dots (1)$$

Fuente: D.S. N° 015-2017-VIVIENDA

Tabla 6. Parámetros de higienización

Parámetros de higienización de biosólidos		
Indicador	Clase A	Clase B
Indicadores de contaminación fecal	<i>Escherichia coli</i> < 1000 NMP/1g ST	El nivel de higienización se puede demostrar con el cumplimiento de los procesos previstos en el anexo I, en su defecto mediante una de las tecnologías indicadas para la higienización en la sección B, del anexo II
Indicadores de huevo de helminto	<i>Salmonella sp.</i> < 1 NMP/10g ST	

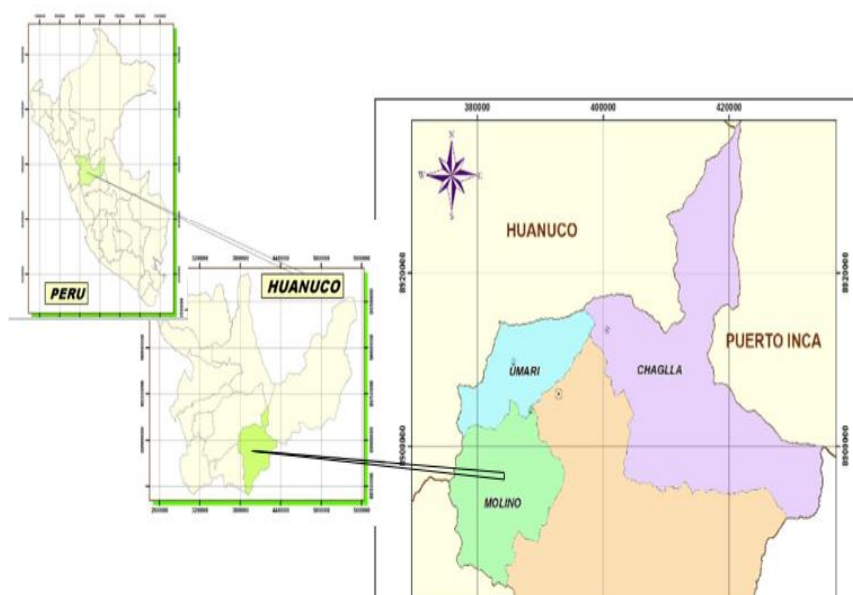
Fuente: Decreto Supremo N° 015-2017-VIVIENDA

Para que el biosólido sea dispuesto en el suelo la norma estableció la Tasa Máxima Anual de Contaminante (kg contaminante por hectárea y año) lo cual se limita de acuerdo con la tabla N° 6.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción de lugar de estudio

En el presente trabajo de investigación se recolectaron muestras de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales específicamente de la laguna facultativa primaria - Molino, se recolectaron muestras durante los meses de diciembre y enero del 2021, el distrito de Molino se encuentra localizada en la provincia de Pachitea y región Huánuco, cuyos límites son por el norte con el distrito de Umari, este con el distrito de Panao, oeste con los distritos de Santa María del Valle, Amarilis y Conchamarca, Sur-Oeste con el distrito de Tomayquichua y sur con el distrito de Ambo.



Fuente: Plan de Desarrollo Concertado de la Provincia de Pachitea, (2012)

Figura 1. Mapa político del distrito de Molino

3.1.1. Aspectos sociales y ambientales

3.1.1.1. Clima

El distrito de Molino se encuentra a una altitud de 2371 m.s.n.m, tiene un clima Semiárido templado cálido lo cual corresponde principalmente a los valles interandinos bajos e intermedios, la temperatura anual oscila alrededor de 17.5 °C y no llega a superar los 21 °C, (PDC PACHITEA, 2015).

3.1.1.2. Zona de vida

Según el Mapa Ecológico corresponde a la zona de vida tiene el bosque pluvial Pre Montano Tropical (bp-PMT), (PDC PACHITEA, 2015).

3.1.1.3. Población

El correspondiente distrito de Molino en el año 2017 tenía una población de 10,552 habitantes con una tasa de crecimiento de -0.554%, según datos del INEI registrados se tiene las proyecciones para el 2021 una población de 10,550 habitantes, (INEI 2021).

3.1.1.4. Actividades socio económicas

En la ciudad de Molino y sus alrededores la población se dedica a las actividades económicas como la agricultura de subsistencia y comercial como maíz, ajo, col, maca papa (nivel comercial), asimismo se dedican a la ganadería como la crianza de ovino, vacuno, caprino equino y aves de corral. (PDC PACHITEA, 2015).

3.2. Descripción del lugar de trabajo

3.2.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación la muestra del lodo se tomó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del distrito de Molino Provincia de Pachitea, posteriormente el sistema experimental se desarrolló en el Laboratorio de Calidad de Aire de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, que se encuentra localizado en la ciudad de Tingo María del distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco.

3.2.2. Ubicación Geográfica

El laboratorio de Calidad de Aire la UNAS, localizado en Carretera Central Km. 1.21 Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco cuyas coordenadas UTM WGS 84 son:

Norte 8969849.07

Este 390636.56

Altitud 669.50 m.s.n.m

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Materiales

Contenedores, cooler, pala, extractor de lodos, Epps (implementos de seguridad), mapa de ubicación, wincha 100 metros, ficha de anotaciones de campo, Papel secante, Ficha de cadena de custodia, Cinta adhesiva, plumón indeleble, 10 envases de vidrio con su correspondiente etiqueta, 10 kg de hielo, bolsas de poliburbuja, reloj, cuaderno de apuntes.

3.3.2. Equipos

GPS marca Garmin, Espectrofotómetro de absorción atómica en llama Spectr. AA 55B, plancha calentadora (Type 1000 stir plate), multiparámetro Marca Hanna, estufa Marca MEMMERT, potenciómetro, mufla, balanza, agitadores, fuente de alimentación de 30 voltios - 5A.

3.3.3. Reactivos

Solución estándar de Cloruro de sodio (NaCl) al 99.5%, agua destilada, solución amortiguadora pH 7, pH 4 y pH 10, ácido nítrico (HNO_3), ácido clorhídrico (HCl), ácido Sulfúrico (H_2SO_4).

3.3.4. Programas del computador

Se utilizó los programas software paquete estadístico para las ciencias sociales (SPSS) y Excel para realizar los tablas y gráficos.

3.4. Tipo de investigación

3.4.1. Variables en estudio

a. Variable dependiente

Concentración de Cadmio en el lodo

b. Variable independiente

Potencial de corriente y tiempo de tratamiento

3.4.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación es experimental Granda, (2011), menciona que la experimentación tiene por objeto comprobar en la práctica, una hipótesis formulada sobre un valor de un procedimiento, factor. Generalmente se usa un testigo que no recibe tratamiento cuyo efecto se desea medir.

Se tendrá tres variables como se muestra en el siguiente cuadro.

- Tiempo de tratamiento en horas
- Potencial de corriente en voltios

Tabla 7. Diseño factorial de variables y tratamientos

Variables	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
V1	V1T1	V1T2	V1T3	Testigo
V2	V2T1	V2T2	V2T3	
V3	V3T1	V3T2	V3T3	

V1: Potencial de corriente a 15 voltios

T1: 4 horas de tratamiento

V2: Potencial de corriente a 20 voltios

T2: 8 horas de tratamiento

V3: Potencial de corriente a 25 voltios

T3: 12 horas de tratamiento

TESTIGO: tendrá las mismas condiciones, pero sin adicionar solución electrolítica Cloruro de Sodio.

Para elegir las horas del tratamiento, inicialmente se hicieron las pruebas experimentales en el laboratorio en el que se trabajó con diferentes horas y distintas concentraciones y se observó que los electrodos de grafito se sulfataban y viendo que a mayor tiempo y mayor concentración de cloruro de sodio los electrodos tienden a sulfatarse y por ende no cumplir con el objetivo.

La combinación de las variables resultó 9 factores o tratamientos V1T1, V1T2, V1T3, V2T1, V2T2, V2T3, V3T1, V3T2 y V3T3 donde se aplicó la misma dosis en los nueve tratamientos con tres diferentes horas, tres voltajes respectivamente con cinco repeticiones por tratamiento respectivamente, se tuvo testigo o blanco donde se aplicó el tiempo y voltaje con excepción de solución electrolítica.

En la presente investigación se dispuso el arreglo factorial 2x3 con interacción.

1) Tipo de investigación

Experimental

2) Unidad experimental

10 celdas de vidrio de las siguientes dimensiones 25cm x 15cm x 30cm (alto, ancho y largo correspondientemente) en el interior de la celda se colocó 1 kg de lodo, la celda se considera como unidad experimental.

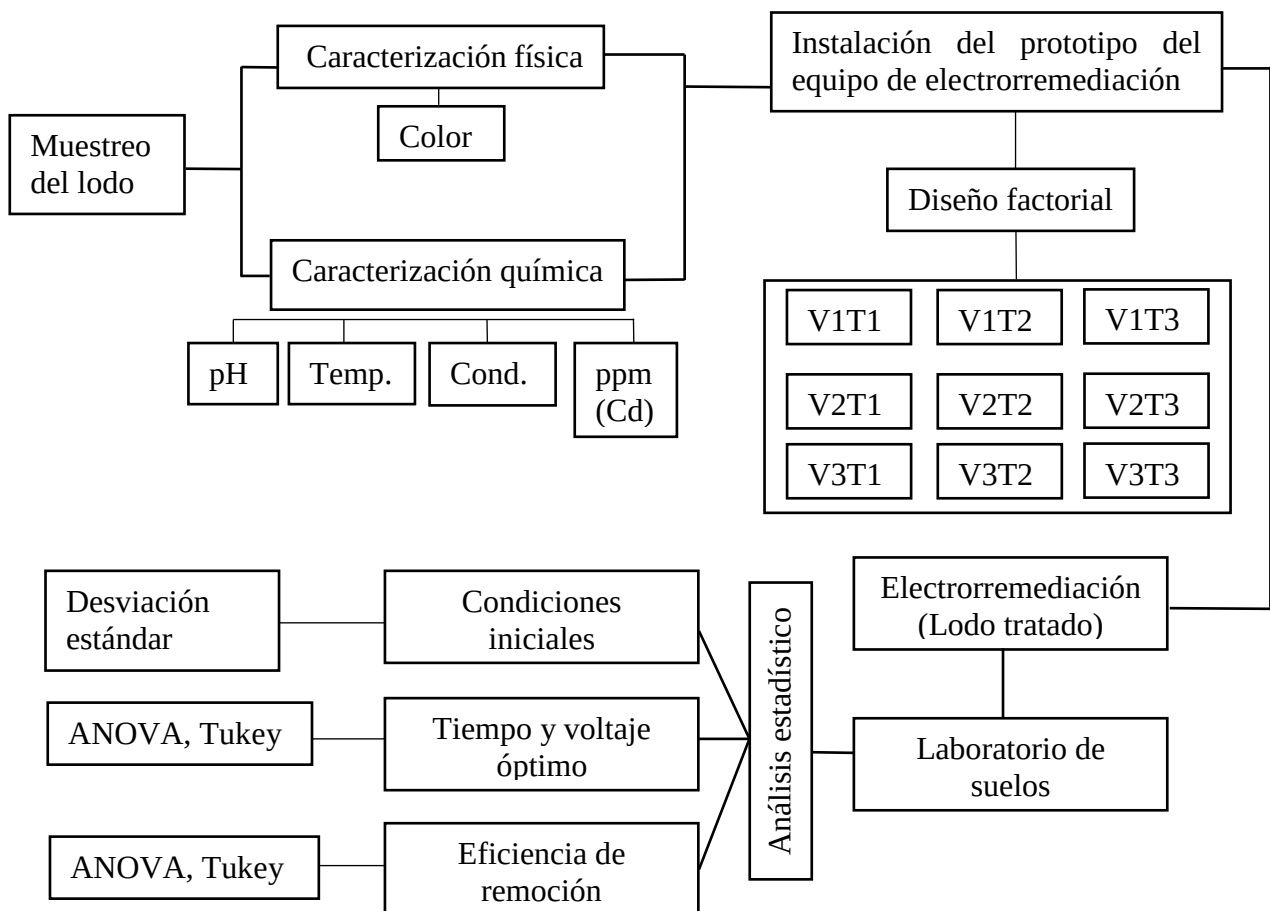


Figura 2. Flujograma de la investigación

3.4.3. Diseño estadístico

Para las pruebas estadísticas se utilizó el Análisis de la Varianza (ANOVA, Tukey, Desviación estándar) conjuntamente con el software paquete estadístico para las ciencias sociales (SPSS) y Excel para realizar los gráficos y las tablas.

3.5. Metodología

3.5.1. Diseño del equipo

Se crearon e instalaron tres prototipos utilizando celdas de vidrio, cada una con medidas de 25cm x 15cm x 15 cm (alto, ancho y largo) en las que se introdujo 1 kg de lodo, asimismo, el electrolito y posterior a ello se coloca dos electrodos de grafito de 31 cm de largo y 3/8 de pulgada de diámetro actuando como ánodo y cátodo en ambos extremos conectados a la fuente de alimentación que tenía 30 voltios de 05 amperios.



Figura 3. Diseño del equipo experimental en ejecución

El electrolito como solución fue cloruro de sodio (NaCl) lo cual se agregó la misma concentración a los 9 tratamientos: a 12% de NaCl al (99.5%) claro que antes se agitó 12.06 gramos en 100 mL de agua destilada.

Se inició el tratamiento encendiendo tres fuentes de alimentación con corriente continua y cumpliendo con todos los tratamientos y testigos. Posterior al tratamiento se muestreó 250 gramos de lodo, se almacenaron en una bolsa ziploc y fue movido al Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología para su análisis.

3.5.3. Población, muestra y Muestreo del lodo.

Para el muestreo y toma de muestras se utilizó el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos aprobada mediante R.M. N° 093-2018-VIVIENDA, incluyendo los siguientes lineamientos para el muestreo en la laguna:

- Localización de los puntos de muestreo
- Numero de muestras precisas
- Dimensión de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en caudal (L/s)

La población que se considerará es de 1000 kg la cuantía de lodo que se acumula en la laguna primera del PTAR Molino.

Tabla 8. Cuantía de muestras necesarias

Tamaño de la PTAR en caudal en L/s	Cantidad mínima de muestras puntuales Para preparar muestra compuesta)	Número de muestras compuestas preparadas a partir de puntuales
<10	15	1

Fuente: Resolución Ministerial 093-2018-VIVIENDA

La muestra proviene de la laguna facultativa primaria utilizando en total 54 kg de lodo, ya que se utilizó 1 kg en cada tratamiento, siendo en total 9 tratamientos con 5 repeticiones respectivamente y 9 tratamientos en blanco con una repetición.

Así, para la determinar la ubicación de los puntos de muestra se dio de la siguiente manera establecida en la Resolución Ministerial 093-2018-VIVIENDA

- Preparar un esquema del cuerpo del lodo o biosólido según escala en una hoja A4.
- Poner una malla de 100 cuadrados de la misma superficie encima del esquema. Asignar a cada cuadrado un número del 0 al 99 de un cuadrado al siguiente.
- Determinar en una tabla de números aleatorios la cantidad (N) de números de dos (2) dígitos. Se empieza con una línea de la tabla de números aleatorios elegida al azar.
- Las (N) números aleatorias determinados corresponden con los números de los cuadrados de la malla puesta encima del esquema en el segundo paso.

Una vez muestreado con la ayuda de un equipo de toma de muestras se almacenó y se transportó. Una vez homogenizado se obtendrá un 1 kg de lodo antes de aplicar el tratamiento para poder determinar la concentración de Cadmio inicial el cual será llevado al laboratorio de suelos para su análisis.

De mismo modo se hizo el análisis respectivo de cadmio una vez aplicado en los nueve tratamientos con las cinco repeticiones mediante electrorremediación, asimismo, se hizo en el testigo.

3.6. Cálculo de los valores de las variables sujetas a estudio

3.6.1. Determinar las condiciones iniciales de los lodos residuales con cadmio de la PTAR.

Para determinar las condiciones iniciales se realizó lo siguiente:

a. Caracterización fisicoquímica del lodo residual: conductividad eléctrica (C.E), potencial de hidrógeno (pH), temperatura, color

Se realizó la caracterización inicial antes de aplicar el tratamiento a cada repetición, del mismo modo para los testigos. Los estudios de potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (C.E) y temperatura se efectuó el análisis en el laboratorio de Calidad de Aire de la Universidad Nacional Agraria de la Selva con el apoyo de un multiparámetro y pHmetro, posterior a ello se identificó el color de cada uno de los tratamientos, testigos y sus repeticiones.

Para la medición inicialmente, se pasó a pesar 10 gr de lodo en una balanza analítica, al mismo tiempo en un recipiente de precipitado se adicionó 100.mL de agua destilada (relación 1:10) luego de ello se realizó el agitado con la vagueta de vidrio por un periodo de 5 minutos, posterior a ello se filtró y se procedieron a realizar las mediciones con el multiparámetro para la temperatura y conductividad, para el pH se utilizó un pHmetro. Se repitió el mismo proceso para todas las muestras.

Para el color se identificó mediante la observación donde se evidenció en fotografías.

b. Cálculo de la Concentración de Cadmio en los lodos.

La determinación de concentración del cadmio en el lodo se realizó en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía en el cual se determinará Cadmio disponible mediante el método de absorción atómica en llama lo cual es propuesto por el EPA (EPA, 1994). La lectura de cadmio en lodos se tomó al inicio de cada tratamiento y al finalizar cada una de las 9 combinaciones del tratamiento y al testigo.

3.6.2. Tiempo y voltaje óptimo de electrorremediación en la remoción de Cadmio en los lodos residuales

Para determinar el tiempo y voltaje óptimo se aplicó la técnica de electrorremediación en los nueve (9) tratamientos con cinco (5) repeticiones, según el porcentaje de remoción se determinará cuál de los tratamientos será el óptimo y posterior a ellos realizar la prueba del ANOVA para determinar si existen diferencias significativas en las remociones de cadmio en ppm y la prueba Tukey para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos.

3.6.3. Eficiencia en la remoción de Cadmio en lodos residuales

A los resultados obtenidos en el laboratorio se aplicó la siguiente fórmula, la concentración inicial menos la concentración final entre la concentración inicial multiplicado por cien (Granda, 2011).

$$Efic Elec = \frac{Ci - cf}{Ci} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

Ci : Concentración inicial

Cf : Concentración final

Efic Elec : Eficiencia del método de electrorremediación

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Condiciones iniciales de los lodos residuales de la PTAR.

Los valores iniciales de los parámetros fisicoquímicos, determinaron que no existen demasiada variación entre los tratamientos a excepción de las concentraciones de Cadmio.

Tabla 9. Promedio de temperatura (C°), pH, conductividad (mS/cm) inicial de los lodos.

Tratamientos	Temperatura (°C)			pH			Conductividad (mS/cm)		
	Promedio	CV ^a		Promedio	CV ^a		Promedio	CV ^a	
V1T1	24.6	24.42	0.34%	7.03	7.15	0.34%	168.3	1807	21.22%
V2T1	24.5	24.46	0.22%	7.04	7.17	0.22%	193.3	1453.4	3.14%
V3T1	24.6	24.5	0.29%	7.03	7.15	0.29%	184.2	1540	3.61%
V1T2	24.4	24.42	0.34%	7.02	7.14	0.34%	185	1463	1.94%
V2T2	24.4	24.44	0.47%	7.03	7.15	0.47%	203	1567	2.17%
V3T2	24.5	24.48	0.34%	7.02	7.14	0.34%	201	1673.8	2.51%
V1T3	24.4	24.48	0.34%	7.03	7.15	0.34%	236	1597.2	6.04%
V2T3	24.5	24.48	0.34%	7.04	7.15	0.34%	196	1512	1.62%
V3T3	24.4	24.5	0.29%	7.06	7.16	0.29%	202.2	1618.4	2.66%

^a las siglas CV significan coeficiente de variación

En la tabla se muestra las condiciones iniciales de temperatura (C°) se observa que no existe mucha variación asimismo para pH, en cuanto a la conductividad (mS/cm) existe variación en los resultados como en el tratamiento V1T1 con el coeficiente de variación 21.22%.

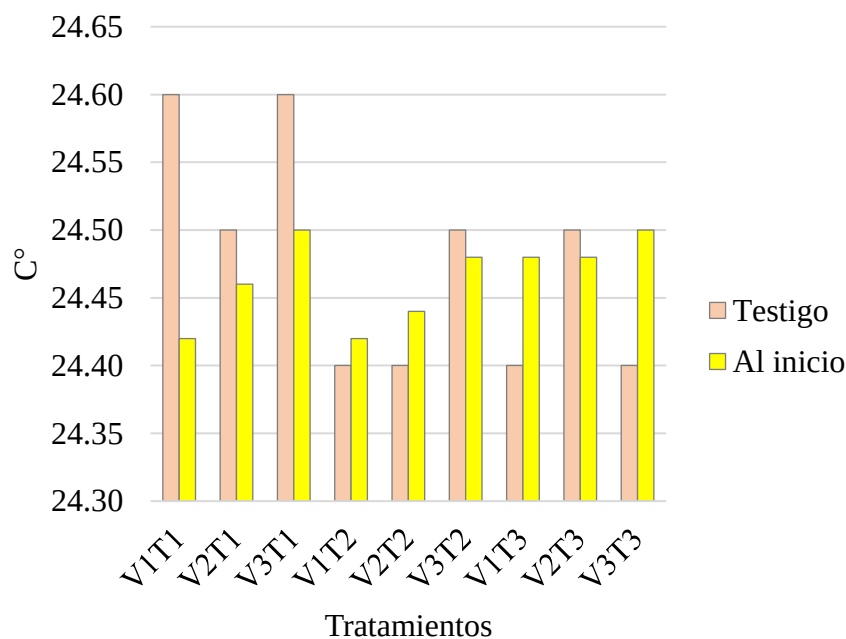


Figura 4. Temperatura inicial de tratamientos y testigos (C°) de los lodos residuales

Como se muestra en la figura, antes de aplicar el tratamiento, acerca de la muestra testigo, las temperaturas mínimas fueron las que acompañaron a los tratamientos V1T2, V2T2, V1T3, y V3T3, y las temperaturas máximas fueron las que acompañaron a los tratamientos V1T1 y V3T1. Por su parte, acerca de los promedios de las temperaturas de las repeticiones, las temperaturas mínimas fueron las de los tratamientos V1T1 y V1T2, y las temperaturas máximas las de los tratamientos V3T1 y V3T3. Por lo que se concluye que las temperaturas no son muy variables (los coeficientes de variación son mínimos) y todos los tratamientos están a valor ambiente.

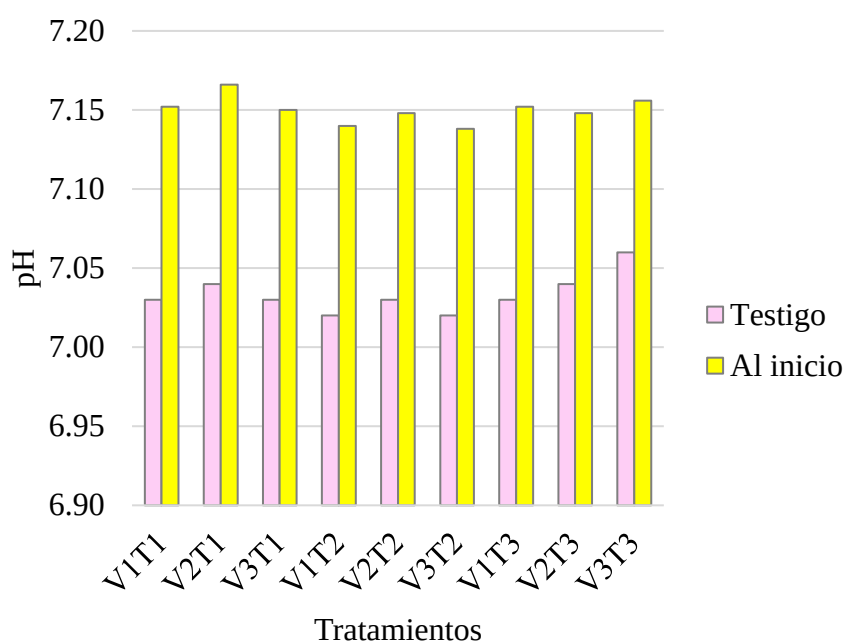


Figura 5. pH inicial de tratamientos y testigos del lodo residual del PTAR Molino

Conforme a la figura, antes de aplicar el tratamiento, sobre la muestra testigo, los pH mínimos fueron los que acompañaron a los tratamientos V1T2, V3T2 y el pH máximo fue el que acompañó al tratamiento V3T3. Por su parte, sobre los promedios de pH de las repeticiones, los pH mínimos fueron los de los tratamientos de V1T2 y V3T2, y el pH máximo el del tratamiento V2T1.

Según YBAÑEZ (2018), el pH de los lodos primarios se encuentra entre el rango de 5-8, los resultados del pH de los lodos de esta investigación están dentro del rango mencionado.

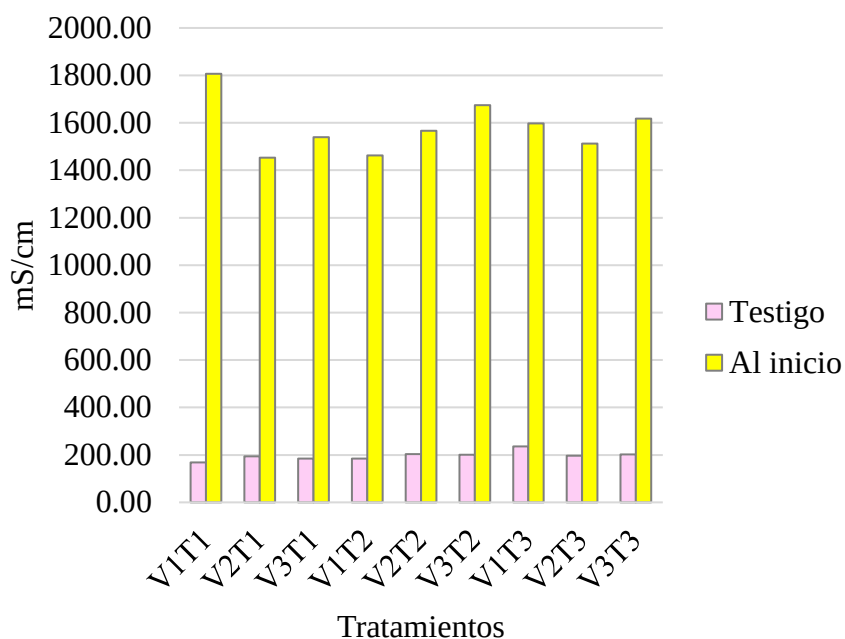


Figura 6. Conductividad inicial de tratamientos y testigos (mS/cm) en los lodos residuales.

Según la tabla, al inicio o antes de aplicar el tratamiento, acerca de la muestra testigo, la conductividad mínima fue la que acompañó al tratamiento V1T1, y la conductividad máxima fue la que acompañó al tratamiento V1T3. Por su parte, acerca de los promedios de las conductividades de las repeticiones, la conductividad mínima fue la del tratamiento V2T1, y la conductividad máxima la del tratamiento V2T1.

La conductividad eléctrica en los tratamientos a comparación del testigo es alta, estos son debido a la solución electrolítica añadida en los tratamientos.

4.1.1.1 Color

El color de los lodos fue variable en antes y después del tratamiento tal como se muestra a continuación.

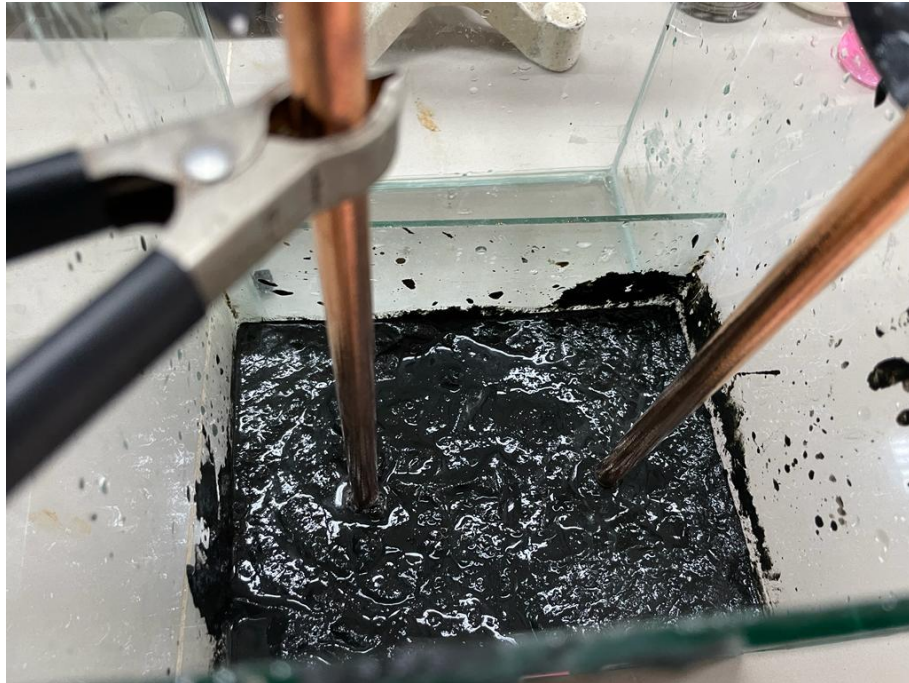


Figura 7. Color del lodo antes de aplicar la electrorremediación

Como se observa en la figura siguiente, que un color oscuro del lodo, típico del color de un lodo viejo.

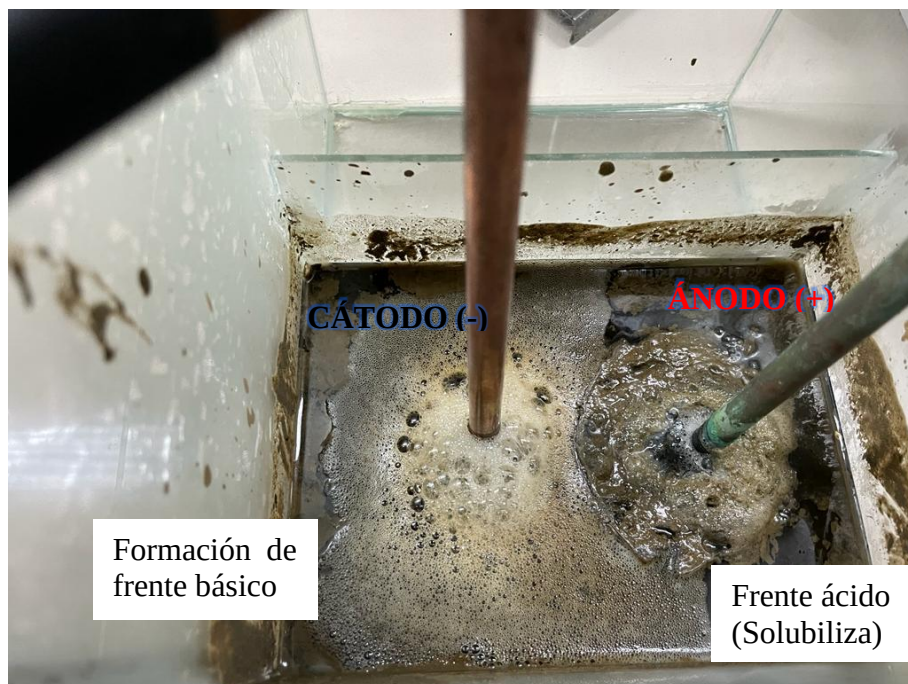


Figura 8. Color del lodo después del tratamiento

En la figura se muestra un color marrón siendo el cambio significativo ya que en la figura N° 7 son oscuras en comparación a la figura N° 8, asimismo se observan las formaciones de frente básico en el cátodo generando burbujas y la formación del frente ácido en el ánodo de color verdoso por la disociación del Cloruro de Sodio (ClNa) donde se da la función de solubilizar los metales como menciona DE LA ROSA, PEREZ. 2007.

4.1.1.2 Concentración de cadmio del lodo residual

Tabla 10. Concentraciones de Cadmio (ppm) antes de la aplicación de electrorremediación.

Tratamiento	Al inicio		
	Concentraciones de Cadmio de la muestra testigo	Promedio de las concentraciones de Cadmio de las repeticiones	Desviación estándar
V1T1	21,79	67,64	3.98%
V2T1	20,03	55,26	3.23%
V3T1	20,48	49,11	1.60%
V1T2	22,85	66,76	0.42%
V2T2	23,40	42,17	0.98%
V3T2	26,04	41,26	1.56%
V1T3	11,68	20,49	2.22%
V2T3	19,41	10,48	1.00%
V3T3	27,57	9,03	3.01%

De acuerdo a la tabla, las concentraciones iniciales de Cadmio en la muestra testigo, la concentración mínima fue la que acompañó al tratamiento V1T3 con 11.68 ppm, y la concentración máxima fue la que acompañó al tratamiento V3T3 con 27.57 ppm. Por su parte, acerca de los promedios de las concentraciones de cadmio de las repeticiones, la concentración mínima fue la del tratamiento V3T3 con 9,03 ppm con una desviación estándar ± 3.01 , y la concentración máxima la del tratamiento V1T1 con 67.64 ppm con una desviación estándar ± 3.98 .

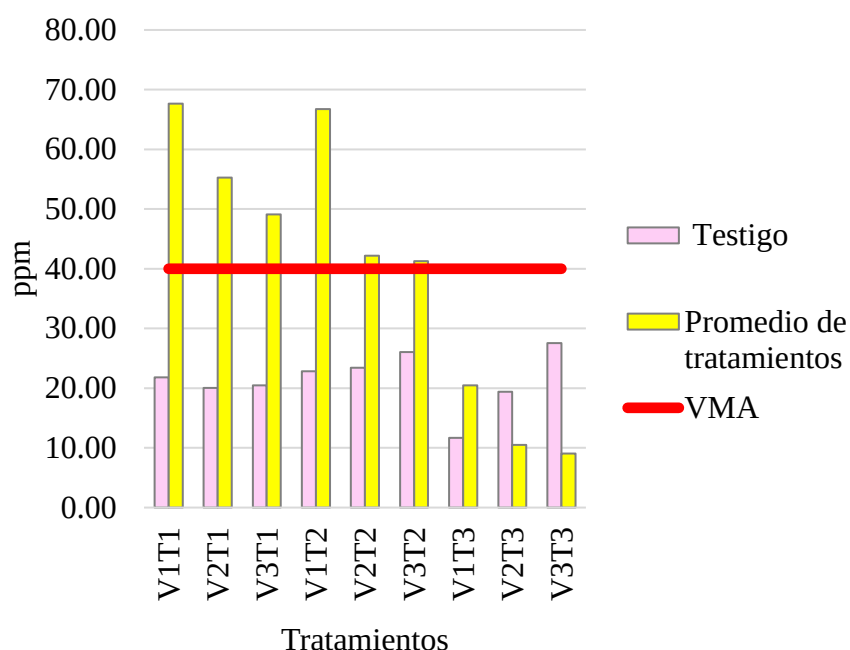


Figura 9. Concentraciones iniciales de Cadmio (ppm) en los lodos residuales

A su vez, se aprecia que, antes de la aplicación de la electrorremediación, las muestras de lodo residual de los tratamientos V1T1, V2T1, V3T1, V1T2, V2T2 y V3T2 tuvieron valores promedios de concentración de cadmio superiores a los valores máximos admisibles (VMA) de 40 ppm establecidos por D.S. N°015-2017-VIVIENDA en la que se admite el Reglamento para el Reaprovechamiento de lodos Generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales donde señala la clasificación de Clase A y clase B y para su reaprovechamiento de los mismos tienen cumplir de manera conjunta con los parámetros de estabilización, toxicidad e higienización de acuerdo a las condiciones establecidas. Los restantes tratamientos tuvieron valores que cumplieron con el VMA o parámetro de toxicidad indicado. La diferencia de las concentraciones de Cadmio es debido a las dificultades en el muestreo, por lo que se optó determinar cada muestra y no estandarizarla.

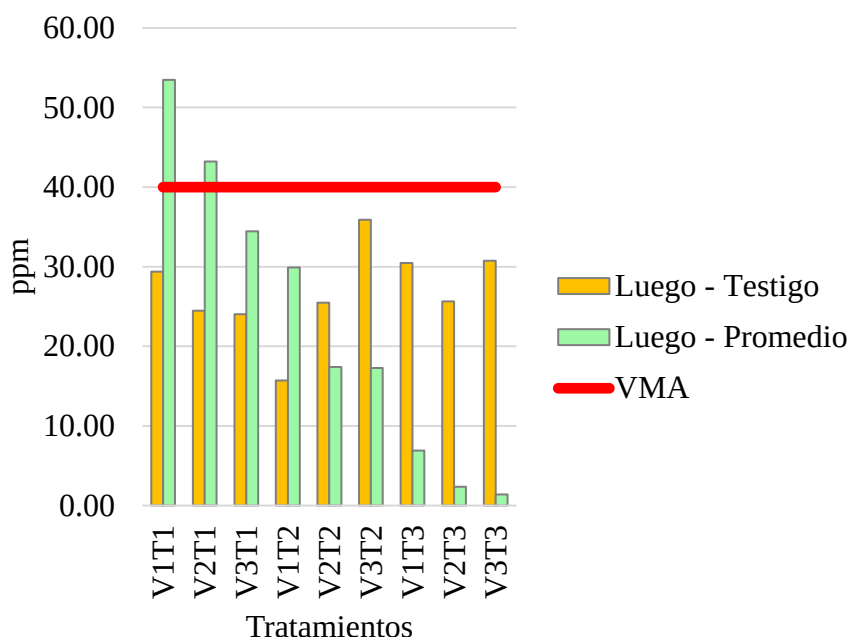


Figura 10. Concentraciones finales de Cadmio (ppm) en los lodos residuales

Como se aprecia en la figura los tratamientos de 15 voltios de 4 horas y 20 voltios de 4 horas aun sobrepasan los valores máximos admisibles esto es debido a los niveles alto de concentración y que la técnica de electrorremediación no fue tan eficiente como en el resto de los tratamientos que bajaron las concentraciones de Cadmio. En cuanto a los testigos se aprecia que aumentaron los niveles de Cadmio esto debido a la ausencia de la solución electrolítica.

4.2 Tiempo y voltaje óptimo de electrorremediación

El tiempo y voltaje óptimo para la remoción del Cadmio se basó en la remoción de Cadmio en ppm.

Tabla 11. Remoción de cadmio (ppm) en todos los tratamientos empleados.

Tratamientos	Cantidad de muestras analizadas	Promedio ppm	Desviación estándar	Porcentaje mínimo	Porcentaje máximo
V1T1	5	14,16	4,69	7,64	18,28
V2T1	5	12,05	4,20	7,32	17,48
V3T1	5	14,65	1,18	13,52	15,92
V1T2	5	36,85	1,52	34,36	38,40
V2T2	5	24,77	0,52	23,92	25,32
V3T2	5	23,98	0,54	23,04	24,36
V1T3	5	13,58	0,35	13,08	14,04
V2T3	5	8,14	0,14	7,92	8,27
V3T3	5	7,63	0,28	7,15	7,85

Se puede visualizar en la tabla la media mayor de disminución de concentración de cadmio en ppm corresponde con el tratamiento V1T2 (36,85, $\pm 1,52$); seguido por el promedio de remoción que se corresponde con el tratamiento V2T2 (24,77%, $\pm 0,52$). Por el contrario, el promedio menor de remoción de concentración de cadmio se corresponde con el tratamiento V3T3 (7,63, $\pm 0,28$).

Tabla 12. Prueba de ANOVA sobre la determinación del tiempo y voltaje óptimo

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3590,448	8	448,806	91,507	0,000
Dentro de grupos	176,565	36	4,905		
Total	3767,013	44			

Al realizar la prueba se aprecia una significancia de 0,000, o menor al nivel de 0,05. Por lo que sí existen diferencias significativas en las remociones de cadmio en ppm de los tratamientos utilizados.

Tabla 13. Prueba de Tukey^a sobre la determinación del tiempo y voltaje óptimo

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
V3T3	5	7,6296			
V2T3	5	8,1392			
V2T1	5	12,0536	12,0536		
V1T3	5		13,5784		
V1T1	5		14,1568		
V3T1	5		14,6504		
V3T2	5			23,9784	
V2T2	5			24,7664	
V1T2	5				36,8456
Sig.		0,069	0,648	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,000

Como se observa en la tabla el tratamiento V1T2 se diferencia significativamente de los demás tratamientos. Ello dado que este tratamiento se encuentra solamente en la columna 4. De manera que el tiempo y voltaje óptimo es el de 15 voltios y 8 horas de tratamiento esto se dio debido a que en dicho tratamiento tenía alta concentración de cadmio inicial.

4.3 Eficiencia en la remoción de Cadmio en lodos residuales

Las eficiencias de remoción entre los tratamientos se diferencian significativamente como se muestra a continuación.

Tabla 13. Remoción de Cadmio (%) en muestra testigo y por cada tratamiento utilizado.

Tratamientos	Cantidad de muestras analizadas	Promedio	Desviación estándar	Porcentaje mínimo	Porcentaje máximo
Testigo	9	-32,76	52,35	-160,96	31,21
V1T1	5	20,90	6,70	11,04	27,27
V2T1	5	21,91	8,04	13,18	33,31
V3T1	5	29,87	2,89	27,08	32,97
V1T2	5	55,20	2,35	51,28	57,35
V2T2	5	58,73	0,67	57,67	59,49
V3T2	5	58,12	0,73	57,31	59,24
V1T3	5	66,27	0,65	65,40	67,07
V2T3	5	77,65	1,87	74,72	79,59
V3T3	5	84,48	0,62	83,50	84,98

Como se aprecia en la tabla el promedio mayor de remoción de concentración de cadmio se corresponde con el tratamiento V3T3 (84,48%, $\pm 0,62$); seguido por el promedio de remoción que se corresponde con el tratamiento V2T3 (77,65%, $\pm 1,87$). Por el contrario, el promedio menor de remoción de concentración de cadmio se corresponde con el tratamiento V1T1 (20,90%, $\pm 6,70$); seguido por el promedio de remoción que se corresponde con el tratamiento V2T1 (21,91%, $\pm 8,04$).

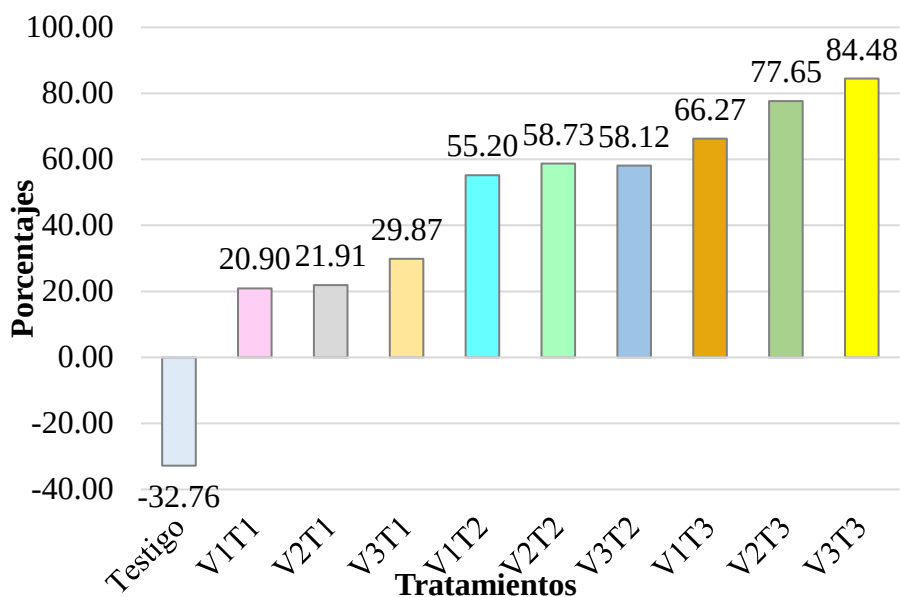


Figura 11. Remoción de Cadmio (%) por cada tratamiento utilizado.

En la figura se visualiza que luego de la aplicación del tratamiento un aumento de concentración de Cadmio sobre la muestra testigo, esto debido a la aplicación de voltajes los cuales influyen en la especiación de los metales (GAO, 2013) generando un pH ácido en el ánodo por consiguiente hace que los metales se solubilizan DE LA ROSA, PEREZ. 2007. Y la ausencia de una solución electrolítica genera la escasa remoción.

En cuanto a los tratamientos se observan un aumento de remoción que es directamente proporcional al tiempo y voltaje es decir a cuanto mayor voltaje y mayor tiempo también la remoción es mayor.

En comparación de YBAÑEZ (2018), que en su investigación logró la remoción de cadmio siendo la eficiencia más alta de 71.65% en un tiempo de 20 horas, la presente investigación tuvo un mayor porcentaje de remoción siendo un 84.48% y en menor tiempo en 12 horas.

Asimismo, GAO (2013), determinó en su investigación del lodo deshidratado de la planta de tratamiento de aguas residuales tanto municipales como industriales de Yangpu, Shanghai, China, donde aplicó como electrolito solo agua destilada con un voltaje de 20v y como electrodos para el ánodo se utilizó de rutenio-iridio-titanio para evitar la corrosión y como cátodo electrodo de grafito y teniendo una eficiencia de remoción a 34% en 144 horas.

Tabla 14. Prueba de ANOVA sobre la eficiencia en la remoción de Cadmio

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	76455,803	9	8495,089	16,658	0,000
Dentro de grupos	22439,110	44	509,980		
Total	98894,913	53			

De acuerdo a la tabla se muestra un valor de significancia de 0,000. Es decir, menor a 0,05 (5% de margen de error). De manera que sí existen diferencias significativas entre los porcentajes de concentraciones de cadmio de los tratamientos empleados.

Tabla 16. Prueba de Tukey^a sobre la eficiencia en la remoción de cadmio

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Testigo	9	-32,7600		
V1T1	5		20,9020	
V2T1	5		21,9060	
V3T1	5		29,8660	
V1T2	5		55,1960	55,1960
V3T2	5		58,1160	58,1160
V2T2	5		58,7260	58,7260
V1T3	5		66,2740	66,2740
V2T3	5			77,6520
V3T3	5			84,4840
Sig.		1,000	0,061	0,539

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 5,233.

Según los resultados de la prueba de Tukey se muestra que los porcentajes de concentraciones de cadmio de los tratamientos empleados se diferencian significativamente del tratamiento testigo. Ello al estar apartados de manera significativa en las columnas 2 y 3. De manera que hay eficiencia en la remoción de cadmio en todos los residuales por medio de la aplicación de la técnica de electrorremediación. Asimismo, se observa que los tratamientos V2T3 y V3T3 poseen mayor eficiencia a comparación de los demás tratamientos.

V. CONCLUSIONES

1. Las condiciones iniciales del lodo, el pH y la temperatura no tuvieron valores variables y estuvieron dentro del rango normal del lodo, la conductividad fue variable, del mismo modo las concentraciones iniciales del Cadmio en los tratamientos de 15 voltios de 4 horas, 20 voltios de 4 horas, 25 voltios de 4 horas, de 15 voltios de 8 horas, 20 voltios de 8 horas y 25 voltios de 8 horas tuvieron valores superiores a los valores máximos admisibles.
2. El tiempo y voltaje óptimo fue el tratamiento correspondiente a 15 voltios 8 horas en el que se removió 36.84 ppm de Cadmio.
3. La electrorremediación a condiciones experimentales realizadas puede remover el Cadmio procedente del lodo residual de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con una eficiencia de remoción máxima de 84.48%.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Efectuar estudios con diferentes concentraciones de solución electrolítica o Cloruro de Sodio.
2. Realizar estudios con otros materiales a cambio de los electrodos de grafito debido a la sulfatación de la misma.
3. Hacer estudios aplicando tecnologías limpias como fuente de alimentación y determinar la remoción de metales pesados.
4. Realizar estudios en concentraciones y especiación del Cadmio en lodos.
5. Hacer estudios en la influencia de los parámetros de pH, conductividad eléctrica debido a la influencia en su remoción.
6. Realizar estudios del origen del Cadmio en los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Molino.
7. Realizar estudios en las técnicas para la disposición final de los electrodos de grafito con Cadmio.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acar, Y., & Alshawabkeh, A. (1993). Principles of electrokinetic remediation. *Environmental Science & Technology*, 0(0), 2638–2647. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/es00049a002>
- De La Rosa Perez, D., Tuetli Leon, M., & Ramírez Islas, M. E. (2007). Electrorremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 23(3), 129–138. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v23n3/v23n3a3.pdf>
- Reglamento para el reaprovechamiento de los Lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, *Diario El Peruano* 32 (2017). <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-015-2017-vivienda/>
- Fuentes, A., Lloréns, M., Sáez, J., Aguilar, I., Ortuño, J., & Meseguer, V. ictor. (2004). Phytotoxicity and heavy metals speciation of stabilised sewage sludges. *Elsevier*, 108(3), 161–169. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.02.014>
- Galvis Toro, J., & Rivera Aguero, X. (2013). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (ptari) de la empresa jugos HIT de la ciudad de Pereira. 0, 0(0), 56–78.
- Gao, J., Luo, Q., Zhu, J., Zhang, C., & Li, B. (2013). Effects of electrokinetic treatment of contaminated sludge on migration and transformation of Cd, Ni and Zn in various bonding states. *Elsevier*, 93(11), 2869–2876. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.08.079>
- García Hernández, L., Vargas Ramírez, M., & Reyes Cruz, V. (2011). Electrorremediación de suelos arenosos contaminados por Pb, Cd y As provenientes de residuos mineros, utilizando agua y acido acético como electrolitos. *Revista Superficie y Vacío Por La Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales*, 24(1), 24–29. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-35212011000100006
- Gonzales Flores, E., Tornero Campante, M., Sandoval Castro, E., Pérez Magaña, A., & Gordillo Martínez, J. (2011). Biodisponibilidad y fraccionamiento de metales pesados en suelos

- agrícolas enmendados con biosólidos de origen municipal. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 24(4), 291–301.
- Granda Laso, J. (2011). Evaluación de la técnica de electrorremediación de suelos contaminados por metales pesados. 0, 0(0), 3–13.
- Llivichuzca Guapisaca, M. N. (2016). Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de concentración de huevos helmintos.
- López-Vizcaíno López, R. (2013). Remediación electrocinética de suelos de baja permeabilidad contaminados con compuestos orgánicos hidrófobos. In *Facultad de Ciencias y Tecnologías Químicas*.
- Ministerio Para La Transición Ecológica. (2018). Lodos de depuración de aguas residuales. Gobierno de España. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujo/lodos-depuradora/>
- Mishchuk, N. A. (2009). Soil electroremediation features in potentiostatic and galvanostatic modes. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 31(4), 205–212. <https://doi.org/10.3103/S1063455X09040018>
- Pérez Rodríguez, L. J. (2012). Evaluación del uso de sustratos preparados con lodos residuales en la germinación de semillas de zanahoria *Daucus carota* L. Bogotá.
- Pérez Zúñiga, M. E. (2016). Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (Pb). In *Universidad Politécnica Salesiana - Ecuador*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12045/1/UPS-CT005868.pdf>
- Plan de Desarrollo Concertado de la Provincia de Pachitea. (2012). Plan de Desarrollo Concertado de la Provincia de Pachitea 2016-2021 (p. 176). <https://docplayer.es/160774300-Autoridades-municipales-de-la-provincia-de-pachitea.html>
- Guía de Práctica Clínica para el Diagnóstico y Tratamiento de la Intoxicación por Cadmio, 30 (2013). <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/198798-757-2013-minsa>
- Rodríguez, J., & Vázquez, M. (2003). Evaluación de la electrorremediación de andisoles contaminados, mediante el análisis de las soluciones de lavado. *Chemical Abstracts (CA)*, 8(1), 75–80.

- Sánchez, N., Rivero, C., & Martínez, Y. (2011). Cadmio disponible en dos suelos de Venezuela : efecto del fósforo. *Revista Ingeniería UC*, 18(2), 7–14.
- Shapiro, A., & Probstein, R. (1993). Removal of contaminants from saturated clay by electroosmosis. *Environmental Science & Technology*, 27(2), 283–291. <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/es00039a007>
- Streche, C., Istrate, I. A., & Badea, A. (2013). The treatment of diesel contaminated soil by dcs method. 75(4), 300–311.
- Ybañez Abrill, R. M. (2018). Remoción de Plomo y Cadmio en Lodos Residuales del PTAR Ventanilla mediante Remediación Electrocínética, Lima-2018. In Ucv.
- Zhang, Z., Ottosen, L. M., Wu, T., & Jensen, P. E. (2019). Electro-remediation of tailings from a multi-metal sulphide mine: comparing removal efficiencies of Pb, Zn, Cu and Cd. *Chemistry and Ecology*, 35(1), 54–68. <https://doi.org/10.1080/02757540.2018.1529173>

ANEXOS

Anexo A. Tablas

Apéndice1. Resultados iniciales de parámetros fisicoquímicos y concentraciones Cadmio

Tabla 15. Datos iniciales conductividad eléctrica.

CONDUCTIVIDAD INICIAL DEL LODO			
CODIGO	UND	RESULTADO	PROMEDIO
V1T1TESTIGO A	mS/cm	168.300	168.3
V1T1R1-A	mS/cm	1912.000	1807.00
V1T1R2-A	mS/cm	1127.000	
V1T1R3-A	mS/cm	2050.000	
V1T1R4-A	mS/cm	1957.000	
V1T1R5-A	mS/cm	1989.000	
V2T1TESTIGO A	mS/cm	193.300	193.30
V2T1R1-A	mS/cm	1431.000	1453.40
V2T1R2-A	mS/cm	1406.000	
V2T1R3-A	mS/cm	1509.000	
V2T1R4-A	mS/cm	1495.000	
V2T1R5-A	mS/cm	1426.000	
V3T1TESTIGO A	mS/cm	184.200	184.20
V3T1R1-A	mS/cm	1521.000	1540.00
V3T1R2-A	mS/cm	1498.000	
V3T1R3-A	mS/cm	1625.000	
V3T1R4-A	mS/cm	1565.000	
V3T1R5-A	mS/cm	1491.000	
V1T2TESTIGO A	mS/cm	185.000	185.00
V1T2R1-A	mS/cm	1475.000	1463.00
V1T2R2-A	mS/cm	1426.000	
V1T2R3-A	mS/cm	1453.000	
V1T2R4-A	mS/cm	1458.000	
V1T2R5-A	mS/cm	1503.000	

V2T2TESTIGO A	mS/cm	203.000	203.00
V2T2R1-A	mS/cm	1558.000	1567.00
V2T2R2-A	mS/cm	1526.000	
V2T2R3-A	mS/cm	1599.000	
V2T2R4-A	mS/cm	1605.000	
V2T2R5-A	mS/cm	1547.000	
V3T2TESTIGO A	mS/cm	201.000	201.00
V3T2R1-A	mS/cm	1619.000	1673.80
V3T2R2-A	mS/cm	1702.000	
V3T2R3-A	mS/cm	1713.000	
V3T2R4-A	mS/cm	1696.000	
V3T2R5-A	mS/cm	1639.000	
V1T3TESTIGO A	mS/cm	236.000	236.00
V1T3R1-A	mS/cm	1659.000	1597.20
V1T3R2-A	mS/cm	1682.000	
V1T3R3-A	mS/cm	1596.000	
V1T3R4-A	mS/cm	1613.000	
V1T3R5-A	mS/cm	1436.000	
V2T3TESTIGO A	mS/cm	196.000	196.00
V2T3R1-A	mS/cm	1533.000	1512.00
V2T3R2-A	mS/cm	1481.000	
V2T3R3-A	mS/cm	1491.000	
V2T3R4-A	mS/cm	1521.000	
V2T3R5-A	mS/cm	1534.000	
V3T3TESTIGO A	mS/cm	202.200	202.20
V3T3R1-A	mS/cm	1635.000	1618.40
V3T3R2-A	mS/cm	1684.000	
V3T3R3-A	mS/cm	1596.000	
V3T3R4-A	mS/cm	1572.000	
V3T3R5-A	mS/cm	1605.000	

Tabla 16. Datos iniciales de pH.

pH INICIAL DEL LODO			
CODIGO	ESCALA	RESULTADO	PROMEDIO
V1T1TESTIGO A	0 – 14	7.03	7.0
V1T1R1-A	0 – 14	7.16	7.15
V1T1R2-A	0 – 14	7.16	
V1T1R3-A	0 – 14	7.13	
V1T1R4-A	0 – 14	7.16	
V1T1R5-A	0 – 14	7.15	
V2T1TESTIGO A	0 – 14	7.04	7.04
V2T1R1-A	0 – 14	7.16	7.17
V2T1R2-A	0 – 14	7.18	
V2T1R3-A	0 – 14	7.17	
V2T1R4-A	0 – 14	7.16	
V2T1R5-A	0 – 14	7.16	
V3T1TESTIGO A	0 – 14	7.03	7.03
V3T1R1-A	0 – 14	7.15	7.15
V3T1R2-A	0 – 14	7.16	
V3T1R3-A	0 – 14	7.14	
V3T1R4-A	0 – 14	7.15	
V3T1R5-A	0 – 14	7.15	
V1T2TESTIGO A	0 – 14	7.02	7.02
V1T2R1-A	0 – 14	7.12	7.14
V1T2R2-A	0 – 14	7.14	
V1T2R3-A	0 – 14	7.16	
V1T2R4-A	0 – 14	7.15	
V1T2R5-A	0 – 14	7.13	
V2T2TESTIGO A	0 – 14	7.03	7.03
V2T2R1-A	0 – 14	7.14	7.15
V2T2R2-A	0 – 14	7.16	

V2T2R3-A	0 – 14	7.15	
V2T2R4-A	0 – 14	7.14	
V2T2R5-A	0 – 14	7.15	
V3T2TESTIGO A	0 – 14	7.02	7.02
V3T2R1-A	0 – 14	7.13	
V3T2R2-A	0 – 14	7.14	
V3T2R3-A	0 – 14	7.16	7.14
V3T2R4-A	0 – 14	7.14	
V3T2R5-A	0 – 14	7.12	
V1T3TESTIGO A	0 – 14	7.03	7.03
V1T3R1-A	0 – 14	7.16	
V1T3R2-A	0 – 14	7.15	
V1T3R3-A	0 – 14	7.16	7.15
V1T3R4-A	0 – 14	7.15	
V1T3R5-A	0 – 14	7.14	
V2T3TESTIGO A	0 – 14	7.04	7.04
V2T3R1-A	0 – 14	7.14	
V2T3R2-A	0 – 14	7.13	
V2T3R3-A	0 – 14	7.14	7.15
V2T3R4-A	0 – 14	7.16	
V2T3R5-A	0 – 14	7.17	
V3T3TESTIGO A	0 – 14	7.06	7.06
V3T3R1-A	0 – 14	7.17	
V3T3R2-A	0 – 14	7.16	
V3T3R3-A	0 – 14	7.14	7.16
V3T3R4-A	0 – 14	7.15	
V3T3R5-A	0 – 14	7.16	

Tabla 17. Datos iniciales de temperatura.

TEMPERATURA INICIAL DEL LODO			
CODIGO	UND	RESULTADO	PROMEDIO
V1T1TESTIGO A	C°	24.60	24.6
V1T1R1-A	C°	24.50	
V1T1R2-A	C°	24.40	
V1T1R3-A	C°	24.30	
V1T1R4-A	C°	24.50	
V1T1R5-A	C°	24.40	
V2T1TESTIGO A	C°	24.50	24.50
V2T1R1-A	C°	24.40	
V2T1R2-A	C°	24.50	
V2T1R3-A	C°	24.50	
V2T1R4-A	C°	24.40	
V2T1R5-A	C°	24.50	
V3T1TESTIGO A	C°	24.60	24.60
V3T1R1-A	C°	24.50	
V3T1R2-A	C°	24.60	
V3T1R3-A	C°	24.50	
V3T1R4-A	C°	24.40	
V3T1R5-A	C°	24.50	
V1T2TESTIGO A	C°	24.40	24.40
V1T2R1-A	C°	24.50	
V1T2R2-A	C°	24.30	
V1T2R3-A	C°	24.40	
V1T2R4-A	C°	24.50	
V1T2R5-A	C°	24.40	
V2T2TESTIGO A	C°	24.40	24.40
V2T2R1-A	C°	24.60	
V2T2R2-A	C°	24.40	
V2T2R3-A	C°	24.50	
V2T2R4-A	C°	24.30	
V2T2R5-A	C°	24.40	
V3T2TESTIGO A	C°	24.50	24.50
V3T2R1-A	C°	24.60	
V3T2R2-A	C°	24.40	
V3T2R3-A	C°	24.50	
V3T2R4-A	C°	24.50	
V3T2R5-A	C°	24.40	

V1T3TESTIGO A	C°	24.40	24.40
V1T3R1-A	C°	24.50	24.48
V1T3R2-A	C°	24.60	
V1T3R3-A	C°	24.40	
V1T3R4-A	C°	24.40	
V1T3R5-A	C°	24.50	
V2T3TESTIGO A	C°	24.50	24.50
V2T3R1-A	C°	24.60	24.48
V2T3R2-A	C°	24.40	
V2T3R3-A	C°	24.50	
V2T3R4-A	C°	24.40	
V2T3R5-A	C°	24.50	
V3T3TESTIGO A	C°	24.40	24.40
V3T3R1-A	C°	24.50	24.50
V3T3R2-A	C°	24.50	
V3T3R3-A	C°	24.60	
V3T3R4-A	C°	24.50	
V3T3R5-A	C°	24.40	

Tabla 18. Datos iniciales y finales Cadmio con porcentajes de remoción

CONCENTRACION DE CADMIO INICIAL EN PPM			CONCENTRACION DE CADMIO FINAL EN PPM			PORCENTAJE DE REMOCIÓN	
CODIGO DEL SOLICITANTE	CONCENTRACION DE CADMIO EN PPM	PROMEDIO	CODIGO DEL SOLICITANTE	CONCENTRACION DE CADMIO EN PPM	PROMEDIO	% DE REMOCIÓN	% PROMEDIO DE REMOCIÓN
V1T1TESTIGO A	21.79	21.8	V1T1TESTIGO D	29.39	29.4	-34.88%	
V1T1R1-A	69.20	67.64	V1T1R1-D	61.56	53.49	11.04%	20.90%
V1T1R2-A	63.76		V1T1R2-D	52.80		17.19%	
V1T1R3-A	70.96		V1T1R3-D	52.84		25.54%	
V1T1R4-A	67.04		V1T1R4-D	48.76		27.27%	
V1T1R5-A	67.25		V1T1R5-D	51.47		23.47%	
V2T1TESTIGO A	20.03	20.03	V2T1TESTIGO D	24.49	24.49	-22.29%	
V2T1R1-A	57.36	55.26	V2T1R1-D	42.04	43.21	26.71%	21.91%
V2T1R2-A	52.48		V2T1R2-D	35.00		33.31%	
V2T1R3-A	55.52		V2T1R3-D	48.20		13.18%	
V2T1R4-A	55.00		V2T1R4-D	44.60		18.91%	
V2T1R5-A	55.96		V2T1R5-D	46.21		17.42%	
V3T1TESTIGO A	20.48	20.48	V3T1TESTIGO D	24.04	24.04	-17.38%	
V3T1R1-A	48.44	49.11	V3T1R1-D	32.52	34.46	32.87%	29.87%
V3T1R2-A	48.16		V3T1R2-D	32.28		32.97%	
V3T1R3-A	49.92		V3T1R3-D	36.40		27.08%	
V3T1R4-A	49.76		V3T1R4-D	36.16		27.33%	
V3T1R5-A	49.28		V3T1R5-D	34.95		29.08%	
V1T2TESTIGO A	22.85	22.85	V1T2TESTIGO D	15.72	15.72	31.21%	
V1T2R1-A	66.96	66.76	V1T2R1-D	28.56	29.91	57.35%	55.20%
V1T2R2-A	66.64		V1T2R2-D	29.04		56.42%	
V1T2R3-A	67.00		V1T2R3-D	32.64		51.28%	
V1T2R4-A	66.87		V1T2R4-D	30.08		55.02%	
V1T2R5-A	66.32		V1T2R5-D	29.24		55.91%	
V2T2TESTIGO A	23.40	23.40	V2T2TESTIGO D	25.48	25.48	-8.89%	
V2T2R1-A	41.48	42.17	V2T2R1-D	17.56	17.40	57.67%	58.73%
V2T2R2-A	42.56		V2T2R2-D	17.24		59.49%	
V2T2R3-A	42.36		V2T2R3-D	17.44		58.83%	
V2T2R4-A	42.13		V2T2R4-D	17.41		58.67%	

V2T2R5-A	42.31		V2T2R5-D	17.36		58.97%	
V3T2TESTIG O A	26.04	26.0 4	V3T2 TESTIGO D	35.92	35.92	-37.94%	
V3T2R1-A	41.12		V3T2R1-D	16.76		59.24%	
V3T2R2-A	41.64	41.2 6	V3T2R2-D	17.60		57.73%	
V3T2R3-A	41.80		V3T2R3-D	17.56	17.28	57.99%	58.12%
V3T2R4-A	41.52		V3T2R4-D	17.31		58.31%	
V3T2R5-A	40.20		V3T2R5-D	17.16		57.31%	
V1T3TESTIG O A	11.68	11.6 8	V1T3 TESTIGO D	30.48	30.48	-160.96%	
V1T3R1-A	20.00		V1T3R1-D	6.92		65.40%	
V1T3R2-A	20.76	20.4 9	V1T3R2-D	7.04		66.09%	
V1T3R3-A	21.04		V1T3R3-D	7.00	6.91	66.73%	66.27%
V1T3R4-A	20.60		V1T3R4-D	6.99		66.08%	
V1T3R5-A	20.04		V1T3R5-D	6.60		67.07%	
V2T3TESTIG O A	19.41	19.4 1	V2T3 TESTIGO D	25.65	25.65	-32.15%	
V2T3R1-A	10.36		V2T3R1-D	2.20		78.76%	
V2T3R2-A	10.56	10.4 8	V2T3R2-D	2.32		78.03%	
V2T3R3-A	10.60		V2T3R3-D	2.68	2.34	74.72%	77.65%
V2T3R4-A	10.51		V2T3R4-D	2.40		77.16%	
V2T3R5-A	10.39		V2T3R5-D	2.12		79.59%	
V3T3TESTIG O A	27.57	27.5 7	V3T3 TESTIGO D	30.76	30.76	-11.56%	
V3T3R1-A	9.04		V3T3R1-D	1.36		84.96%	
V3T3R2-A	9.16	9.03	V3T3R2-D	1.40		84.72%	
V3T3R3-A	9.24		V3T3R3-D	1.39	1.40	84.98%	84.48%
V3T3R4-A	9.15		V3T3R4-D	1.44		84.26%	
V3T3R5-A	8.56		V3T3R5-D	1.41		83.50%	

Anexo B. Panel fotográfico

Apéndice 1. Materiales, actividades realizadas en campo y en laboratorio



Figura 12. Electrodos de grafito de 3/8.

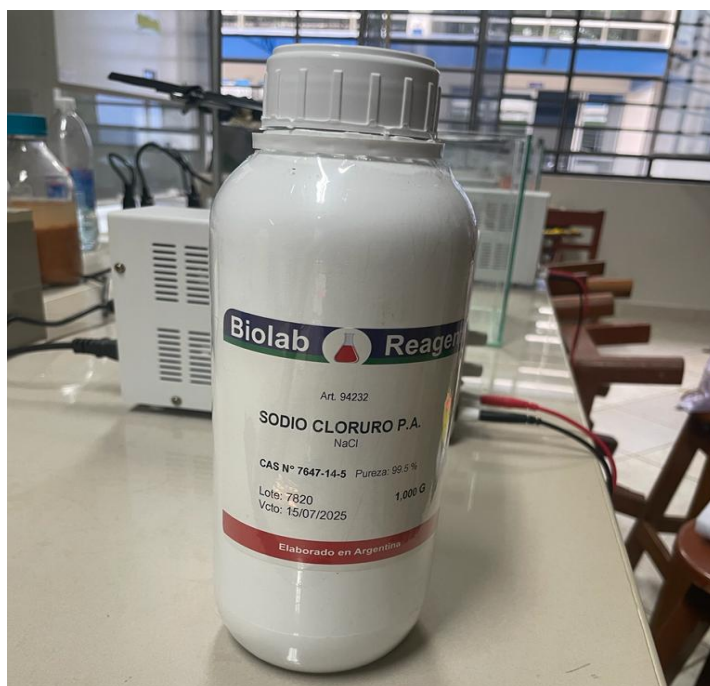


Figura 13. Cloruro de sodio



Figura 14. Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) - Molino



Figura 15. Toma de ubicación en PTAR



Figura 16. Muestreo en el PTAR



Figura 17. Pesado del lodo

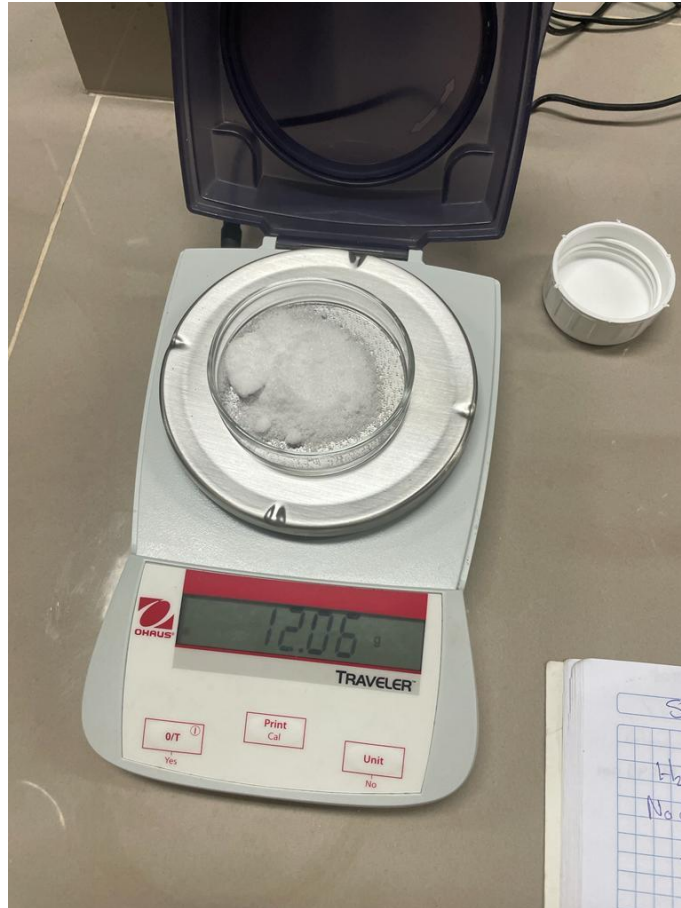


Figura 18. Pesado de NaCl



Figura 19. Pesado de muestra 10:100 para determinación de parámetros fisicoquímicos

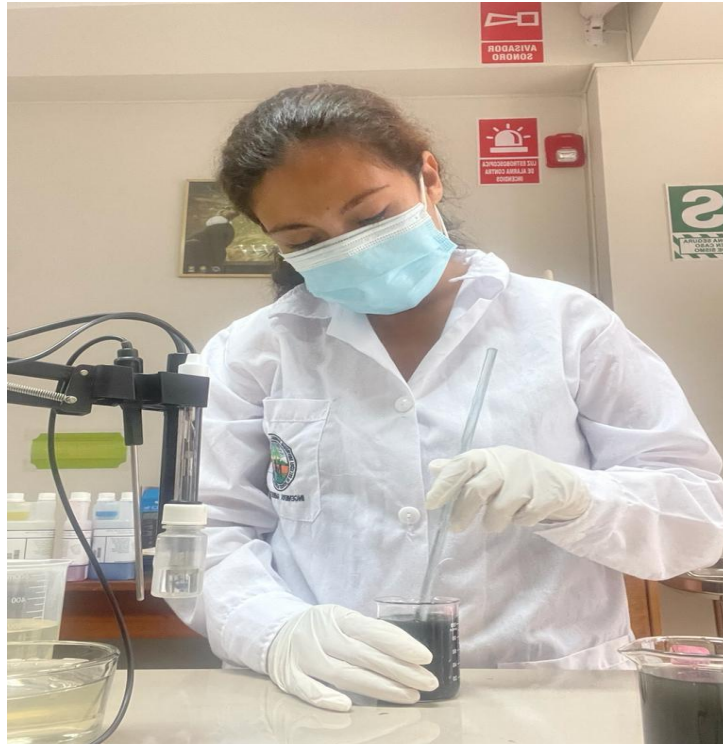


Figura 20. Dilución de la muestra para su posterior medición



Figura 21. Medición de pH, conductividad y temperatura



Figura 22. Medición de pH, conductividad y temperatura de los testigos.

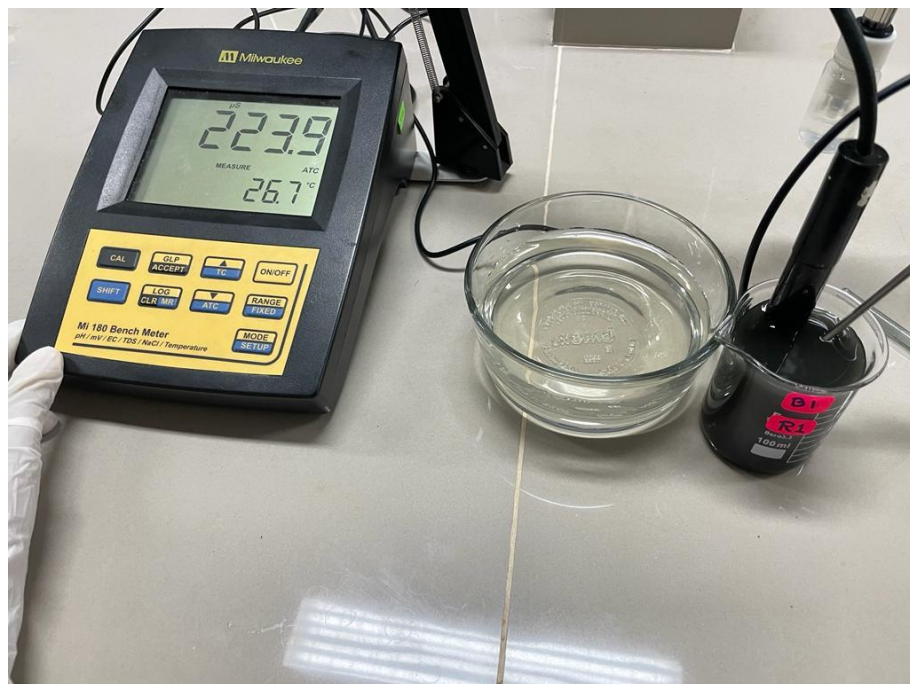


Figura 23. Medición de conductividad de blanco o testigo

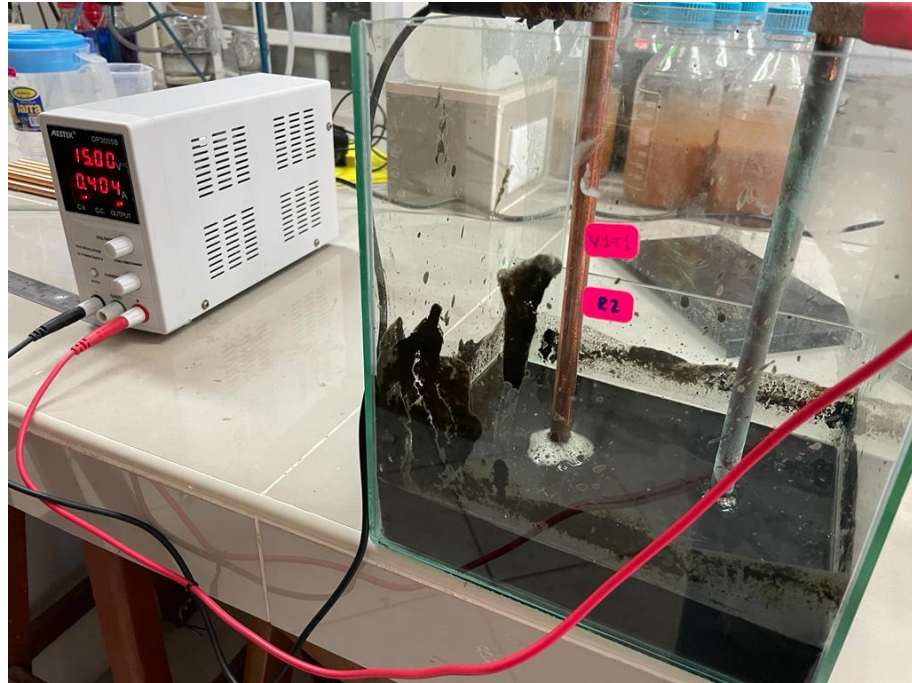


Figura 24. Tratamiento V1T1 al inicio



Figura 25. Tratamiento V1T1 al inicio.



Figura 26. Tratamiento V1T1 al después.

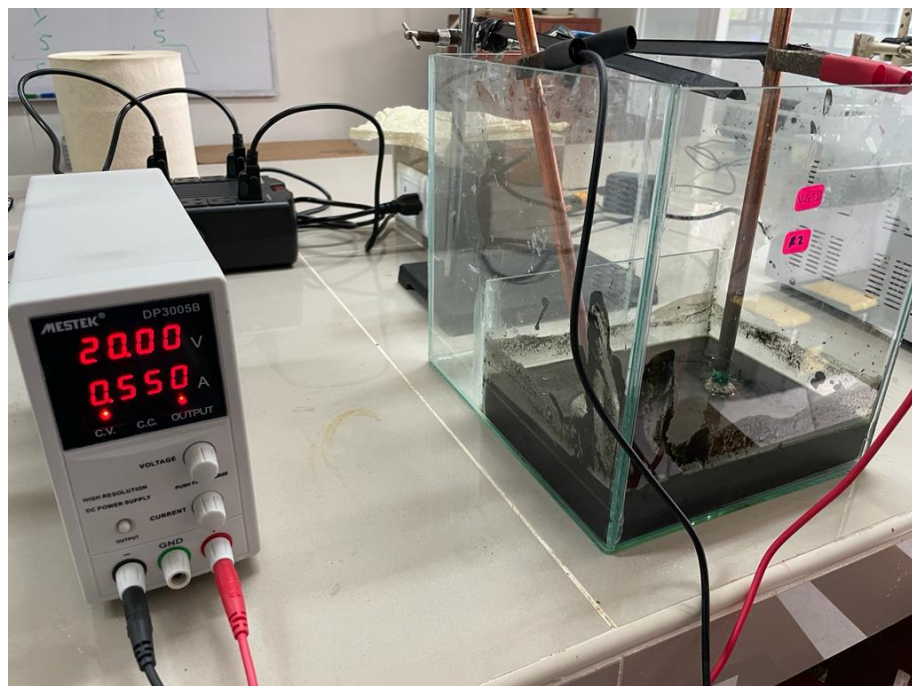


Figura 27. Tratamiento V2T1 al inicio.

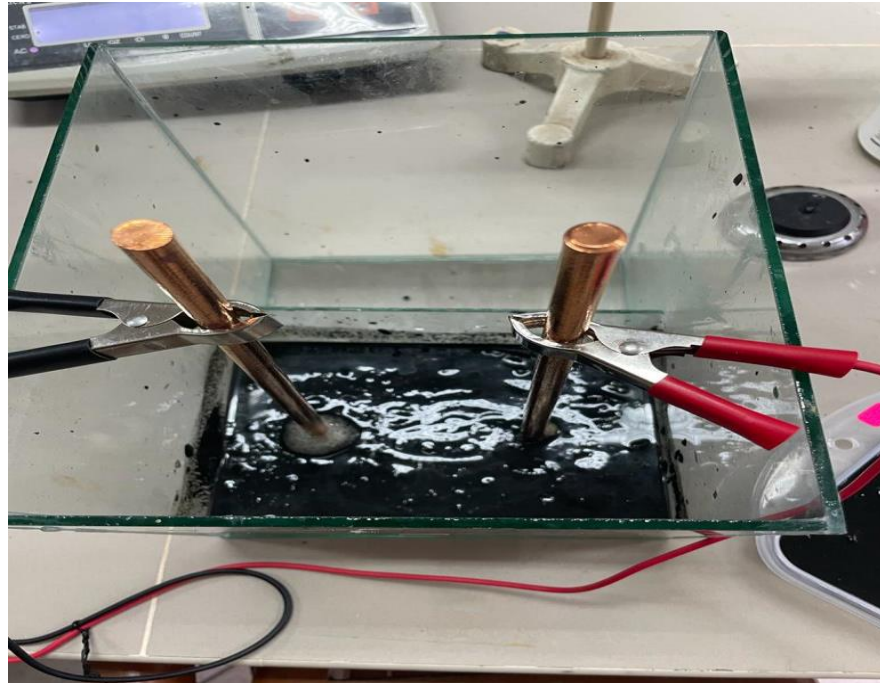


Figura 28. Tratamiento V2T1 al inicio.



Figura 29. Tratamiento V2T1 después

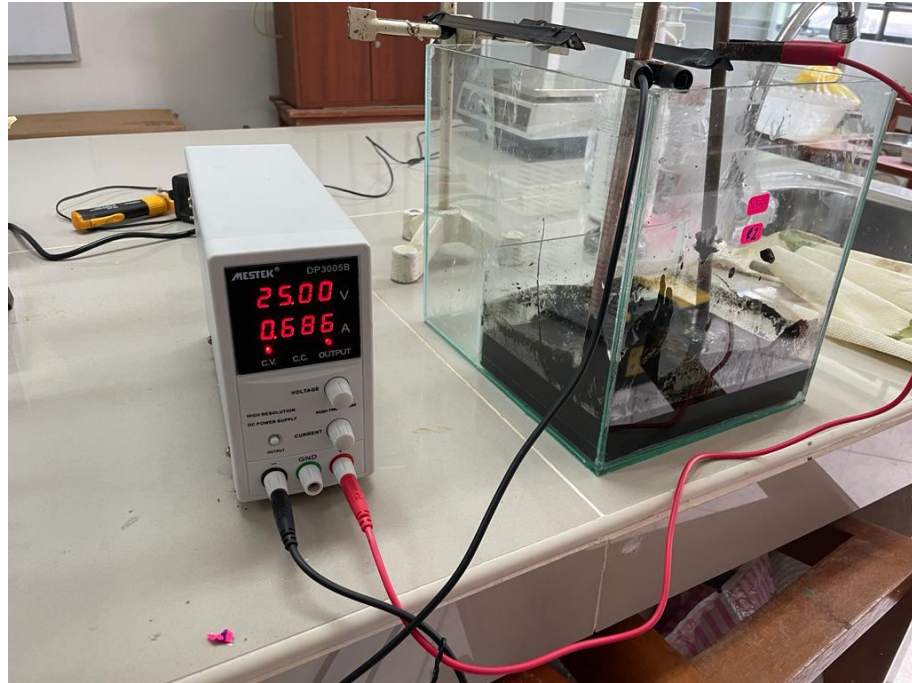


Figura 30. Tratamiento V3T1 al inicio.

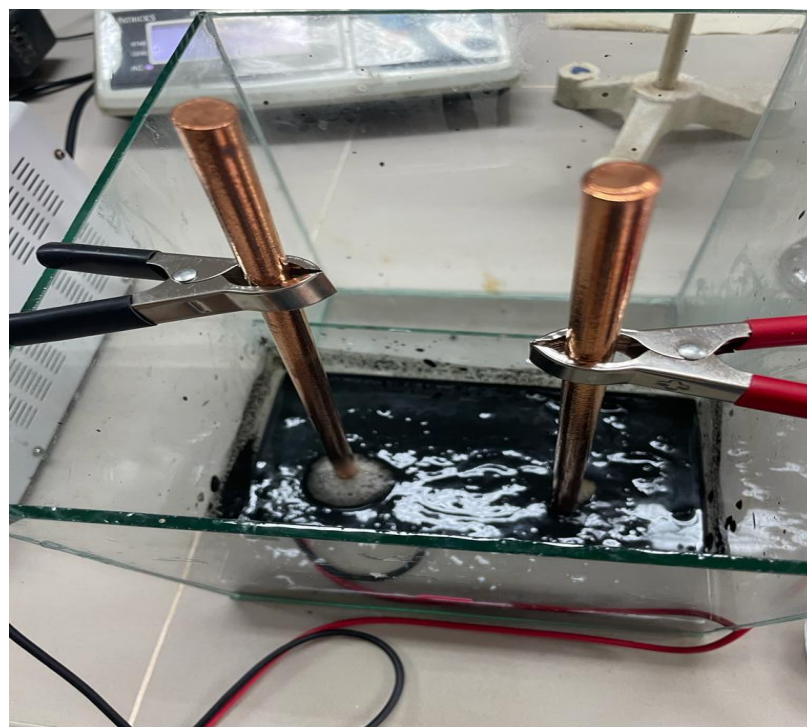


Figura 31. Tratamiento V3T1 al inicio.



Figura 32. Tratamiento V3T1 después.



Figura 33. Tratamiento V3T1 después.



Figura 34. Se continuó con todos los tratamientos



Figura 35. Equipo en funcionamiento para el tratamiento V1T3, V2T3 y V3T3



Figura 36. Pesado de la muestra para luego ser llevado al laboratorio de Suelos

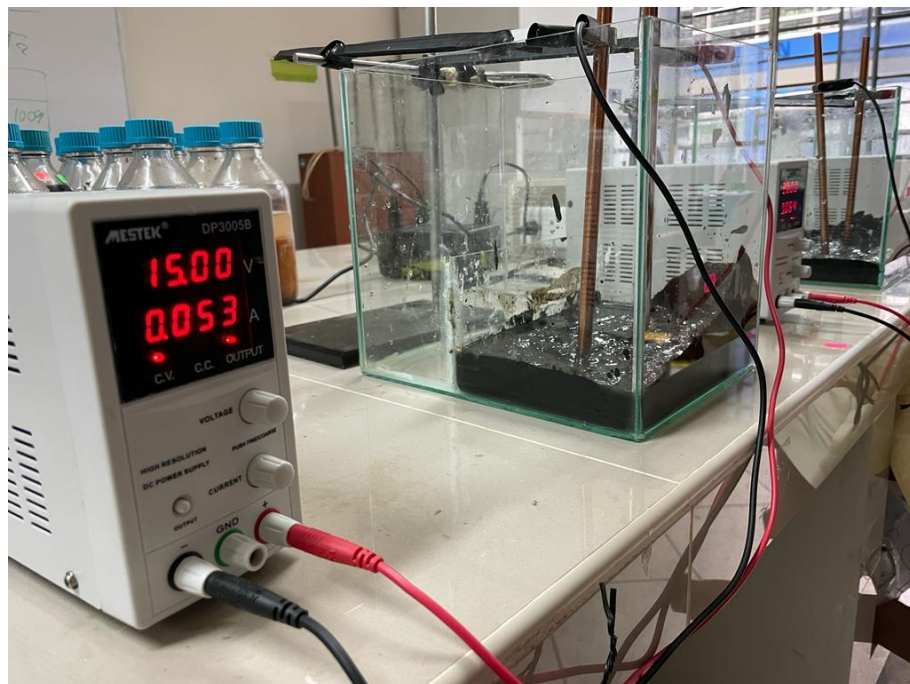


Figura 37. Testigo V1T1 antes

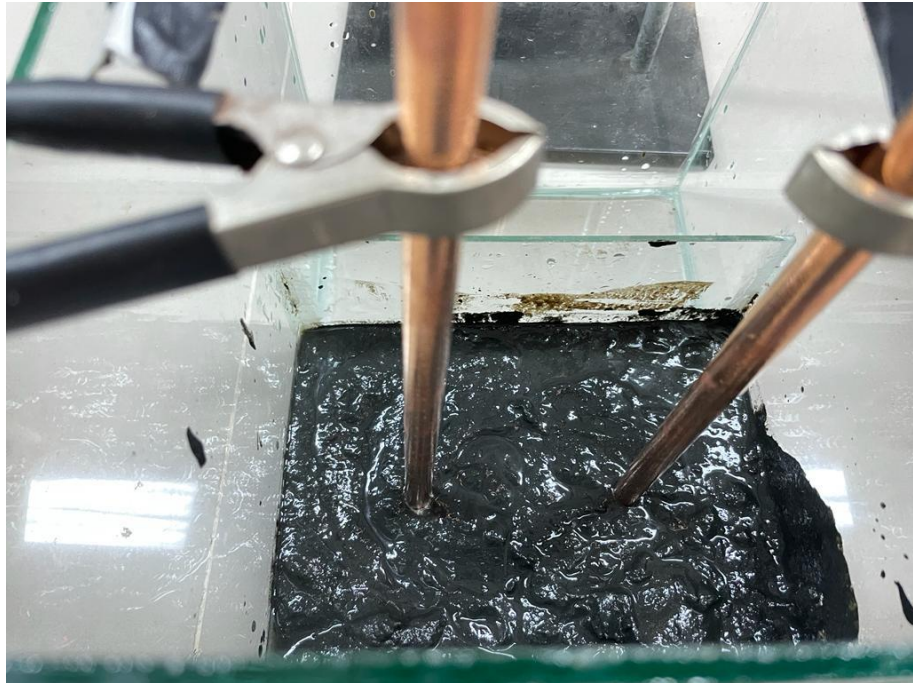


Figura 38. Testigo V1T1 antes



Figura 39. Testigo V1T1 después

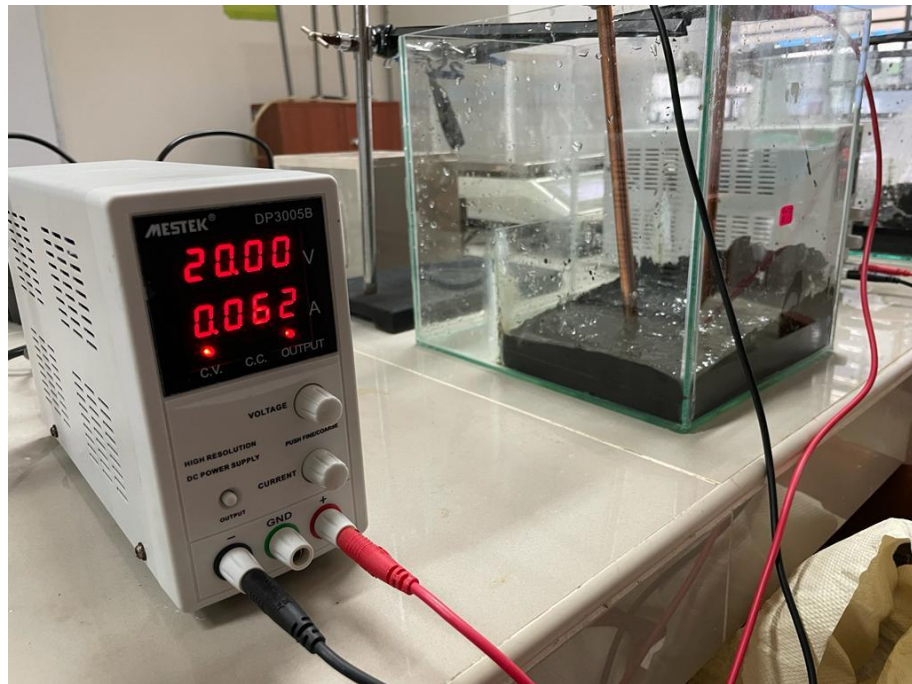


Figura 40. Testigo V2T1 antes

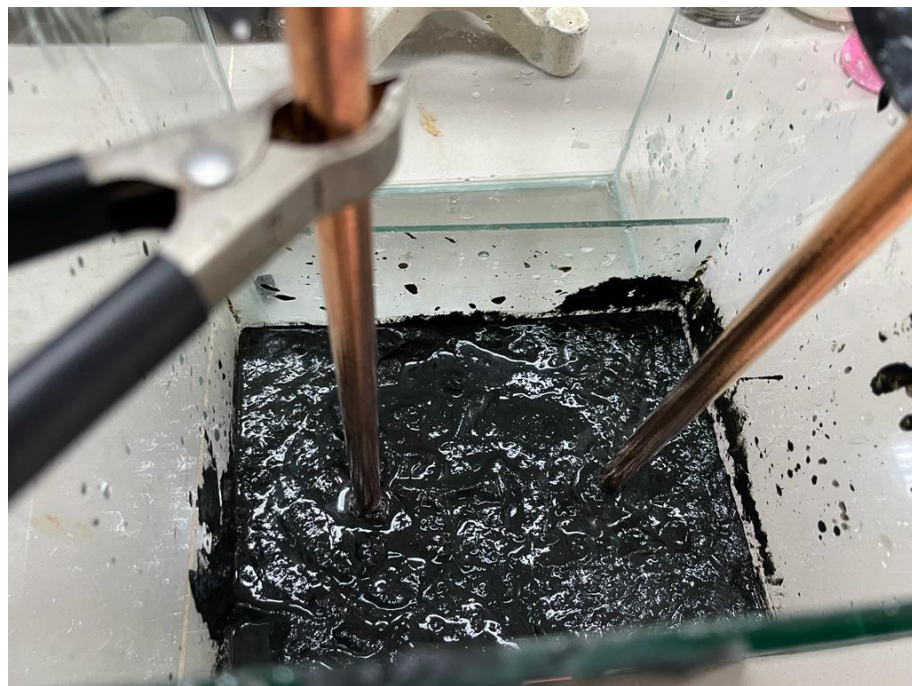


Figura 41. Testigo V2T1 antes

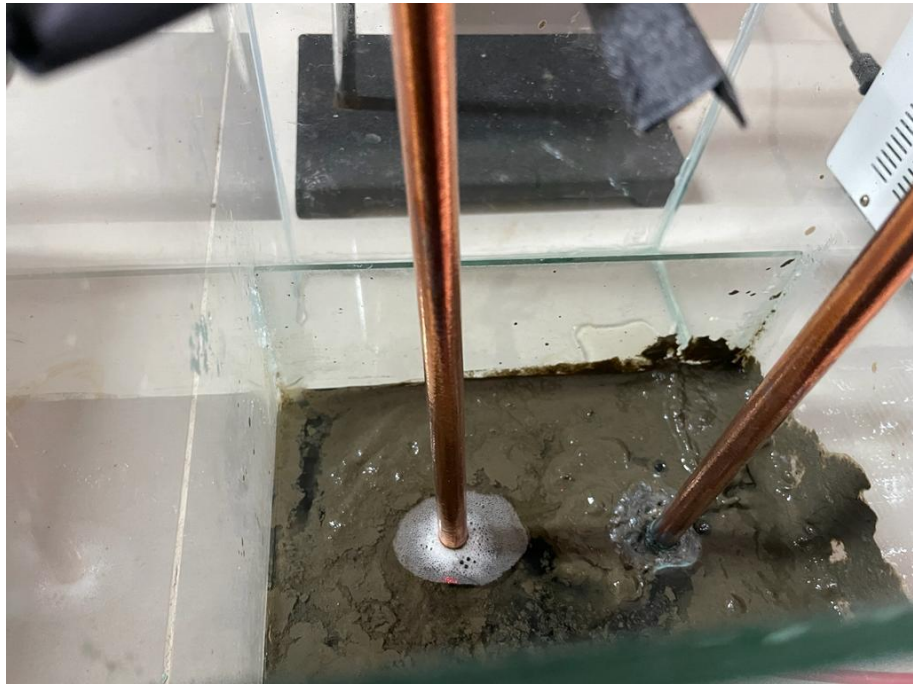


Figura 42. Testigo V2T1 después.

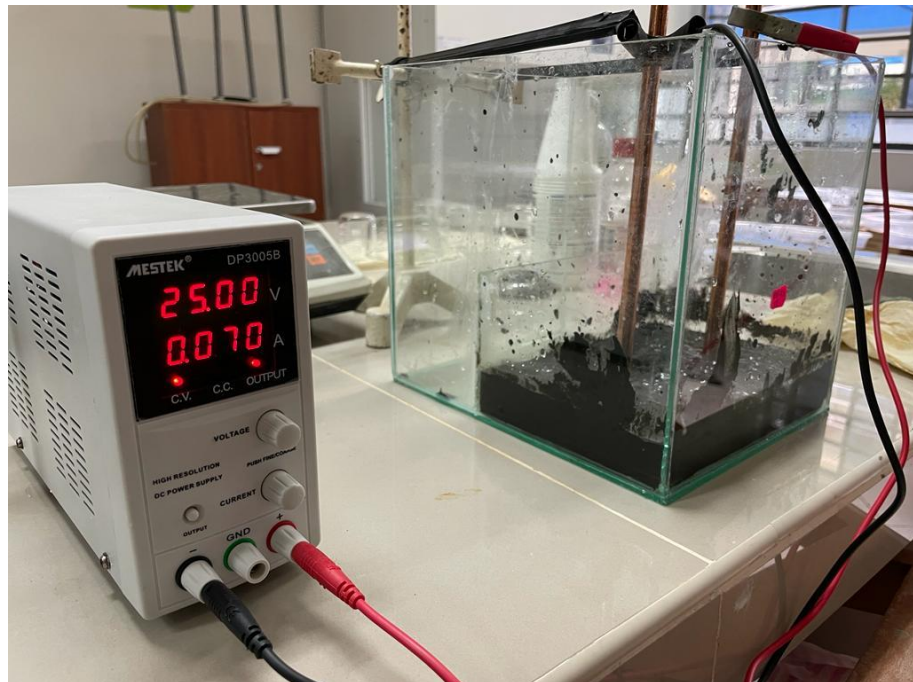


Figura 43. Testigo V3T1 antes

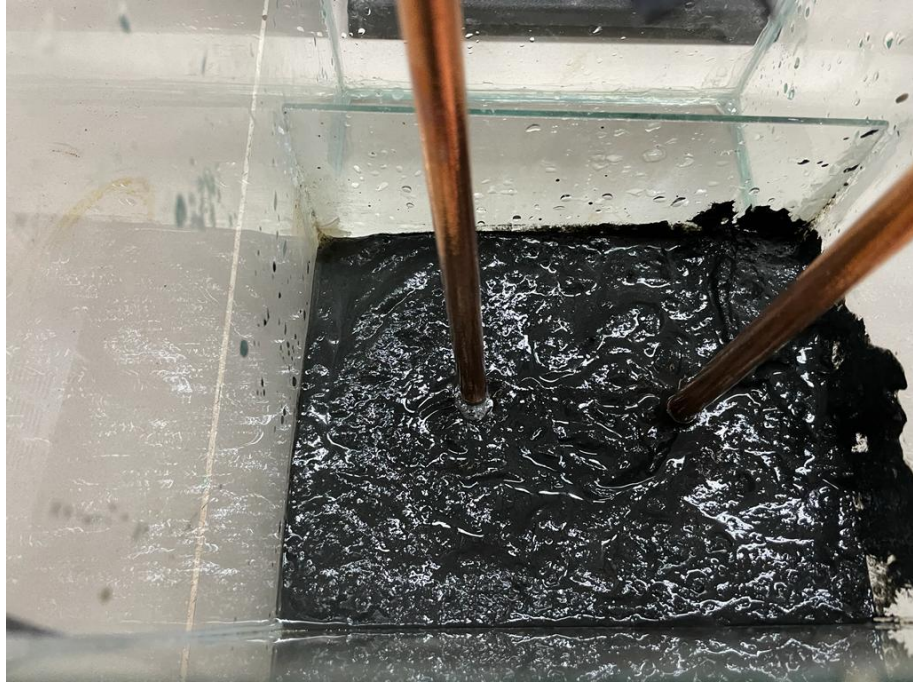


Figura 44. Testigo V3T1 antes



Figura 45. Testigo V3T1 después



Figura 46. Muestras de lodo en bolsas ziploc llevados al laboratorio



Figura 47. Visita del jurado al laboratorio



Figura 48. Visita del jurado al laboratorio

Apéndice 2. Autorización para la toma de muestra por parte de la Municipalidad Distrital de Molino.

 **MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE MOLINO** 
"Año de la Lucha Contra la Corrupción y la Impunidad"

CARTA N° 012-2019-INB-MDM/GM **CARGO**

A : Danitza Delsy HIDALGO ORTIZ
TESISTA D ELA FACULTAD RR. NN DE LA ESCUELA PROFESIONAL
ING. AMBIENTAL-UNAS

DE : Abog. Ivan NUÑEZ BARBOZA
GERENTE MUNICIPAL

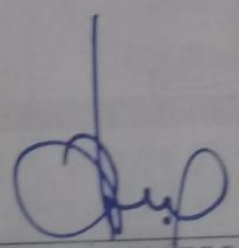
ASUNTO : Autorización para toma de muestra de la planta de tratamiento de aguas
residuales de la municipalidad distrital de Molino (PTAR).

REFERENCIA: Exp. 2105, Informe N° 191-2019-MDM/GGRDRNMA/G-KRAA

FECHA : Molino, 11 de octubre del 2019

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente, a la vez, estando los documento de la referencia se autoriza a su persona realizar la toma de muestra en la planta de tratamiento de aguas residuales de la municipalidad distrital de Molino (PTAR), para ellos debería realizar las coordinaciones con el ingeniero Klever Rodin Ambrosio Alvarez, Gerente de Gestión de Riesgos de Desastres, Recursos Naturales y Medio Ambiente, toma de muestra que debe de hacerlo de acuerdo al cronograma descrito en el plan de ejecución del proyecto de Tesis denominado "Remoción de Cadmio (Cd) mediante electrorremediación en lodos residuales del PTAR en el distrito de Molino-Huánuco"

Atentamente,


IVAN NUÑEZ BARBOZA

Apéndice 3. Certificado de análisis del Laboratorio de Suelos.


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología
analisisdesuelosunas@hotmail.com


ANALISIS DE SUELOS

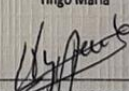
SOLICITANTE:		HIDALGO ORTIZ DANITZA DELSY			
N°	CODIGO DEL LABORATORIO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	SECTOR
1	S0080-1	HUANUCO	PACHITEA	MOLINO	PTAR - MOLINO

N°	CODIGO LABORATORIO	CODIGO DEL SOLICITANTE	CONCENTRACION DE CADMIO DISPONIBLE EN PPM
1	80-46	V1T1TESTIGO A	21.788
2	80-1	V1T1R1-A	69.200
3	80-4	V1T1R2-A	63.760
4	80-7	V1T1R3-A	70.960
5	80-10	V1T1R4-A	67.040
6	80-13	V1T1R5-A	67.252
7	80-100	V1T1 TESTIGO D	29.388
8	80-55	V1T1R1-D	61.560
9	80-58	V1T1R2-D	52.800
10	80-61	V1T1R3-D	52.840
11	80-64	V1T1R4-D	48.760
12	80-67	V1T1R5-D	51.468
13	80-47	V2T1TESTIGO A	20.028
14	80-2	V2T1R1-A	57.360
15	80-5	V2T1R2-A	52.480
16	80-8	V2T1R3-A	55.520
17	80-11	V2T1R4-A	55.000
18	80-14	V2T1R5-A	55.960
19	80-101	V2T1 TESTIGO D	24.492
20	80-56	V2T1R1-D	42.040
21	80-59	V2T1R2-D	35.000
22	80-62	V2T1R3-D	48.200
23	80-65	V2T1R4-D	44.600
24	80-68	V2T1R5-D	46.212
25	80-48	V3T1TESTIGO A	20.480
26	80-3	V3T1R1-A	48.440
27	80-6	V3T1R2-A	48.160
28	80-9	V3T1R3-A	49.920
29	80-12	V3T1R4-A	49.760
30	80-15	V3T1R5-A	49.280
31	80-102	V3T1 TESTIGO D	24.040
32	80-57	V3T1R1-D	32.520
33	80-60	V3T1R2-D	32.280
34	80-63	V3T1R3-D	36.400
35	80-66	V3T1R4-D	36.160
36	80-69	V3T1R5-D	34.948

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE
 SERVICIO DE LECTURA EN EL EAA
 RECIBO N° 001-0643600
 TINGO MARIA, 14 DE MARZO 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 Tingo María



Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
 Jefe (e) Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:

HIDALGO ORTIZ DANITZA DELSY

N°	CODIGO DEL LABORATORIO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	SECTOR
1	S0080-1	HUANUCO	PACHITEA	MOLINO	PTAR - MOLINO

N°	CODIGO LABORATORIO	CODIGO DEL SOLICITANTE	CONCENTRACION DE CADMIO DISPONIBLE EN PPM
73	80-52	V1T3TESTIGO A	11.680
74	80-31	V1T3R1-A	20.000
75	80-34	V1T3R2-A	20.760
76	80-37	V1T3R3-A	21.040
77	80-40	V1T3R4-A	20.600
78	80-43	V1T3R5-A	20.040
79	80-106	V1T3 TESTIGO D	30.480
80	80-85	V1T3R1-D	6.920
81	80-88	V1T3R2-D	7.040
82	80-91	V1T3R3-D	7.000
83	80-94	V1T3R4-D	6.988
84	80-97	V1T3R5-D	6.600
85	80-53	V2T3TESTIGO A	19.412
86	80-32	V2T3R1-A	10.360
87	80-35	V2T3R2-A	10.560
88	80-38	V2T3R3-A	10.600
89	80-41	V2T3R4-A	10.508
90	80-44	V2T3R5-A	10.388
91	80-107	V2T3 TESTIGO D	25.652
92	80-86	V2T3R1-D	2.200
93	80-89	V2T3R2-D	2.320
94	80-92	V2T3R3-D	2.680
95	80-95	V2T3R4-D	2.400
96	80-98	V2T3R5-D	2.120
97	80-54	V3T3TESTIGO A	27.572
98	80-33	V3T3R1-A	9.040
99	80-36	V3T3R2-A	9.160
100	80-39	V3T3R3-A	9.240
101	80-42	V3T3R4-A	9.148
102	80-45	V3T3R5-A	8.560
103	80-108	V3T3 TESTIGO D	30.760
104	80-87	V3T3R1-D	1.360
105	80-90	V3T3R2-D	1.400
106	80-93	V3T3R3-D	1.388
107	80-96	V3T3R4-D	1.440
108	80-99	V3T3R5-D	1.412

MUESTREO POR EL SOLICITANTE

SERVICIO DE LECTURA EN EL EAA

RECIBO N° 001-0643600

TINGO MARIA, 14 DE MARZO 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

Dr. HUGO ALBERTO HUAMANI YUPANQUI
Jefe (e) Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANALISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:	HIDALGO ORTIZ DANITZA DELSY
--------------	-----------------------------

N°	CODIGO DEL LABORATORIO	DÉPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	SECTOR
1	S0080-1	HUANUCO	PACHITEA	MOLINO	PTAR - MOLINO

N°	CODIGO LABORATORIO	CODIGO DEL SOLICITANTE	CONCENTRACION DE CADMIO DISPONIBLE EN PPM
37	80-49	V1T2TESTIGO A	22.852
38	80-16	V1T2R1-A	66.960
39	80-19	V1T2R2-A	66.640
40	80-22	V1T2R3-A	67.000
41	80-25	V1T2R4-A	66.868
42	80-28	V1T2R5-A	66.320
43	80-103	V1T2 TESTIGO D	15.720
44	80-70	V1T2R1-D	28.560
45	80-73	V1T2R2-D	29.040
46	80-76	V1T2R3-D	32.640
47	80-79	V1T2R4-D	30.080
48	80-82	V1T2R5-D	29.240
49	80-50	V2T2TESTIGO A	23.400
50	80-17	V2T2R1-A	41.480
51	80-20	V2T2R2-A	42.560
52	80-23	V2T2R3-A	42.360
53	80-26	V2T2R4-A	42.132
54	80-29	V2T2R5-A	42.312
55	80-104	V2T2 TESTIGO D	25.480
56	80-71	V2T2R1-D	17.560
57	80-74	V2T2R2-D	17.240
58	80-77	V2T2R3-D	17.440
59	80-80	V2T2R4-D	17.412
60	80-83	V2T2R5-D	17.360
61	80-51	V3T2TESTIGO A	26.040
62	80-18	V3T2R1-A	41.120
63	80-21	V3T2R2-A	41.640
64	80-24	V3T2R3-A	41.800
65	80-27	V3T2R4-A	41.520
66	80-30	V3T2R5-A	40.200
67	80-105	V3T2 TESTIGO D	35.920
68	80-72	V3T2R1-D	16.760
69	80-75	V3T2R2-D	17.600
70	80-78	V3T2R3-D	17.560
71	80-81	V3T2R4-D	17.308
72	80-84	V3T2R5-D	17.160

MUESTREO POR EL SOLICITANTE

SERVICIO DE LECTURA EN EL EAA

RECIBO N° 001-0643600

TINGO MARIA, 14 DE MARZO 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe (a) Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Apéndice 4. Plano del diseño experimental.