



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL**

“Remoción de plomo mediante la electroremediación en los suelos de la zona agrícola  
Roma Baja, Carabayllo 2019”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
Ingeniera Ambiental

**AUTORAS:**

Bazan Baez, Heidy Viviana (ORCID: 0000-0001-7705-1891)  
Cristobal Arzapalo, Lisbet Ines (ORCID: 0000-0001-9739-9983)

**ASESOR:**

Dr. Jave Nakayo, Jorge Leonardo (ORCID: 0000-0003-3536-881X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

**LIMA - PERÚ**

**2019**

## **Dedicatoria**

A Dios que siempre escuchó mis oraciones y me dio fuerzas para hacer frente a las adversidades, a mis padres y hermana por haberme brindado su apoyo incondicional, a mi sobrino Mathias quien es mi motivo para seguir superándome y vea en mí un ejemplo a seguir, por último y no menos importante a mi tía Carmen quien gracias a su soporte fue una pieza muy especial en la culminación de mi carrera profesional.

Heidy Viviana

A Dios por ser mi luz en las tinieblas, a mis padres David y Alejandrina por confiar en mí, por enseñarme el valor del trabajo y a ser perseverante ante los desafíos. A mi amado esposo Elven, por ser la persona que me motivó a estudiar, por sus constantes palabras de ánimo y consejos en mi camino hacia la excelencia. A todos ellos, les dedico con mi corazón y con mis manos.

Lisbet Ines

## **Agradecimiento**

Agradecer a Nuestro Padre Celestial por brindarnos la oportunidad de cumplir nuestros objetivos, guiarnos a lo largo de nuestra carrera y brindarnos fortaleza en los momentos difíciles de nuestras vidas. A los ingenieros Jorge Leonardo Jave Nakayo y Elven Casafranca Quispe, por habernos brindado apoyo, dedicación y preocupación durante la realización de esta tesis, compartiendo sus conocimientos y sobre todo su amistad, asimismo a nuestro amigo Carlos Kenneth Muñoz Gutierrez quien nos brindó apoyo y tiempo de servicio.

## **Página del Jurado**

## Declaratoria de Autenticidad

### Declaración de autenticidad

Yo, Heidy Viviana Bazan Baez, con DNI N° 47497529 y Lisbet Ines Cristobal Arzapalo con DNI N°42729465, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes considerados en el reglamento de grados y títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental, declaramos bajo juramento que toda documentación es auténtica y veraz.

Asimismo, declaramos que también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la tesis desarrollada son auténticos y veraces.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda cualquier falsedad, ocultamiento y omisión tanto de los documentos como de información aportada por la cual nos sometemos a lo dispuesto en la norma académica de la Universidad César Vallejo.

Lima, 02 de diciembre del 2019



Heidy Viviana Bazan Baez



Lisbet Ines Cristobal Arzapalo

## Índice

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Página del Jurado.....	iv
Declaratoria de autenticidad .....	iv
Índice.....	vi
índice de tabla .....	vii
índice de figuras .....	ix
Resumen .....	xii
Abstract .....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MÉTODO .....	31
2.1 Tipo y diseño de Investigación.....	31
2.2 Cuadro de Operacionalización de variables .....	33
2.3 Población, muestra y muestreo.....	34
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad .....	39
2.5 Procedimiento.....	40
2.6 Métodos de análisis de datos .....	60
2.7 Aspectos Éticos.....	61
III. RESULTADOS .....	61
IV. DISCUSIÓN.....	71
V. CONCLUSIONES.....	91
VI. RECOMENDACIONES .....	93
REFERENCIAS .....	94
ANEXOS .....	102

## ÍNDICE DE TABLA

<b>Tabla 1.</b> Estándares de Calidad Ambiental para Suelos .....	27
<b>Tabla 2.</b> Coordenadas del área de estudio .....	37
<b>Tabla 3.</b> Instrumentos utilizados en el área de estudio .....	39
<b>Tabla 4.</b> Datos de la muestra de estudio .....	42
<b>Tabla 5.</b> Resultados de parámetros de nivel de fondo .....	43
<b>Tabla 6.</b> Mediciones finales del área de estudio in situ .....	44
<b>Tabla 7.</b> Programación de la prueba en blanco.....	53
<b>Tabla 8.</b> Etapas de la técnica de Electrorremediación.....	54
<b>Tabla 9.</b> Características de la técnica.....	57
<b>Tabla 10.</b> Mediciones en laboratorio (ex situ),.....	61
<b>Tabla 11.</b> Caracterización química del suelo RB-Inicial.....	61
<b>Tabla 12.</b> Caracterización física del suelo RB-Inicial .....	62
<b>Tabla 13.</b> Plomo inicial.....	62
<b>Tabla 14.</b> Resultados de electrorremediación en suelos por plomo-Primera etapa .....	63
<b>Tabla 15.</b> Caracterización química del suelo RB.....	64
<b>Tabla 16.</b> Resultados de Electrorremediación en suelos por plomo-Segunda etapa .....	65
<b>Tabla 17.</b> Caracterización química del suelo RB.....	66
<b>Tabla 18.</b> Resultados de electrorremediación en suelos por plomo-Tercera etapa.....	67
<b>Tabla 19.</b> Caracterización química del suelo RB.....	68
<b>Tabla 20.</b> Porcentaje de remoción .....	76
<b>Tabla 21.</b> Prueba de Shapiro-Wilk para Plomo primera etapa .....	77
<b>Tabla 22.</b> Prueba de Shapiro-Wilk para Plomo-segunda etapa .....	78
<b>Tabla 23.</b> Prueba de Shapiro-Wilk para Plomo-tercera etapa.....	78
<b>Tabla 24.</b> Prueba de Shapiro-Wilk para Intensidad de corriente .....	79
<b>Tabla 25.</b> Prueba de Shapiro Wilk para tiempo de tratamiento.....	80
<b>Tabla 26.</b> Primera etapa-Plomo .....	81
<b>Tabla 27.</b> Segunda etapa-Plomo .....	81
<b>Tabla 28.</b> Tercera etapa-Plomo.....	82
<b>Tabla 29.</b> Intensidad de corriente en las tres etapas de la electrorremediación .....	82

<b>Tabla 30.</b> Tiempo de tratamiento en las tres etapas de la electroremediación. ....	83
<b>Tabla 31.</b> Primera etapa-Plomo .....	84
<b>Tabla 32.</b> Segunda etapa-Plomo .....	85
<b>Tabla 33.</b> Tercera etapa-Plomo.....	85
<b>Tabla 34.</b> Intensidad de corriente.....	86
<b>Tabla 35.</b> Tiempo de tratamiento.....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Representación de una celda electroquímica para desarrollar el tratamiento electrocinética de suelo.....	8
<b>Figura 2.</b> Representación del proceso de electroósmosis en la técnica de electrorremediación en suelos. ....	8
<b>Figura 3.</b> Representación del proceso de electromigración en la técnica de electrorremediación en suelos. ....	9
<b>Figura 4.</b> Mecanismo de transporte en el proceso de Electrorremediación.....	9
<b>Figura 5.</b> Proceso de la electrólisis.....	14
<b>Figura 6.</b> Cinco funciones del suelo .....	16
<b>Figura 7.</b> Triángulo Textural de USDA.....	18
Figura 8. Escala Granulométrica .....	19
<b>Figura 9.</b> Capacidad de Campo .....	20
<b>Figura 10.</b> Fórmula para hallar la Capacidad de Campo .....	20
<b>Figura 11.</b> Valores Normales de PMP .....	21
<b>Figura 12.</b> Diagrama de Proceso del Tratamiento de Electrorremediación.....	32
<b>Figura 13.</b> Cuadro de Operacionalización de Variables.....	33
<b>Figura 14.</b> Suelo de zona Agrícola Roma Baja, Carabayllo.....	34
<b>Figura 15.</b> Rejilla Regular .....	35
<b>Figura 16.</b> Suelo de zona agrícola Roma Baja .....	35
<b>Figura 17.</b> Profundidad del Muestreo según el uso de suelo.....	35
<b>Figura 18.</b> Muestreo según el uso de suelo.....	35
<b>Figura 19.</b> Ubicación de los Puntos de Muestreo .....	36
<b>Figura 20.</b> Mapa de Ubicación .....	38
<b>Figura 21.</b> Presentación de Materiales en campo .....	40
<b>Figura 22.</b> Definición del área de la población.....	41
<b>Figura 23.</b> Equipos y reactivos empleados en campo.....	41
<b>Figura 24.</b> Calicata culminada.....	42
<b>Figura 25.</b> Extracto de suelo.....	43
<b>Figura 26.</b> Proceso de Infiltración del agua en el suelo.....	44
<b>Figura 27.</b> Realización del método STROKE .....	45

<b>Figura 28.</b> Medición de la Conductividad Hidráulica .....	46
<b>Figura 29.</b> Procedimiento de secado por estufa.....	47
<b>Figura 30.</b> Extracción de muestra de suelo agrícola del cilindro biselado .....	49
<b>Figura 31.</b> Realización de la Técnica del Picnómetro .....	50
<b>Figura 32.</b> Procedimiento de Tamizado.....	51
<b>Figura 33.</b> Procedimiento de tamizado con malla N° 100.....	51
<b>Figura 34.</b> Método de STOKE.....	52
<b>Figura 35.</b> Remoción de Plomo por Electrólisis.....	54
<b>Figura 36.</b> Presentación de celdas codificadas .....	55
<b>Figura 37.</b> Electrodo de acero .....	55
<b>Figura 38.</b> Fuente de alimentación externa.....	56
<b>Figura 39.</b> Acondicionamiento de Celdas .....	58
<b>Figura 40.</b> Muestras Humectadas con los electrolito.....	58
<b>Figura 41.</b> Presentación de las celdas con los electrodos .....	59
<b>Figura 42.</b> Presencia de gases e hidróxido.....	60
<b>Figura 43.</b> Unidades experimentales .....	60
<b>Figura 44.</b> Aplicación electrorremediación en la primera etapa.....	63
<b>Figura 45.</b> Electrorremediación primera etapa .....	64
<b>Figura 46.</b> Aplicación de la electrorremediación en la segunda etapa. ....	65
<b>Figura 47.</b> Electrorremediación segunda etapa. ....	66
<b>Figura 48.</b> Aplicación de la electrorremediación en la tercera etapa. ....	67
<b>Figura 49.</b> Electrorremediación tercera etapa .....	68
<b>Figura 50.</b> Mediciones de pH en las tres etapas de tratamiento. ....	69
<b>Figura 51.</b> Mediciones de CE en las tres etapas de tratamiento. ....	69
<b>Figura 52.</b> Mediciones de MO en las tres etapas e la electrorremediación. ....	70
<b>Figura 53.</b> Mediciones de $\text{NO}_3^-$ en las tres etapas de la electrorremediación. ....	71
<b>Figura 54.</b> Mediciones de P en las tres etapas de la electrorremediación. ....	72
<b>Figura 55.</b> Mediciones de K en las tres etapas de la electrorremediación.....	73
<b>Figura 56.</b> Mediciones de HG (Humedad gravimétrica) en las tres etapas de la electrorremediación,.....	73
<b>Figura 57.</b> Mediciones de CV en las tres etapas de la electrorremediación. ....	74

<b>Figura 58.</b> Mediciones de PMP en las tres etapas de la electrorremediación.....	75
<b>Figura 59.</b> Mediciones de CC en las tres etapas de electrorremediación. ....	76

## RESUMEN

La contaminación por plomo en los campos de cultivos es un peligro a la salud de los seres humanos y a los animales ya que se incorpora al sistema por medio de la cadena trófica y otros medios de contaminación. Las aguas del río Chillón son fuentes de vida para la población de Lima norte sin embargo por la presencia de la minería en la cuenca alta del valle del mismo nombre, piscigranjas, industrias y desembocaduras de desagües descargan directamente al río, estos factores tienen un impacto altamente negativo, puesto que contaminan las aguas y estas a su vez son utilizadas para riego de los cultivos del valle produciendo problemas de salud pública producidas por la contaminación de los suelos agrícolas.

La problemática que se presenta en este trabajo de investigación es la presencia de plomo en los suelos agrícolas de Roma Baja ubicado en el distrito de Carabayllo, los mismos que presentan valores superiores a los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos, la muestra RB presentó 99.7 kg/mg de contaminante, es por tal razón que se planteó esta técnica de remoción de plomo como alternativa de solución.

La electroremediación es la técnica donde se utiliza la corriente eléctrica acompañada de electrodos y adicionando algún tipo de electrolito para la movilización de los aniones y cationes, es por tal motivo que se trabajó a nivel laboratorio para determinar el porcentaje de remoción de plomo. Para la elaboración del experimento se dividió en tres etapas (27 unidades experimentales) donde cada etapa comprendía 9 unidades experimentales, las cuales fueron sometidas a diferentes tiempos e intensidad de corriente. Para el desarrollo se utilizó 45 kg de muestra de suelo agrícola, 57 electrodos de acero, dos tipos de electrolitos orgánicos como es el ácido acético y el acetato de amonio ambos a 0.001 M, las celdas fueron de polietileno de alta densidad.

Después de aplicar las tres etapas, se pudo hacer las comparaciones para determinar el porcentaje de remoción, el resultado se presentó en la tercera etapa de tratamiento con un tiempo de 30 minutos a 30V se logró una mayor remoción de 55.99% en relación al ECA de suelos.

Palabras Clave: Electroremediación, plomo, terrenos agrícolas, tiempo y remoción.

## ABSTRACT

Lead contamination in crop fields is a danger to the health of humans and animals and is incorporated into our system through the food chain and other means of contamination. The waters of the Chillón River are sources of life for the population of northern Lima, however, due to the presence of mining in the upper basin of the same name, fish farms, industries and design landings discharge directly to the river, these factors have a high impact negative, since it contaminates the waters and these in turn are for the irrigation of the crops of the valley producing public health problems produced by the contamination of agricultural soils.

The problem presented in this research work is the presence of lead in the agricultural environments of Roma Baja located in the district of Carabayllo, the same positive values higher than the Environmental Quality Standards for Soils, the RB sample presented 99.7 kg / mg of contaminant, is why this technique of removal of lead was proposed as an alternative solution. Electroremediation is the technique where electric current is used, accompanied by electrodes and electrolyte type for the mobilization of anions and cations. For this purpose, a laboratory level is used to determine the percentage of lead removal. For the elaboration of the experiment are divided into three stages (27 experimental units) where each stage comprised 9 experimental units, which were sometimes different times and intensity of current. For the development, 45 kg of agricultural soil sample, 57 steel electrodes, two types of electrolytes, such as acetic acid and ammonium acetate at 0.001 M, were met, the cells were made of high density polyethylene.

After applying the three stages, comparisons could be made to determinate the percentage of removal, the result was presented in the third of treatment with a time of 30 minutes at 30V, a great removal of 55.99% was achieved in relation to the Environment Quality Standards of floors.

Keywords: Electrorremediation, lead, agricultural land, time and removal.

## I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento industrial y con ello el aprovechamiento de los recursos naturales es y serán la base fundamental para el desarrollo de la humanidad. Sin embargo, como consecuencia a ello los procesos industriales empleados para transformar la materia prima han traído diversas consecuencias negativas para el medio ambiente, contaminando el agua, suelo y aire. Los grandes volúmenes de desechos, gases y efluentes, acompañados con el déficit de técnicas de manejo, han dado origen a una gran cantidad de sitios afectados por la contaminación.

Gracias al interés y avance de investigaciones hoy en día existen muchas tecnologías que contribuyen a la remediación de suelos afectados por metales pesados, obteniendo resultados muy favorables. Una de estas tecnologías se plantea en el presente trabajo de investigación, se trata de la electrorremediación aplicada a suelos agrícolas contaminados con plomo como consecuencia del agua de riego, las cuales se encuentran contaminadas por ser aguas residuales provenientes de fábricas, uso doméstico, granjas y minería.

Como finalidad para la elaboración de esta tesis se planteó la electrorremediación en el Perú como tecnología aplicable ya que tiene resultados positivos que van a favor del medio ambiente reduciendo considerablemente el plomo presente en los suelos, considerando que el Perú es un país que se caracteriza por poseer un alto índice de producción agrícola, además teniendo en cuenta que el plomo es un metal pesado y tóxico, perjudicial para el suelo y más aún al involucrarse en la cadena trófica ocasionando problemas de salud pública que en algunos casos ocasionan enfermedades mortales.

La **problemática** de este trabajo de investigación se presentó por causa del plomo en los suelos, el plomo es un metal, flexible, inelástico y que presenta resistencia al ácido sulfúrico y clorhídrico, a la vez tiene la viabilidad de formar diversas sales, óxidos y compuestos organolépticos. Este metal se funde con facilidad, se puede encontrar plomo con facilidad en el camino ya sea en huertos de fruta, zonas industriales, etc. Los yacimientos más resaltantes están en EEUU, Canadá, Perú, México, Australia, Italia y España. La contaminación del suelo por plomo se da proveniente del aire y vertederos que contiene desechos de mineral de plomo que provienen de las industrias. En la salud de las personas el plomo ocasiona una enfermedad llamada saturnismo, que consiste en la acumulación excesiva de dicho metal en nuestro cuerpo, en las plantas limita la síntesis clorofílica lo cual perjudica su crecimiento y como consecuencia

se introduce a la cadena alimenticia; finalmente en los animales puede ocasionar hasta la muerte (ALKEMI, 2017).

En nuestro país, específicamente en la ciudad de la Oroya se ha visto gravemente afectada por la presencia de cobre y plomo proveniente de la actividad minera (Doe Run), las aguas del río Mantaro fueron afectadas por las plantas de fundición de cobre y plomo, dichas aguas sirven para la irrigación de grandes hectáreas de cultivo en el Valle Mantaro. Uno de los principales contaminantes fue el plomo, el cual es depositado en forma de material particulado muy fino en la faz del suelo y se adiciona a los ciclos de los ecosistemas (Yarasca, 2015).

La agricultura es una actividad que se lleva a cabo en las zonas periféricas de la capital, al norte, este y sur, para ser más específicos en los distritos de Carabayllo, Puente Piedra, Pachacamac, Lurín, Lurigancho, Chosica y Ate, es considerada la principal actividad económica que tiene la mayoría de los hogares conformados por migrantes pertenecientes a las zonas más pobres del Perú y constituye una fuente de sustento para las personas de escasos recursos económicos de Lima (FAO, 2015).

La muestra del suelo agrícola de Roma Baja (RB) fue llevada al laboratorio para su análisis inicial respectivo, donde se determinó la concentración de plomo y otros parámetros. Según los Estándares de Calidad (ECA) para suelos menciona que el valor máximo es hasta 70 mg/kg de plomo sin embargo la muestra ya mencionada presentó una concentración de 99.7 mg/kg, donde efectivamente sobrepasó los valores del ECA, este resultado se obtuvo por el método de Espectrofotometría, también se determinó: el pH del suelo, el cual fue de 7.23, la Conductividad Eléctrica (CE) fue de 475 uS/cm, con un porcentaje de humedad de 9.29%, y con el Potencial Redox (Eh) de -50.5 mV. Teniendo el resultado de los análisis, se pudo constatar que el suelo agrícola de Roma Baja, Carabayllo está contaminado por Plomo.

Para realizar este trabajo de investigación se tuvo que considerar **antecedentes** nacionales e internacionales con el objetivo de poder conocer la funcionalidad de la técnica de electroremediación, sus elementos que forman parte y la diferencia que presenta a comparación de otras técnicas, también conocer las ventajas y desventajas. La técnica de fitorremediación según CHAVEZ, L.(2014) en su trabajo de investigación titulado “Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo”, tesis (para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental), Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima , Perú, nos hace mención

sobre la utilización de dos plantas con potencial de acumulación de plomo, como es el caso de la *Nicotiana* y *Calamagrostis*, cuyas plantas son nativas de la región Junín – Perú, siendo la más óptima en Fitorremediación la *Nicotiana* ya que acumuló plomo en su biomasa aérea (96.5 ppm), también extrajo la mayor cantidad de plomo (0.3 mg) y finalmente obtuvo un resultado de 0.39 como factor de translocación asimismo para VELASQUEZ J. (2017) en su artículo científico titulado “Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación” hace mención los casos de derrame de hidrocarburo y muestra las ventajas y desventajas de la fitorremediación, el autor considera a esta tecnología como una estrategia biotecnológica para recuperar dichos suelos con derrame, esto se realizó por medio de un recopilado de información, revisión bibliográfica de artículos científicos de 15 años a nivel mundial, del mismo modo la técnica de fitorremediación fue aplicada por CASTABLANCO J. (2018) en su artículo científico “Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de Cacao” el objetivo de esta investigación fue de señalar la identificación de los diferentes técnicos de remediación de los suelos contaminados por metales pesados (plomo y cadmio), la remoción de estos metales es importante para la producción del cacao ya que este producto tiene la capacidad de absorber los metales en sus semillas y hojas, y es un problema de salud para las personas que lo consumen.

MOGHADAM, M; MOAYEDI, H; SADEGHI, M; HAJIANNIA, A (2016) en trabajo de investigación titulado “A review of combinations of electrokinetic applications” llegan a la conclusión que el suelo que tiene baja permeabilidad y con composición compleja de arcilla presentan deficiencias ya que no existe tecnología que puede lograr los mejores resultados sin embargo la técnica de la electrorremediación añadiendo otros métodos de remediación y geosintéticos puede ser considerado como el método más efectivo. En el trabajo se presenta a la tecnología híbrida que permite la interacción del contaminante, microorganismo y nutrientes tengan interacción en el suelo, esta técnica llamada Electrocínética potenciada, los cuales son aplicable a dichos contaminantes orgánicos como el hidrocarburo, alcanos, hidrocarburos halogenados y fenoles lo cuales fueron eliminados por la combinación de la Electrocínética y la biorremediación. En el caso del uso de la Electrokinetic Geosynthetic (EKG) que actúa como barreras impermeables que evitan la filtración, la separación, refuerzo y drenaje, esta Geosynthetic tiene la acción de un electrodo ánodo, con una fuerza hasta el 200% lo que anteriormente la membrana no contaba.

En el caso de remoción de contaminantes utilizando la electrorremediación STRECHES, C; COCARTA, D; ISTRATA, I. (2018) informan en el trabajo de investigación que lleva el título de “Descontaminación de suelos contaminados con petróleo usando la técnica electroquímica: grado de remediación y consumo de energía” (Decontamination of soils contaminated by oil using the electrochemical technique: Degree of remediation and energy consumption) Reino Unido, Londres. En esta investigación se pudo comprobar que la eficiencia del tratamiento de forma muy independiente de la cantidad de suelo que se utilizó para tratarlo, se presentó una mayor eficiencia en la exposición a más tiempo de tratamiento. En el caso de este estudio se menciona que las propiedades apropiadas de un suelo orgánico contaminado son importantes como el caso del pH, humedad, conductividad, ORP, el tratamiento electroquímico es factible y conlleva a un resultado exitoso. El objetivo del trabajo fue de evaluar el comportamiento del contaminante (hidrocarburo) aplicando la electrorremediación, los autores realizaron la experimentación a nivel laboratorio donde tomaron las siguientes consideraciones como: las dimensiones de las celdas (250 x 200x100 mm), aplicación de 0.25V y 0.5A, electrodos de acero inoxidable y como solvente al agua. Obtuvo una remoción de hidrocarburos de petróleo de 20%, con un tiempo de 7 días de aplicación de electrorremediación.

Los casos de descontaminación de suelos utilizando esta técnica son mencionados por los autores DUARTE, I; BUSTOS, E; TEUTLI, M. (2014) en el artículo científico titulado “Compost Aided Electrokinetic Remediation of an Hydrocarbon Polluted Soil”, México; nos mencionan el tratamiento de un suelo contaminado con hidrocarburo, el cual fue sometido al tratamiento de electrocinética con aplicación de composta, dicho suelo tenía 18700 mg kg<sup>-1</sup> y se redujo a 7410 mg kg<sup>-1</sup> al ser electrorremediado, además la autora YBAÑEZ, R. (2018) en su trabajo de investigación presentó el caso de remoción de Plomo y Cadmio en lodos residuales proveniente del PTAR Ventanilla-Lima, utilizando la remediación Electrocinética.

Esta técnica de remoción tiene ventajas sobre su aplicación como así lo menciona MARTINEZ, M; SOTO, C. (2017), en su artículo titulado “Remoción de hidrocarburos de petróleo de un suelos de baja permeabilidad: biorremediación y electrorremediación”, de la Revista Mexicana de Ingeniería Química, (México), donde nos manifiesta que la técnica de electrorremediación presenta tres principales ventajas: la alta eficiencia en el tratamiento de suelos de escasa permeabilidad hidráulica; el poco tiempo que demanda en la remediación de los suelos; y el bajo costo que presenta en comparación a las demás tecnologías tradicionales de suelos, asimismo lo

confirma RISCO (2016) lo cual menciona que resultan ser muy eficaces (electrorremediación) ya sea para eliminar contaminantes muy solubles en agua o para aquellos contaminantes que tengan menor solubilidad, es el caso del Oxifluorfen.

Las experimentaciones a escalas, están basadas a trabajos previos donde DE LA TORRE, A; GUEVARA, A (2014) en su artículo científico titulado “Diseño a Escalas laboratorio y piloto de un sistema de remediación electrocinética de suelos contaminados con metales pesados” (Quito, Ecuador), nos mencionó las medidas de las celdas 24 cm de largo, 8 cm de ancho y 10 cm de altura con la capacidad 2000cm<sup>3</sup>, y las medidas de los electrodos (0.5 cm de espesor), 8cm x 10 cm. Para la remoción de los metales pesados en relave minero, se trabajó con 50 toneladas de dicho material ALVARADO, J. (2015) en su artículo “Electrorremediación, una técnica innovadora para la limpieza de suelos contaminados”, de la revista EPISTEMUS (México), manifestó que existen muchos casos de electroremediación realizados a menor escala, es decir a nivel de laboratorio o reactores, en ambos es factible controlar las condiciones del proceso. Por ejemplo, el caso que se llevó a cabo en Reino Unido donde se realizó una descontaminación de un suelo que estaba contaminado con cadmio y arsénico, para ello se empleó la técnica de electroremediación en complemento con la técnica de Fitorremediación.

Una de las partes más importante de la electroremediación es el electrolito, que llega a ser la solución para humectar la muestra a trabajar y someterle a tratamiento, en el caso de ZANG, Y; CHU, G; PENG, D; XIAO, J; MENG, Q; BAUMGARTEL, M; XU, B; TAO HAO (2018), en su obra “Improved electrokinetic remediation of rice soils contaminated with lead and cadmium by electrolyte composed of sodium chloride and citric acid”, Netherlands, Dordrech, en su trabajo se llegó a contaminar tierra de arrozal el cual recibió un tratamiento electrocinético teniendo como electrolito el ácido Cítrico más el cloruro de sodio los cuales se plantearon que son menos riesgosos que los ácidos inorgánicos como es el caso de HCl, HNO<sub>3</sub> y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Lo cual concluyeron que por el efecto de sinergia del cloruro de sodio más el ácido cítrico se obtuvo un mecanismo más eficaz para la remoción del plomo y cadmio en la tierra del arrozal, asimismo en el caso de ZHANG, T; ZOU, H; JI, M; LI, X; TANG, T (2014) en el artículo científico titulado “Improved electrokinetic remediation of contaminated soil with lead complexing agents and anodes that approach”. En esta investigación se concluye que la remoción del plomo en suelos contaminados sin el agregar el EDTA los resultados fueron negativos debido a la poca solubilidad del agua, sin embargo, cuando se agregó el EDTA se pudo tener resultados

favorables en la remoción del plomo debido a que se dio la migración de dicho metal y más aún cuando se utilizó el ácido acético EDTA en el experimento; de la misma manera PEREZ, E. (2017) en su obra “Disminución de la concentración de plomo en el suelo con la técnica de electroremediación en una celda construida en el laboratorio”, Universidad Autónoma Agraria, menciona que los mejores resultados se dieron en los ensayos E y H, con un tiempo de remediación de 24 horas, siendo el agua destilada y el ácido acético como solventes de igual manera MORENO, A. (2017) en su investigación “Disminución de la concentración de Cadmio en el suelo con la técnica de electroremediación en una celda construida en el laboratorio, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Moreno” utilizó los mismos electrolitos con efectividad en sus ensayos E, F y H, sin embargo ORTIZ, K; VARGAS, E. (2015) en su trabajo de investigación titulado “Remoción del cobre de relave mediante el método electroquímico a nivel laboratorio” determinó que el electrolito con mejor concentración fue el ácido láctico de 0.5 Molar el cual dio mayor movimiento de electromigración del cobre, con estas condiciones se pudo remover el 66.67 % de dicho metal, del mismo modo ESCOBAR, A; OCAS, S (2016) en el trabajo de investigación mencionan que esta técnica es efectiva para la remoción de metales pesados que se encuentran en diversos tipos de suelo. Esta técnica fue efectiva para la remoción del plomo ya que tuvo una concentración inicial de 1825.21 mg/kg, siendo la final de 988.35 mg/kg, una eficacia del 45.85% de remoción. Se concluyó que las concentraciones del electrolito en este caso ácido acético y la intensidad de la corriente eléctrica son proporcionales, los cuales fueron determinantes para la remoción del plomo de los relaves minero de Paredones, así mismo se redujo la toxicidad del relave minero de Paradones

Para el caso del electrodo el autor RODRIGUEZ, J.; GOMEZ, C. (2016) en su tesis doctoral titulado “Tratamiento de suelos contaminados con plomo mediante técnicas electrocinéticas selectivas”, Universidad de Málaga, España, menciona que optó por utilizar los electrodos de platino o acero inoxidable.

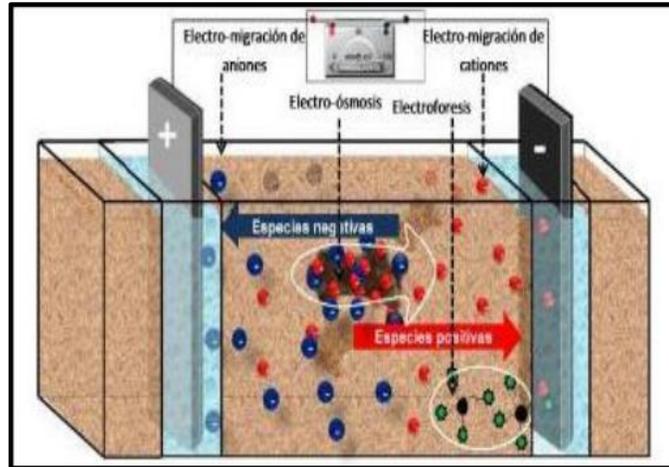
La fuente de energía es importante ya que mediante a este equipos se puede obtener la medida de voltio y amperaje que se va a aplicar a la muestra de suelo, es por eso que encontramos antecedentes sobre este tema, como es el caso del autor ABDEL-FATTAH, M (2014) en su obra “Recovery of saline-sodic soils through electrochemical processes: a case study of Sahl El-Tina Plain, Egypt” menciona la efectividad del experimento en recuperación de suelos salinos-sódicos, con la eficiencia del tratamiento, lo cual está en el grado de voltaje utilizado, como es

en orden:  $9\text{ V} > 3\text{ V}$ , lo cual presentó una reducción de la conductividad eléctrica (EC) del suelo, el pH y la salinidad del suelo, además BAZTAN, M; PUCCI, O; PUCCI, G (2015) en el artículo de investigación titulado “Electrorremediación de un suelo con una contaminación antigua de hidrocarburo” (Comodoro, Argentina), lo cual menciona como conclusión que se utilizó una diferencia de potencia de  $0,5\text{ V cm}^{-1}$ , lo cual conservó la cantidad de microorganismo, sin embargo PEREZ, E. (2017) cuyo método fue llevado a cabo por la investigación sobre los impactos de una empresa MetMex, empresa metalúrgica, por lo que tomó una muestra de 15 ejemplares donde realizó 10 experimentaciones variando los voltajes y electrolitos, la autora menciona que la concentración inicial del plomo era de 1000 ppm y disminuyó a 657.97ppm, logrando una reducción de 34.21% en el tiempo ya mencionado y MORENO, A. (2017) utilizaron sus respectivos ensayos un potencial de 20 y 40 V con un amperaje de 2 y 2, y el tiempo de remediación fue de 24 horas.

### **Electrorremediación**

**Concepto de electroremediación** se trata de un proceso en el cual interviene la participación de un campo eléctrico en una matriz porosa que normalmente tiene la presencia de agua o algún tipo de electrolito, por ejemplo, los ácidos orgánicos los cuales resultan ser óptimos para que se realice el proceso (García, Vargas y Reyes, 2011, p. 1).

Para que exista una diferencia de potencial es necesario en la presencia de dos electrodos (ánodo y cátodo), estos son instalados en las perforaciones que se realizan en el suelo, normalmente son humectados con algún electrolito para que se produzca una mejor conducción de corriente eléctrica. El electrolito lo que permite es el transporte del contaminante hacia los pozos donde será extraído (De la Rosa, Teutli y Ramírez, 2007, p. 3).

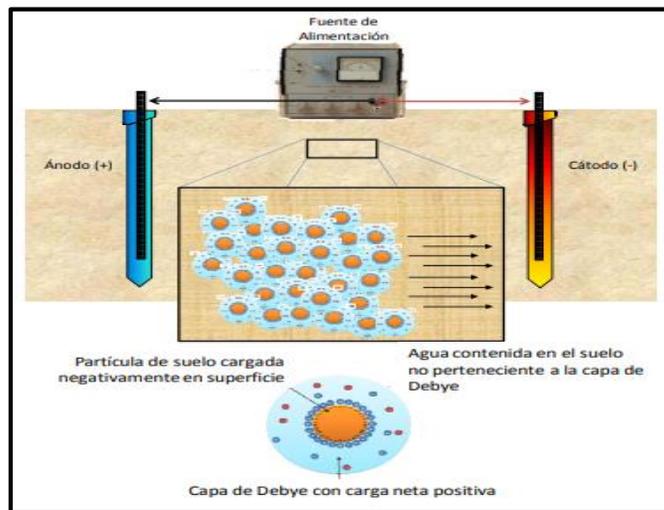


Fuente: Conacyt, 2019.

**Figura 1.** Representación de una celda electroquímica para desarrollar el tratamiento

Dentro de los **mecanismos de remoción** por medio de la aplicación de un campo eléctrico se producen tres tipos de fenómenos electrocinéticos siendo la electroósmosis, la electromigración y la electroforesis.

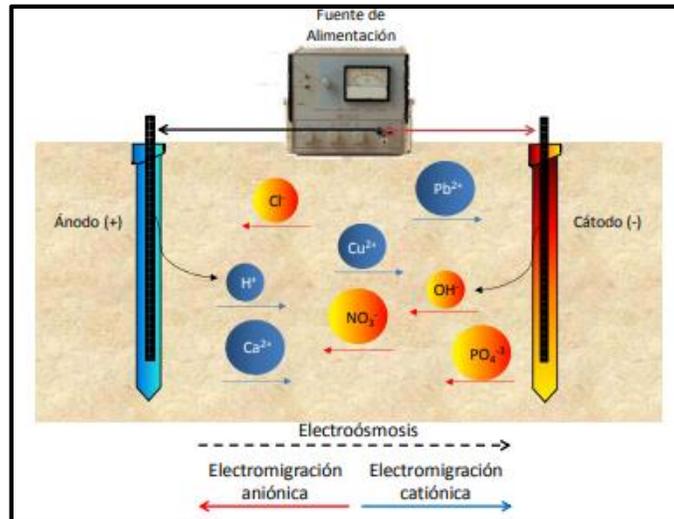
La **electroósmosis** consiste en el movimiento del líquido con respecto a las superficies sólidas como consecuencia de la intervención del campo eléctrico.



Fuente: López, 2013.

**Figura 2.** Representación del proceso de electroósmosis en la técnica de biorremediación en suelos.

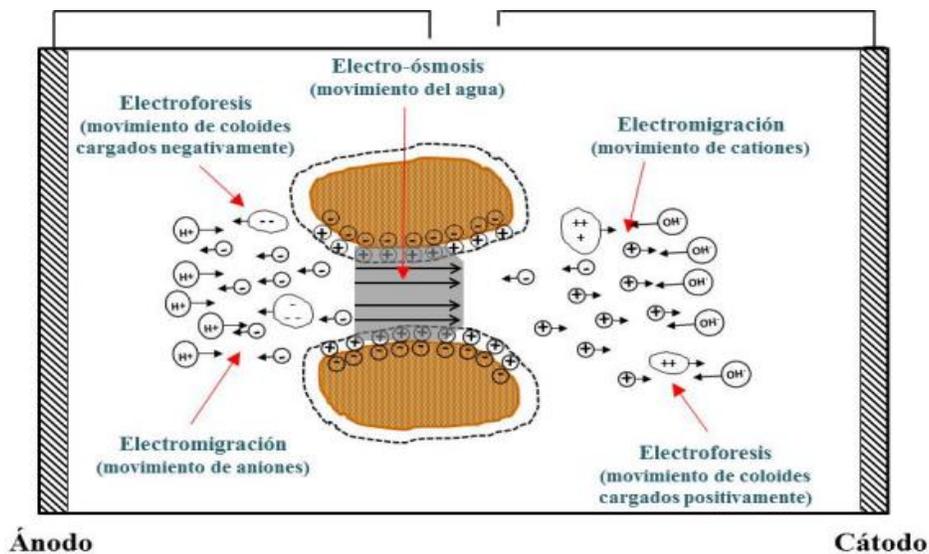
La **electromigración** también conocida como migración iónica, es el principal proceso de la remediación, consiste en la actividad de las especies iónicas que se encuentran disueltas, las cuales se encuentran en el fluido del poro, la actividad de estas se da debido a la influencia del campo eléctrico.



Fuente: López, 2013.

**Figura 3.** Representación del proceso de electromigración en la técnica de electroremediación

Y por último esta la **electroforesis**, la cual comprende al movimiento de partículas coloidales cargadas en suspensión en un líquido, su importancia es mucho menor a las otras dos mencionadas en este proceso.



Fuente: Villén, 2016.

**Figura 4.** Mecanismo de transporte en el proceso de Electroremediación

Los procesos de transformación de los contaminantes van a depender en gran medida de sus componentes químicos y de las características del medio ambiente. Sin embargo, la mayor parte de los contaminantes tienden a transformarse en especies solubles. En el proceso de la electroremediación las condiciones de un ambiente ácido en el ánodo facilitan la desorción y disolución de metal, muchos iones se presentan como cationes o también como complejos aniónicos, pero el entorno producido al cátodo puede evitar la solubilización de los contaminantes que presenten iones metálicos. Para facilitar la solubilización y el traslado de contaminantes es necesario muchas veces emplear soluciones para obtener una mejor solubilización y traslado de contaminantes metálicos. Uno de ellos es el ácido acético, el cual es usado en el cátodo para neutralizar los hidroxilos producidos por la disminución electrolítica del agua (García, Vargas y Reyes, 2011, p. 2).

Los **Factores que influyen en la técnica de electroremediación** son los fisicoquímicos que interviene en el proceso de la electroremediación son muy importantes para el transporte de los contaminantes lo cual es muy importante para una óptima remediación de suelos, dentro de estas están: el potencial de hidrógeno, contenido de agua, conductividad eléctrica, potencial zeta, naturaleza y química del suelo, naturaleza del contaminante y los electrodos.

Los cambios en el **Potencial de Hidrógeno (pH)** producen alteraciones de los metales con los demás elementos que por naturaleza están en el suelo, el pH el encargado de normalizar el movimiento de los compuestos contaminantes en el proceso de electroremediación. Por otra parte, en el proceso la hidrólisis del agua va a ocasionar una separación que produce iones hidrógenos ( $H^+$ ) en el ánodo e iones hidroxilo ( $OH^-$ ) en el cátodo, obteniendo como resultado una liberación de oxígeno e hidrógeno. Dicha disociación produce un pH ácido próximo al ánodo y alcalino próximo al cátodo. Ello como consecuencia del mayor movimiento del ión  $H^+$  sobre el ión  $OH^-$ , el frente ácido se dirige con más rapidez y por consiguiente el flujo electrosmótico se direcciona especialmente hacia el cátodo. En tal sentido de que existan metales adsorbidos, estos son solubilizados por acción del frente ácido y conducidos en al cátodo. En el caso que no se aplique un enjuague en los pozos, el frente alcalino ingresará a una menor rapidez que el frente ácido y en cuanto los dos frentes se encuentren, se producirá un panorama donde el pH cambia violentamente (zona de transición), obteniendo un ambiente con

un significativo cambio de pH que va desde 2 a 13 en menos de 0.5 cm, en dicho panorama se va a producir una acumulación de los contaminantes ocasionado gracias a que usualmente precipitan como hidróxidos metálicos. Al cabo de un tiempo se apreciará que el suelo se ha empezado a acidificar, con excepción de la zona cercana al cátodo. Dichas excepciones se dan cuando: el suelo se presenta demasiado alcalino, cuando existe la presencia de sustancias amortiguadoras tal es el caso de los fosfatos y carbonatos y finalmente cuando los electrodos están fabricados con sustancias amortiguadoras. Para que una remoción sea exitosa es necesario que se mantenga al contaminante de origen inorgánico en solución previniendo así los cambios bruscos de pH (Yauri, 2014, p. 55).

El **Contenido de agua** es el movimiento del electrolito, el cuál es producido por la electroósmosis y ello a su vez va a en función a la cantidad de agua; por consiguiente, el nivel de saturación del suelo es una característica importante para que se realice la técnica de electrocinética. Un reparto desigual de electrolito en el suelo contaminado se aprecia durante la electrorremediación, en vista que el electrolito se desplaza en dirección a unos de los electrodos, aumentando la cantidad de humedad de este y reduciéndola en el otro electrodo. Dicha reducción está ligada con la formación de poros de presión negativos, cambios de pH y por consiguiente en la intensidad del campo eléctrico, el mismo que se obtiene en tasas de flujo electroosmótico irregulares. No obstante, es importante que prevalezca una cantidad de humedad apropiada adicionando el electrolito a la misma tasa electroosmótica donde es drenada el sistema. Por el contrario de haber poco contenido de agua se generará una sequedad en el suelo, como consecuencia del calentamiento o a la presencia de reacciones químicas de desprendimiento de energía (Reacciones exotérmicas) (Shapiro y Probstein, 1993).

La **conductividad eléctrica (CE)** puede variar de acuerdo al tipo de suelo, su concepto se basa fundamentalmente en la capacidad que tiene un ambiente físico para facilitar el acceso a la corriente eléctrica. Para medir la capacidad de conductividad eléctrica que tiene un suelo se emplea un conductímetro y es necesario que este se encuentre en condición acuosa. La medida que resulta son los siemens (S) que no es más que la inversión de la inversión de la resistencia a la conducción por centímetro de medio físico, la cual está ligada con la concentración de iones capaces de transportar la corriente eléctrica en un ambiente acuoso ( $1\mu\text{S}/\text{cm} \approx 0.52$  a  $0.64$  ppm de sales). En la técnica de electrorremediación las variaciones de pH en el suelo afectan de manera global la conductividad eléctrica del medio por esta razón se crean perfiles de voltaje.

En muchos casos en suelos contaminados por industrias, la conductividad eléctrica de este suelo aumenta con el transcurso del tiempo, esto es gracias al ingreso de los frentes ácidos y alcalinos, así como la solubilización de las sustancias iónicas ya sea ocasionado por los cambios de pH o por aumento de temperatura (Shapiro y Probstein, 1993).

El **Potencial zeta ( $\zeta$ )** es considerado el grado de la estabilidad de una partícula e indica el grado de potencial que se puede ingresar en su capa de iones circundante para poder perturbarla. Entonces se entiende que el potencial zeta es la energía potencial eléctrica que hay entre el alejamiento de las capas que encierran a la partícula (Sandoval, Montellano y Sánchez). En los suelos en su mayoría el potencial zeta es negativo esto gracias a que frecuentemente la carga presente en la superficie del suelo es negativa.

La **Naturaleza y química del suelo** relacionado a la electroremediación ha dado muy buenos resultados en ensayos realizados en laboratorio con muestras de suelo de granulometría muy fina (limo y arcilla) y que contengan menor grado de permeabilidad. Esta técnica puede ser viable en suelos arenosos, pero teniendo en cuenta que contenga un horizonte impermeable debajo del suelo que contenga el contaminante, esta capa impermeable va a evitar que el electrolito drene a estratos más profundo. La cinética de remoción del contaminante va a depender de ciertas características que tenga el suelo: la facultad de adsorción, interacción iónica y de minoración de pH; cuando se trata de suelos arcillosos y limosos, ellos presentan superior superficie de contacto, gracias a ello los metales y sustancias iónicas son adsorbidas con mayor factibilidad en sus superficies, lo cual complica su remoción. Cuando tratamos con suelos arcillosos estos contienen una carga superficial negativa y debido a la atracción iónica van a retener a la mayor cantidad de contaminantes metálicos. Un suelo que es sometido a la técnica de electroremediación puede presentar variaciones en su granulometría, cantidad de materia orgánica, contenido de sales solubles, su conductividad eléctrica. La mayoría de suelos electroremediación son acidificados y bajan sus contenidos de sales inorgánicas como nitratos, fosfatos y sulfatos, debido a ello es probable que se reduzca o anule su fertilidad. Debido a esta razón es recomendable devolverle su fertilidad aplicando una técnica de fertilización, adiconamiento de materia orgánica o compostaje (Shapiro y Probstein, 1993).

La efectividad de la técnica va a depender muy fuertemente de la **naturaleza química del contaminante**, los contaminantes se encuentran como sólidos precipitados, sólidos disueltos,

adsorbidos a los mismos suelos o en la materia orgánica. Dichas especies son estudiadas por extracción secuencial o lixiviación selectivas, comprobándose que las formas intercambiables se desplazan de una manera más rápida que las que se encuentran absorbidas en la materia orgánica o en la parte residual (Shapiro y Probststein, 1993).

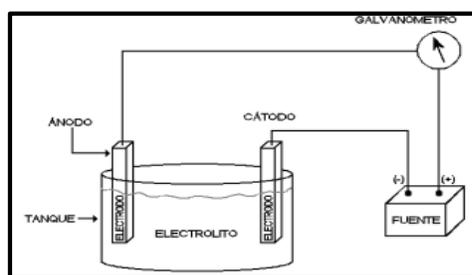
Con el objetivo de evitar involucrar algún contaminante en el sistema, para la **fabricación de los electrodos** por lo habitual se emplean materiales inertes tal es el caso del titanio con envoltura electrocatalítica de varios óxidos, no obstante, también es factible el uso de materiales reactivos tal es el caso del hierro y el grafito. Los electrodos deben presentar una estructura porosa para que se produzca un buen contacto con los electrolitos y se produzca la liberación de gases ocasionados por la electrólisis del agua. Ciertas características de los electrodos como el tamaño, la forma, arreglo y distancia van a afectar la capacidad de remoción de los contaminantes, existen electrodos monodimensionales y bidimensionales, para su aplicación a gran escala no han determinado estrategias universales. Para su aplicación la más grande limitación es el costo, su fabricación y robustez, aunque los trabajos de investigación antes realizados a la técnica de remediación a mayor escala son determinantes en la selección y factibilidad del tipo de materiales que se utilizarán (Shapiro y Probststein, 1993).

Las ventajas del acero inoxidable es que puede ser empleado en ambientes corrosivos ello gracias a que posee una capa muy delgada de óxido de Cromo, en una cantidad superior a 10% a 30%, el Cr gracias a que es un metal reactivo y al hacer reacción con el oxígeno del aire le dan esta propiedad que lo protege de cualquier medio agresivo. Su función primordial está en que puede ser sometido a la corrosión y resistir sin ninguna interferencia en alguna sustancia acuosa, otra ventaja es que fueron diseñados para soportar temperaturas muy elevadas (oxidación) y temperaturas extremadamente bajas (aplicaciones criogénicas) (Laufgang, 2003). La utilización del electrodo de acero es más conveniente ya que no se oxida al sumergirlos, lo cual no interfiere en la realización de la electrorremediación (Escobar y Ocas, 2016).

El **proceso del electrolisis** se define como la ruptura de los enlaces de una molécula de agua para dar paso a la formación de moléculas de hidrogeno y oxígeno, todo ello debido a la presencia de una corriente eléctrica que es abastecida al sistema. Los encargados de llevar la corriente eléctrica al sistema son los electrodos (ánodo con carga positiva y cátodo con carga negativa) los cuales van conectado a una fuente de alimentación externa y a la vez se encuentran

inmersos en una disolución. Cada uno de los electrodos se caracteriza por atraer iones con carga opuesta, lo cual nos da como resultados que el ánodo atraerá iones negativos llamados “aniones” y el cátodo iones positivos llamados “cationes”. Este fenómeno se conoce como la reacción de óxido-reducción. (Mejias, 2014)

Su principal mecanismo se basa en la conversión de energía eléctrica en energía química, donde se emplea el paso de la corriente eléctrica para producir una reacción química. La magnitud de este proceso nos ayudará a determinar la intensidad de corriente que se produce entre el ánodo y el cátodo en la celda electroquímica, de esta manera poder evaluar la velocidad de oxidación que se produce en el ánodo y la reducción que se reproduce en el cátodo. (López, 2013).



Fuente: Diaz del Castillo, 2008.

*Figura 5. Proceso del electrólisis.*

Dentro del proceso de la electrólisis vamos a encontrar a **la Ley de Faraday, el electrolito, las celdas electrolíticas y los electrodos**, los cuales son importantes para el desarrollo de la técnica.

La **Ley de Faraday**, el cual representa la base fundamental para la electrólisis. Esta nos va a permitir determinar la cantidad de metal que se ha corroído o depositado sobre otro, durante el proceso de electrólisis en relación al tiempo empleado, para expresarlo mejor se recurre a los siguientes enunciados: “la cantidad de cualquier elemento que se libera durante el proceso de electrólisis ya sea en el cátodo o el ánodo, es directamente proporcional a la cantidad de corriente eléctrica que pasa por la solución”.

El **electrolito** es aquella sustancia que al momento de disolverse en agua da paso a la formación de iones (aniones y cationes), permitiendo el paso de la corriente eléctrica, producen una reacción química llamada electrólisis siendo estos iones los responsables de la conducción eléctrica. Los electrolitos pueden clasificarse en débiles o fuertes según su estado de ionización o disociación en un medio acuoso.

Electrolitos fuertes: son aquellas sustancias que, al disolverse en agua, ocasiona la formación de iones con una reacción de disolución que es totalmente irreversible.

Electrolito débil: sustancias que tras disolverse en agua ocasiona reacciones de tipo reversible.

Las **Celdas electrolíticas** son aquellas que necesitan de energía eléctrica para su funcionamiento, por lo tanto, emplean una fuente externa que le suministre de energía eléctrica. En las celdas electrolíticas es necesario la aplicación de un potencial para que se realice la reacción por lo tanto el potencial de la pila es negativo.

Para los fines en ingeniería no existe material que presente las propiedades deseadas, sin embargo, existen diversos tipos de materiales para su elaboración entre ellos tenemos madera, vidrio, plástico, etc.

En muchos casos se considera las propiedades mecánicas como las óptimas, pero debido a su resistencia química no es calificado como un material adecuado, e estos casos lo que se realiza es un forro o revestimiento adecuado.

Los **Electrodos** son conductores eléctricos empleados para realizar contacto con materiales no metálicos de un circuito, por ejemplo, un semiconductor, un electrolito, etc.

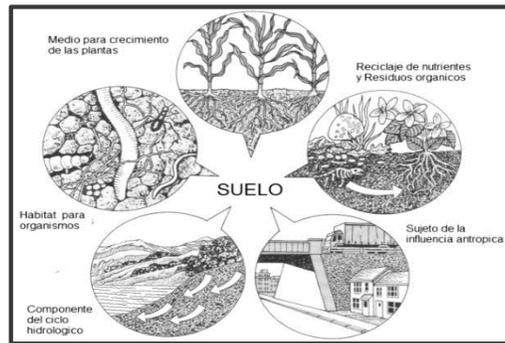
Su funcionamiento se basa en una superficie donde se producen reacciones de oxidación y reducción. Por lo que toda reacción que se produzca entre la interfase metal – solución de un metal que tenga contacto con un electrolito no es posible medirla de manera absoluta.

### **Remoción de plomo en suelos agrícolas**

Según la FAO **el suelo** es el medio natural que sirve como base para el desarrollo de las plantas, de igual manera lo considera como el conjunto de capas el cual está constituido por materiales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. El suelo es un sustrato indispensable para el crecimiento de las plantas, el cual adquiere, mantiene y desprende agua, también se le considera como un filtro natural efectivo (Larson y Pierce, 1991). El suelo es considerado como un sistema estructurado, heterogéneo, discontinuo y un recurso irremplazable, formado por la acumulación de la materia orgánica, minerales además los nutrientes que tienen la capacidad para ser nichos de organismos y microorganismos (Atlas y Bartha 2002). La función del suelo comprende en

descomponer la materia orgánica simultáneamente recicla los nutrientes para para su beneficio (Soto, 2006).

El suelo tiene como característica que es dinámico, complejo, abierto, vivo y frágil por lo cual debe ser asegurado su estabilidad y su productividad a largo plazo (Porta et al., 1994).



Fuente: Dubbin, 2001.

*Figura 6. Cinco funciones del suelo*

Según Budhu (2007) menciona sobre la formación del suelo, el cual es formado por procesos físicos, químicos y biológicos de la roca madre. Los tamaños de las partículas que no cambian su composición son productos de los cambios físicos dados por el ciclo de hielo-deshielo y otros cambios atmosféricos y en caso del cambio químico se da por el distanciamiento de las partículas minerales de las rocas.

La composición del suelo está dada por minerales, materia orgánica, pequeños organismos, plantas, animales, aire y agua. se visualiza como una capa delgada cuya formación se produjo gracias a un proceso lento, que va desde muchos siglos atrás, empezando con la desintegración de las rocas que se encontraban en la superficie, esta desintegración se debió a diversos factores algunos de ellos por acción del agua, cambio de temperatura y por la acción del viento. Todos los animales y plantas que viven sobre el suelo al morir son descompuestos por los microorganismos, y pasan a transformarse en materia orgánica y son integrados al suelo mejorando su fertilidad. Todos los minerales son provenientes de la roca originaria, que se va descomponiendo lentamente. También en algunos casos son transportados por el viento y el agua desde algunas zonas erosionadas.

Lo que origina la materia orgánica es la descomposición de los animales y plantas muertos. La materia orgánica tiene la capacidad de almacenar gran cantidad de minerales y agua.

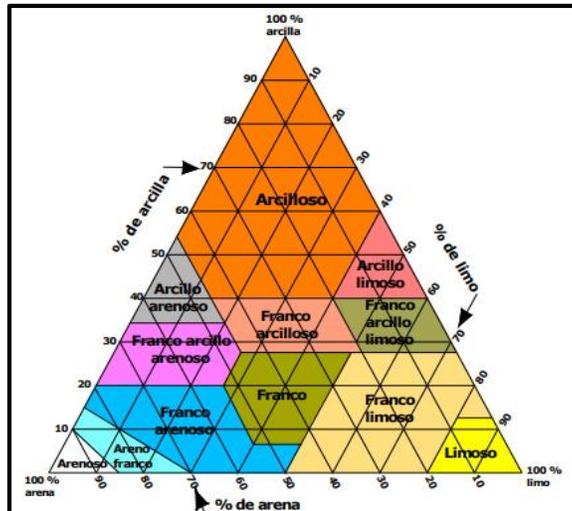
Los tipos de microorganismos o pequeños organismos son las siguientes: tenemos lo que se encargan de despedazar la materia orgánica por ejemplo los insectos y lombrices y aquellos que descomponen produciendo los nutrientes como son el caso de los hongos y bacterias. Su hábitat es el suelo y es el principal responsable para que la materia orgánica sea nuevamente aprovechada por las plantas, además de ayudar en el proceso de pulverización de las rocas. Las lombrices e insectos forman poros que dan paso a la aireación, la acumulación del agua y el crecimiento de las raíces.

Los poros son ocupados por el agua y el aire. Estos poros son pequeños espacios que se encuentran entre las partículas del suelo producidos principalmente por las irregularidades de su forma y tamaño que presentan, además su tamaño y distribución juegan un papel muy importante. Cuando se presentan una excesiva cantidad de poros pequeños se ocasiona suelos compactos, pesados, húmedos y su capacidad para crecimiento de las raíces es muy baja. Por el contrario, un exceso de poros grandes los suelos presentan características sueltas que tienden a secarse rápidamente. En conclusión, cuando más pequeño resulta ser el poro, existe mayor dificultad para la planta a la hora de absorber el agua.

Las **Propiedades físicas del suelo** son “Para la evaluación de la calidad del suelo es muy importante tener en cuenta sus características físicas además de ser necesarias, ya que no es fácil de mejorar” (Singer y Ewing, 2000). Dentro de estas características físicas están **la textura, color, densidad, porosidad, humedad granulometría, consistencia, conductividad hidráulica, capacidad de campo y punto permanente de marchitez.**

La **Textura** hace mención a la granulometría de las partículas del suelo dado en un volumen del suelo y es descrito como una clase textural del suelo (FAO, 2009). Con esta propiedad se puede estimar la capacidad de producción, su comportamiento mecánico, la capacidad de campo, la capacidad de infiltración, la densidad y la capacidad de usos contrastándola con pendiente y la profundidad (Morales et al., 2011).

Según Lafitte (1994), afirma que se puede determinar la textura por medio del moldeado con tierra humedecida o mediante el tacto.



Fuente: UNAM, 2018

Figura 7. Triángulo Textural de USDA

En el **color del suelo** podemos ver reflejadas su composición, su composición presente y pasada de óxido-reducción de dicho suelo. Se ve determinados habitualmente por el revestimiento del material particulado muy fino de materia orgánica húmica (color oscuro), óxidos de fierro cuyo color característico es el amarillo, pardo, naranjado y rojo, los óxidos de manganeso de color negro y entre otros, o también puede derivar del color de la roca madre (FAO, 2009, p,34).

Se considera a la **densidad** como el indicador principal de la estructura del suelo y su nivel de captación (Zavaleta, 1992). Existen dos clases de acuerdo a la densidad de los componentes sólidos y la del conjunto del suelo el cual depende de la materia orgánica e inorgánica.

La **porosidad** está determinada por la textura, la actividad orgánica y la estructura del suelo, también es muy importante para realizar el manejo de suelos por representar la totalidad de la porosidad. Dentro de los espacios de los poros se pueden encontrar los macroporos y microporos. Los macroporos no son buenos reteniendo el agua, sin embargo, desarrollan su desempeño como drenaje y también permite el ingreso del aire al suelo, en estos espacios las raíces pueden desarrollarse. Los microporos son aquellos que cumplen la función de retener el agua, lo cual abastece a la planta. Los suelos coloidales son los que tienen mayor porosidad (Villanueva, 2013).

La **humedad** del suelo es una propiedad donde está presente el agua que ha sido retenida en ella, por el cual gracias a esto se puede encontrar un suelo fértil, con las sales minerales presentes. Según Jaramillo (2002) hace mención que esta propiedad es la más específica por

estar relacionada a la cantidad de materia orgánica presente, por la textura, por su composición mineral y también por el aporte de las lluvias o el riego en ella.

La **granulometría** permite determinar la cantidad de granos que se encuentran en el suelo, todo esto es en función a su tamaño. Para poder determinar esta característica se hace uso del procedimiento del tamizado, con el objeto de determinar las arenas y gravas presentes y para la sedimentación de las partículas más finas, como es el caso de las arcillas y limo.

Partícula	Tamaño
Arcillas	< 0.002 mm
Limos	0.002-0.06 mm
Arenas	0.06-2 mm
Gravas	2-60 mm
Cantos rodados	60-250 mm
Bloques	>250mm

Fuente: Geoxnet, 2016.

*Figura 8. Escala Granulométrica*

La propiedad de la **consistencia** hace referencia al nivel de resistencia que presenta el suelo a la ruptura. Según esta característica el suelo puede ser de tipo suelto, suave, duro, muy duro, etc. Esta característica va a determinar el tipo de materiales o instrumentos que se usarán en la labranza, ya que a mayor resistividad que esté presente mayor será la cantidad de energía que se empleara para su labranza.

La **conductividad hidráulica** es una propiedad física del suelo cuyo proceso es la infiltración del agua desde la superficie hasta el interior del suelo.

La **capacidad de campo** es la cantidad de agua que se encuentra en el suelo saturado de manera constante después de haber estado 48 horas en drenaje. El drenaje se produce debido a que el agua traspasa los poros superiores a 0,05 mm de diámetro; no obstante, existe la posibilidad que la capacidad de campo pueda deberse a poros que van desde 0,03 y 1 mm de diámetro.

TEXTURA	CAPACIDAD DE CAMPO
Arenoso	5-15
Franco arenoso	10-20
Franco	15-30
Franco arcilloso	25-35
Arcilloso	30-70

Fuente: Geotecnia, 2010

*Figura 9. Capacidad de Campo*

La conceptualización de capacidad de campo solo se efectúa para aquellos suelos que presentan una excelente estructura cuando el drenaje del excedente de agua se produce muy rápido; si fuera el caso que el suelo que tiene una estructura muy pobre, el drenaje continuará por mucho más tiempo, por lo general este tipo de suelos con pobre estructura tiene rara vez una Capacidad de Campo bien definida. El método para determinar la capacidad de campo es saturando el suelo y realizando una medida a su contenido de agua después de haber pasado 48 horas de drenaje. Cuando es el caso que el suelo presenta una capacidad de campo este tiene una consistencia muy húmeda que puede ser percibida por nuestras manos al tener contacto con él (FAO).

$$cc = \frac{(Psh - Pss)}{Pss}$$

*Psh = Peso del suelo húmedo.*  
*Pss = Peso del suelo seco*

*Figura 10. Fórmula para hallar la Capacidad de Campo*

El **Punto permanente de marchitez** nos hace referencia al contenido de agua que se encuentra en el suelo, teniendo en cuenta que este ha perdido todo este elemento como consecuencia de un cultivo, entonces, el contenido de agua que se encuentra en este no puede ser utilizado por el mismo. Debido a estos eventos el cultivo se encuentra en un estado de marchitez (marchito) y por lo tanto es incapaz de resistir cuando se le acondiciona en un ambiente que se encuentre saturado de agua. Cuando tocamos este suele sentirse un tanto seco o casi escasamente húmedo.

TEXTURA	PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE
Arenoso	3-8
Franco arenoso	6-12
Franco	8-17
Franco arcilloso	13-20
Arcilloso	17-40

Fuente: Geotecnia, 2010

*Figura 11. Valores Normales de PMP*

El punto de marchitez permanente es la cantidad total de agua que se encuentra en el suelo cuando una planta de encuentra marchita y no vuelve a revivir por más que se agregue más contenido de agua al suelo (Hernández, 2017).

Dentro de **las propiedades químicas del suelo** están considerados la **materia orgánica, el potencial de hidrógeno, la capacidad de intercambio catiónico, el potencial redox, y la conductividad eléctrica.**

La **materia orgánica** está compuesta por los residuos vegetales y animales cuyo estado está en descomposición, dentro de esta característica se puede encontrar el humus, la parte más representativa. Está formada por la descomposición de las sustancias vegetales o animales que son añadidas al suelo. Esta propiedad está relacionada directamente con la calidad de suelo para uso agrícola (Quiroga et all, 1991).

Según la FAO (2009) menciona que la actividad del **potencial de hidrógeno** está en los iones hidrógeno en la solución del suelo. Los nutrientes minerales son afectados por el pH como también a los procesos del suelo. Esta propiedad es considerada como una de las más importantes, ya que presenta influencia en las propiedades físicas y químicas del suelo, por su grado de acidez o la alcalinidad que presenta (Jaramillo, 2002).

La **capacidad de intercambio catiónico** es muy importante para el suelo ya que contribuye a la formación nutricional de la planta. Esta propiedad es equivalente a la carga negativa del suelo y puede absorber y almacenar cationes en el suelo, cuando estos son sometidos a esta retención, los cationes no pueden ser evacuados del suelo, como por ejemplo por la lixiviación, con el resultado favorable de no perder nutrientes para las plantas, los cationes absorbidos pueden llegar a ser intercambiados por otros en la solución del suelo (Jaramillo, 2002, p.321).

Son reacciones de reducción y oxidación denominadas **reacción redox**, las cuales hay sustancias que ganan y pierden electrones, esto se da por la transferencia de electrones. Existen tres tipos de reacciones, la primera es la **reacción redox intermolecular**, esta reacción se caracteriza por tener la presencia de ambos elementos (oxida y reduce), los cuales son diferentes, ambos elementos que encuentran en sustancias químicas diferentes, la segunda es la **reacción redox intramolecular**: En esta reacción ambos elementos de reducción y oxidación se encuentran en la misma sustancia química y por último la **reacción redox de dismutación o desproporción**, es aquel elemento que se oxida y también se reduce.

La **Conductividad eléctrica (CE)** este tipo de característica del suelo es medida para obtener la concentración de sales que son solubles y que se encuentran en el suelo, cuando el valor es alto hay mayor movimiento de la corriente a través del suelo. Según Nuñez (1992) menciona la importancia de medir la salinidad del suelo, para lo cual se utiliza un equipo especializado llamado “conductímetro” para determinar la conductividad eléctrica de un estrato de un suelo, para eso se utiliza 100 gr de suelo y 100 ml de agua destilada (1:1). Para Font (1984) afirma que se puede utilizar agua de baja salinidad para el agua de riego en la agricultura, ya que el agua con alto grado de salina puede volver salino al suelo, lo cual solo se puede utilizar en casos muy especiales. La unidad de la Conductividad Eléctrica (CE) son dS/m (decisiems por metro).

Dentro de la **clasificación del suelo** podemos una diversidad de suelos determinados por la textura, composición como es el caso del **suelo limoso, arcillosas, margosas y arenosas**.

En el **suelo limoso** se puede reconocer por la falta de propiedades coloidales formadores de estructura, formando suelos que se compactan así dificultando la aireación y la circulación del agua (Gisbert et al). Este suelo es producto de la sedimentación por el viento, los podemos hallar junto a los lechos del río y son fértiles, estos forman bolas que se desintegran rápido.

Asimismo, está el **suelo arcilloso** que por su elevada capacidad intercambio catiónico retienen agua, presenta una baja permeabilidad baja a no ser que estén bien estructuradas y formen sistemas de grietas. Está formado por silicato de aluminio, es pegajoso cuando está mojado. Las partículas de este tipo de suelo son diminutas de menos de 0.005 milímetros de diámetro. Debido a su alta impermeabilidad forma estanques de agua de lluvia lo cual se debe preparar un sistema de drenaje, al secarse el agua se forma grietas y quedan muy duros y compactos.

Las características del **suelo margoso** son positivas ya que mantiene suficiente humedad y a la vez permite la permeabilidad hacia las capas inferiores, debido a la composición que tiene como es el caso de la arcilla, limo, arena y humus, tiene un color oscuro poco compacto y ligero.

Por el contrario, el **suelo arenoso** es opuesto al suelo arcilloso, ya que no cuentan con plasticidad y facilidad de trabajo, tiene partículas de gran tamaño lo que permite la aireación, cuando se presenta lluvia intensa se produce lavado de los elementos minerales que se encuentran en el suelo.

La **contaminación agrícola** es un tipo de contaminación producida por el hombre y por otros tipos de contaminantes. El corte de los árboles para extender áreas de terrenos ha sido un problema de la agricultura, también las nuevas tecnologías como los pesticidas, fertilizantes que son utilizados para mejorar los cultivos conllevan problemas ambientales permanentes. Entre las causas está presente **los plaguicidas y fertilizantes, el agua contaminada, erosión del suelo, las plagas y los metales.**

Para poder combatir las plagas desde los tiempos antiguos y las nuevas especies invasoras, se ha desarrollado por medio de la tecnología química nuevas sustancias (**plaguicidas y fertilizantes**) que controlan las plagas cuando son rociadas, el problema es que estas sustancias no desaparecen por completo, estas por medio de la infiltración llegan a contaminar la planta, el suelo y el agua y estos últimos a la vez se suministra desde el suelo se contaminan.

El **agua contaminada** para riego que se emplea en las tierras agrícolas es un peligro por tener compuestos orgánicos y metales pesados, este problema se da por la eliminación de dichos elementos en industriales y agrícolas que son depurados en los cauces del agua, y es por eso que tiene impacto sobre el suelo y las plantas.

El suelo está compuesto por varias capas, se tiene que mencionar que la capa superficial sirve solo para la agricultura o el pastoreo sin embargo producto de las inadecuadas prácticas agrícolas conlleva que el suelo pierda sus características innatas, dejándola erosionada, cada año se pierde la fertilidad lo cual es un problema de **la erosión del suelo y sedimentación.**

La llegada de nuevos cultivos, desplazando a las especies nativas tiene como impacto negativo la formación de nuevas **plagas y malezas**, las especies invasoras son resistentes a los plaguicidas así mismo altera el ecosistema permanentemente ya que destruye la vegetación local y también la vida silvestre.

Según Dufus (2002) afirma que **los metales pesados** tienen propiedades metálicas, se incluyen los metales de transición, algunos semimetales, lantánidos y actínidos. Estos metales pesados son llamados así por tener una densidad superior a 5g/cm<sup>3</sup>, en caso de estudios medioambientales se le considera a los elementos metálicos o metaloides de mayor o menor densidad, los cuales son comúnmente asociados en la contaminación. El Fe, Mn, Zn, B, Co, As, Mo, Cu, Ni, V son esenciales en pequeñas cantidades para algunos microorganismos, sin embargo, en altas concentraciones pueden volverse nocivos, mientras que el Cd, Hg o el Pb son altamente tóxicos y no desempeñan función biológica.

Según Pineda (2004) hace mención que las aportaciones naturales más importantes de los metales pesados son provenientes de las actividades geológicas naturales como es el caso de los volcanes y cerros, sin embargo, en la actividad antropogénica está la minería la cual es la actividad que más genera metales pesados.

Según García y Dorronsoro (2005) afirma que los metales pesados también llamados oligoelementos, son beneficiosos para los campos de cultivos ya que actúan como microelementos en pequeñas proporciones, los cuales son importantes en su ciclo de vida como es el caso de Zn, B, Co, Cu, Mo, Mn, Fe, Se, Ni, y el metaloide. Los metales pesados como el Sn, Tl, Cd, Pb, Hg son altamente tóxicos ya que tienden a acumularse en los organismos vivos.

El Ni, Co y Fe están en la corteza terrestre de forma similar en proporciones. El Níquel aparece en la capa superficial formando quelatos solubles ligado a las formas orgánicas (Corinne *et al*, 2006).

El Níquel y el Zinc son esenciales para las plantas ya que el Ni contribuye al metabolismo, aun cuando ellas necesitan menos de 0.001 mg kg<sup>-1</sup> de peso molar y el zinc es el nutriente que contribuye en su desarrollo (Mahler, 2003).

Cuando las concentraciones de los metales pesados rebasan los límites máximos permisibles, estos tienen efecto negativo sobre la evolución y desarrollo de las plantas, también un disturbio funcional sobre la población microbiana del suelo el cual provoca disminución de tal, se denomina como “polución de suelos” (Martín, 2000).

Las aguas que son productos de las minas, de industrias, municipales y filtración de presas de jales, estas son responsables por la contaminación de suelos por metales pesados ya que estas aguas son irrigadas sobre ellos (cultivos) (Wang *et all.*, 1992).

Según Mahler (2003) afirma que el pH, potencial redox, composición iónica de la solución de los suelos, capacidad de intercambio aniónico y, catiónico, presencia de carbonatos, materia orgánica y textura todos estos factores hacen que los metales pesados se movilicen. La acidificación es producto de la contaminación de metales pesados en los suelos ya que estos elementos producen cambios en la temperatura, humedad y en el intercambio catiónico.

Los metales pesados en el suelo pueden seguir cuatro vías, la primera quedan retenidos en el suelo (disueltos u ocupando sitios de intercambio), la segunda vía menciona que son absorbidos sobre constituyentes inorgánicos en el suelo, además la tercera vía esta asociados con la materia orgánica y la última vía menciona a lo precipitados como sólidos puros o mixtos.

Se tiene que mencionar que los metales pesados pueden incorporarse a la cadena trófica, pueden volatilizarse hacia la atmósfera y pueden ser movilizados a las napas freáticas y a las aguas superficiales (García y Dorronsoro, 2005).

El impacto de **los metales pesados y su relación con la agricultura**, este metal tiende a **bioacumularse** en los diferentes cultivos. En el suelo se puede encontrar concentraciones de los metales pesados, estos pueden estar por ser componentes del suelo o también por la actividad del hombre.

Angelova et al. (2004) mencionan la peligrosidad de los metales pesados debido a que tienden a bioacumularse en los diferentes cultivos. En el suelo se puede encontrar concentraciones de los metales pesados, estos pueden estar por ser componentes del suelo o también por la actividad del hombre. Hace más de 100 años en el valle de Mezquital se empezó a utilizar el agua residual para el riego de los suelos agrícolas, a consecuencia de ese acto se produjo la acumulación de metales pesados como es el caso del Cd, Ni, Pb en el agua, suelo y plantas (Prieto et al., 2007).

Según Mandy et al. (2007) menciona que los reportes de estudios anteriores fueron sometidos a análisis donde los suelos fueron regados con aguas residuales y como este tenía efecto positivo para el crecimiento vegetal y la biodisponibilidad de Ni, Cd y Pb con la intención de conocer la cantidad de cada metal que pueda extraer los cultivos y cuáles serían sus consecuencias.

El riego con agua residual es beneficioso para las características fisicoquímicas de los suelos y estados de nutrientes de suelo, sin embargo, el problema son los metales pesados ya que estos se acumulan como es el caso del zinc, plomo y níquel en suelo de tipo arcilloso arenoso sin embargo en el caso del cobre y cadmio se encuentran en el suelo arenoso (Malla *et al.*, 2007).

El **plomo** cuyo símbolo es Pb, tiene las siguientes características: es un metal gris, el cual es maleable y blando, está presente en la corteza terrestre. Es un catión divalente que se fusiona a los grupos sulfhídrico de las proteínas (Herbert, 2004). El metal Pb es pesado, cristalino y de un sabor ligeramente dulce, puede ser soluble en agua, tiene como característica que es muy tóxico, desde tiempos antiguos ha sido un elemento utilizado en la industria de la pintura, tintes, soldaduras, como estabilizantes y en el caso de la fabricación de la gasolina, y especialmente en la alfarería (Helena. et al., 1998). Para este tipo de metal su punto de fusión es de 327°C y el punto de ebullición es de 1749°C, presenta una alta densidad de 11.3 g/cm<sup>3</sup>.

La concentración promedio de plomo en suelos superficiales a nivel mundial tiene un valor de 32 mg/kg y va entre los valores de 10 y 67 mg/kg. (Kabata y Pendias, 2001). El Pb ocupa el quinto lugar en el mundo después del Fe, Cu, Al y Zn en producción industrial de metales. Aproximadamente el 50% de la producción de plomo en el mundo es ocasionado para la fabricación de baterías de almacenamiento. Entre otras aplicaciones la encontramos en la fabricación de soldaduras, rodamientos, cubiertas de cable, fontanería, etc. (Destejar et al., 2014)

Según Chaney y Ryan (1994) considera al plomo como un contaminante altamente tóxico para el hombre, atribuye a la actividad antropogénica como la responsable de este elemento que se encuentra en el medio ambiente. El plomo está incluido en la normativa peruana, en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el suelo, con el D.S N° 011-2017-MINAN, esta normativa decreta que para suelos de uso agrícola el parámetro para dicho metal es de 70 mg/kg y tiene que ser analizado por el método de ensayo de la EPA 3050, 3051.

Para determinar si el suelo está contaminado con plomo, se tiene que realizar la muestra de identificación, por el cual se procede a que cumplir los protocolos establecidos por la Guía de Muestreo del Ministerio de Ambiente del 2014. Un suelo agrícola es aquel suelo que está destinado para la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados, también es considerado este suelo para el desarrollo de la ganadería, dentro de la normativa peruana está ligada al cumplimiento de los Estándares de Calidad de Suelo, 70 mg/kg de plomo siendo este su valor máximo.

*Tabla 1. Estándares de Calidad Ambiental para Suelos*

ECAs del suelo		
Parámetro en mg/kg	Uso del suelo	Método de ensayo
	Suelo agrícola	
Plomo	70	EPA 3050 / EPA3051

**El efecto del Plomo en la salud humana** es dado por el grado de inhalación y la ingestión son las únicas vías que existen tiene el mismo efecto en la salud. Al acumularse el plomo en los órganos del cuerpo se produce una intoxicación que nos puede conducir a la muerte. Los órganos que se ven perjudicados por el contacto con plomo son el tracto, los riñones y en sistema nervioso central gastrointestinal. En el caso de niños el contacto con Pb puede producir deficiencia intelectual, hiperactividad y un déficit en la capacidad mental, la edad de mayor riesgo son los niños menores a seis años de edad. En el caso de los adultos los síntomas son náuseas, insomnio, anorexia y debilidad en las articulaciones (Diez et al, 2009). Es uno de los metales más tóxicos y sus efectos han sido más revisados en comparación con los demás metales traza. Sus efectos tienen mayor grado de gravedad en los riñones, sistema nervioso, glóbulos rojos y cerebro (Baldwin & Marshall, 1999).

El plomo particularmente no tiene ninguna función importante en nuestro organismo, es ingerido mediante absorción en los alimentos, el aire o el agua. Debido a que es un elemento muy peligroso, puesto que puede acumularse en nuestro organismo y posicionarse en las cadenas alimenticias (Baldwin & Marshall, 1999).

La principal fuente de exposición de plomo en nuestro cuerpo se da mediante la ingestión que se produce de manera directa ya sea por tierra o polvo contaminado. Diversos estudios han confirmado que el plomo no se acumula con mayor facilidad en las partes de fructificación de los cultivos de vegetales y frutas. Su presencia se da con mayor frecuencia en los vegetales de hoja (espinaca, lechuga) y en los cultivos de maíz (papa, yuca, etc.), para mayor seguridad se recomienda emplear cultivos de huertas con concentración de este meta (Pb) inferiores a 300 ppm. El nivel de peligrosidad de envenenamiento por Pb se intensifica a raíz que el plomo aumenta sus concentraciones en el suelo (Rosen, 2002).

Los metales pesados tienen un **impacto ambiental** negativo ya que son especies no degradables, una vez que estén liberados en el medio ambiente son distribuidos por el agua, suelo y aire, por medio de la oxidación va cambiando su estado o se va incorporando a los seres vivos.

El riesgo asociado a la contaminación de suelos se valora en tres factores: La concentración del contaminante en el suelo, la exposición a la contaminación y la toxicidad. La concentración de Pb en los suelos no contaminados es menor a  $50 \text{ mg kg}^{-1}$ , y en caso de los suelos que sí presentan contaminación la concentración es mayor a  $200 \text{ mg kg}^{-1}$  sin embargo en lugares que se presentan industrias las cuales emplean este metal pueden llegar a niveles de contaminación superiores de  $60000 \text{ mg kg}^{-1}$  (O., 1979).

Para la realización del presente trabajo de investigación se plantearon los siguientes problemas de investigación:

### **Problema General**

¿Cuál es la capacidad de remoción de plomo mediante la electroremediación en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo, 2019?

### **Problemas Específicos**

- ¿Cuáles serán las características físicas de los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo antes y después de la Electroremediación?
- ¿Cuáles serán las características químicas de los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo antes y después de la Electroremediación?
- ¿Cuál será el tiempo óptimo que se empleará en la Electroremediación para remover plomo en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo?
- ¿Cuál será el amperaje y voltaje que se empleará en la Electroremediación para remover plomo en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo?

El presente trabajo de investigación presenta la **Justificación del estudio**, las cuales se consideraron por la conveniencia, la relevancia social, económica y ambiental

En la justificación por la conveniencia, se utilizó la metodología de electroremediación con el fin de reducir la cantidad de contaminantes como es el caso de los metales pesados ya que estos afectan la fertilidad del suelo y también a los productos cultivados. La electroremediación tiene la alta capacidad para descontaminar suelos ya sea de compuestos orgánicos e inorgánicos en diversas concentraciones (De la Rosa, Teutli y Ramírez, 2007).

En la **relevancia social**, las personas que se dedican a la agricultura serán las beneficiadas debido a que esta técnica les permitirá reducir los contaminantes producidos por los fertilizantes como es el caso del plomo, cadmio y cobre.

Asimismo, en la **relevancia económica**, la técnica de electroremediación presenta tres principales ventajas: la alta eficiencia en el tratamiento de suelos de escasa permeabilidad hidráulica; el poco tiempo que demanda en la remediación de los suelos; y el bajo costo que presenta en comparación a las demás tecnologías tradicionales de suelos (Martínez y Soto, 2017).

Del mismo modo en la **relevancia ambiental**, el riesgo asociado a la contaminación de suelos se valora en tres factores, como la concentración del contaminante en el suelo, la exposición a la contaminación y la toxicidad (O., 1979). Es importante aplicar esta técnica ya que remueve las concentraciones de los metales pesados beneficiando al hombre y al medio ambiente.

Seguidamente se propuso las siguientes hipótesis de investigación:

### **Hipótesis General**

La técnica de electroremediación logra remover significativamente la concentración de plomo en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo.

### **Hipótesis Específicas**

- Las características físicas en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo, se encuentran alteradas debido a la alta concentración de plomo.
- Las características químicas del suelo agrícola de Roma Baja, Carabayllo, se encuentra alterada debido a la alta concentración de plomo.

- La remoción de plomo en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo va a depender del tiempo que se aplica en la técnica de electroremediación.
- La remoción de plomo en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo, va a depender de la intensidad de corriente (Amper) y la intensidad de Voltaje (V) que se aplica en la técnica de electroremediación.

Finalmente se estableció los siguientes objetivos de investigación:

### **Objetivos**

#### **Objetivo General**

Determinar la capacidad de remoción de plomo en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo.

#### **Objetivos específicos**

- Determinar las características físicas de los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo antes y después de la electroremediación.
- Determinar las características químicas de los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo antes y después de la electroremediación.
- Determinar el tiempo óptimo que se empleará en la electroremediación para remover plomo en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo.
- Determinar el Amperaje y Voltaje que se empleará en la electroremediación para remover plomo en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo.

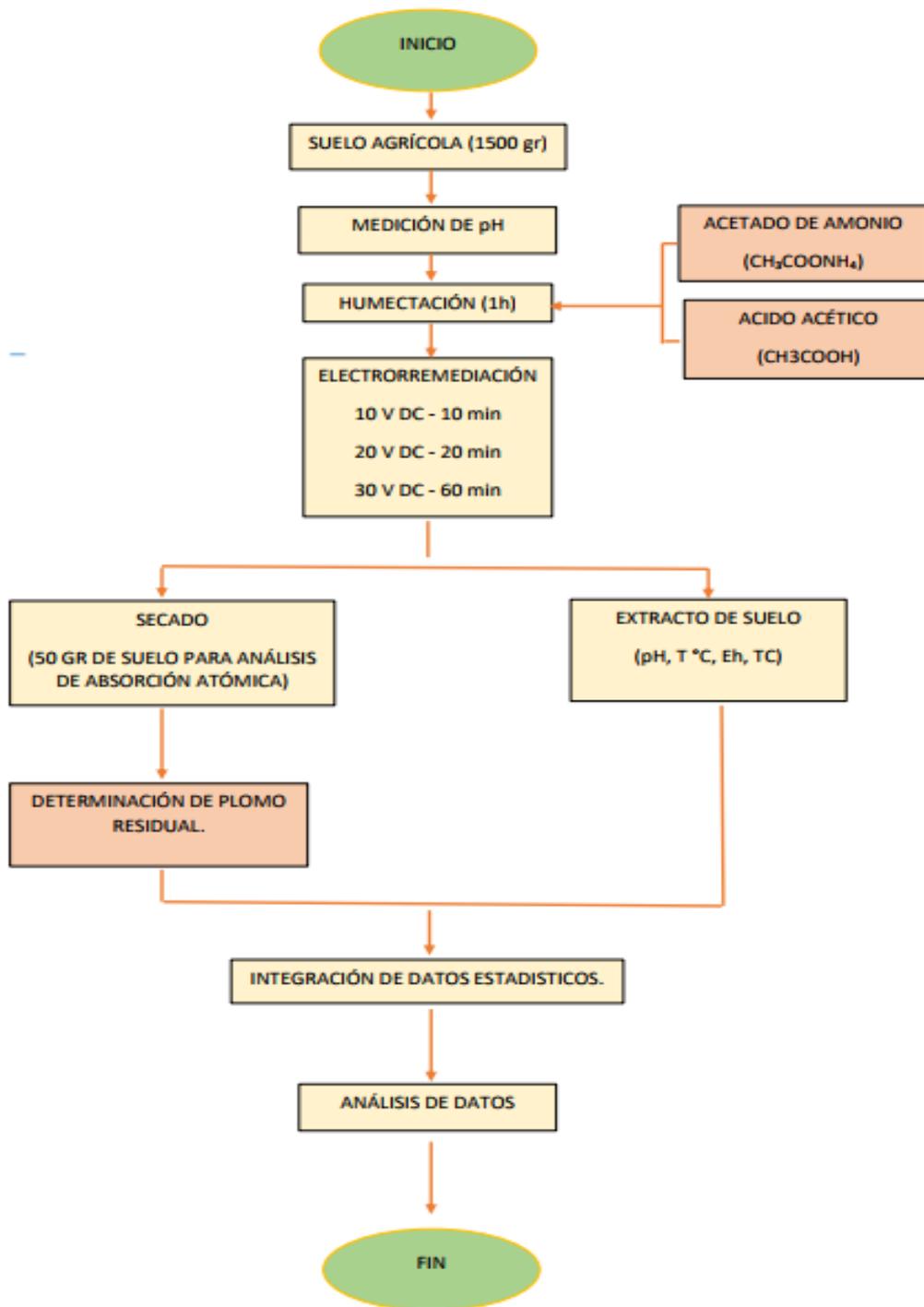
## II. MÉTODO

### 2.1 Tipo y diseño de Investigación

Esta investigación es de tipo aplicada, cuenta con un enfoque cuantitativo. Hernández (2014) menciona que: “Un enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio, cada etapa precede a la siguiente y no se puede brincar o eludir pasos. De acuerdo a las problemáticas de la investigación se determinarán las hipótesis y variables, además se establecerá el tipo de diseño que medirán las variables, después se realizarán sus mediciones correspondientes de acuerdo al método estadístico que se emplea y por último las conclusiones deberán ser desarrolladas de acuerdo a la hipótesis que se planteó” (p.4).

Esta investigación es de nivel explicativo, ya que se manipularon dos variables, independiente y dependiente. Hernández (2014) refiere: “Se dará razón a la ocurrencia de un fenómeno y las condiciones que se manifiestan, en síntesis, pretenden establecer las causas de los fenómenos que se estudian” (p.96).

Esta investigación es de diseño Experimental, de tipo pre experimental y subtipo pre y postprueba. Según Hernández (2014) sintetiza: “Se va a manipular de forma intencional las variables independientes, es decir, los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula” (p.130).



Fuente: Elaboración propia

**Figura 12.** Diagrama de Proceso del Tratamiento de Electrorremediación

## 2.2 Cuadro de Operacionalización de variables

REMOCIÓN DE PLOMO MEDIANTE LA ELECTORREMEDIACIÓN EN LOS SUELOS DE LA ZONA AGRÍCOLA ROMA BAJA, CARABAYLLO 2019						
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES						
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDADES	
I N D E P E N D I E N T E	Electrorremediación	Es un proceso en el cual interviene la participación de un campo eléctrico en una matriz porosa que normalmente tiene la presencia de agua o algún tipo de electrolito, por ejemplo, los ácidos orgánicos los cuales resultan ser óptimos para que se realice el proceso (García, Vargas y reyes, 2011, p. 1).	La Electrorremediación será medida teniendo en cuenta las propiedades físicas y químicas del suelo	Características físicas	Porosidad	%
					Densidad Real	g/cm <sup>3</sup>
					Densidad Aparente	g/cm <sup>3</sup>
					Estructura	%
					Textura	%
					Humedad	%
					Capacidad de campo	%
					Punto de Marchitez	%
				Características químicas	Conductividad Hidráulica	Cm/seg
					Materia orgánica	m <sup>3</sup>
					Conductividad eléctrica	uS/cm
					Potencial Redox	mV
					CIC	meq/100g
					pH	Ácido-Base
D E P E N D I E N T E	Remoción de plomo de suelos agrícolas.	En cuanto los metales ingresan al cuerpo receptor ya sea acuosos o terrestre estos se ven involucrados en las interacciones químicas ya sea el caso de la complejación, oxido-reducción y precipitación. De esta manera, sus características de movilidad, toxicidad y biodisponibilidad se ven modificadas debido a la conversión interna, en consecuencia, sus efectos tóxicos y su facilidad de remoción cambian significativamente con las especies químicas del ion, el nivel de acidez-basicidad y componentes orgánicos e inorgánicos que constituyen el medio. (Du-Laing et al., 2007)	La remoción de plomo en los suelos de la zona agrícola de Roma Baja, Carabayllo, será medida teniendo en cuenta las características fisico-químicas, el tiempo de tratamiento y la conductividad eléctrica.	Características físicas	Humedad.	%
					Temperatura	°C
				Características químicas	Concentración de plomo.	mg/kg
					pH	Ácido-base
					Conductividad eléctrica	mS/cm
					Potencial Redox	mV
				Tiempo de tratamiento	Minutos	min
				Intensidad de corriente	Amperios	A
				Diferencia de Potencial	Voltio	V

Figura 13. Cuadro de Operacionalización de Variables

### 2.3 Población, muestra y muestreo

**Población:** La población del suelo de la zona agrícola Roma Baja se caracterizó por tener una textura arenosa. Nuestra área de estudio se encuentra ubicada Urb. Roma Baja, Carabayllo. Para medir el área de la población se empleó un GPS, el cual nos dio el resultado de 10203 m<sup>2</sup>.

Unidad de análisis: Los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo. .



*Figura 14. Suelo de zona Agrícola Roma Baja, Carabayllo.*

#### **Muestra**

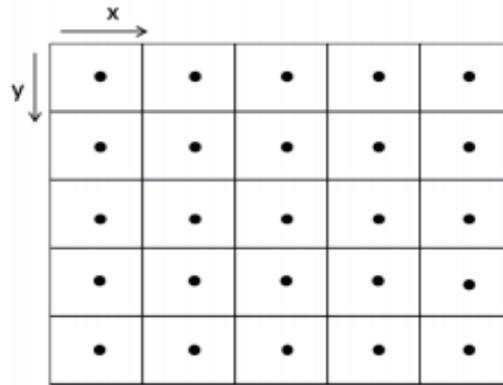
Para obtener la muestra representativa se tuvo que realizar el método del cuarteo. La muestra que se utilizó para la aplicación de la electroremediación fue de 50 kilos, los cuales fueron acondicionados en las 27 celdas, dando el resultado de 1.5 kg por cada celda.

#### **Muestreo**

En el presente trabajo de investigación se realizó un muestreo aleatorio simple como se especifica en la Guía para el Muestreo de Suelos (MINAM, 2014) se utilizó la técnica de rejilla, se realizaron huecos de 30 cm de profundidad en cada punto (figura 9), se extrajo 1kg de muestra de suelo agrícola, las cuales fueron colocadas en bolsas de polietileno respectivamente rotuladas para luego ser analizadas en el laboratorio.



**Figura 15.** Suelo de zona agrícola Roma Baja

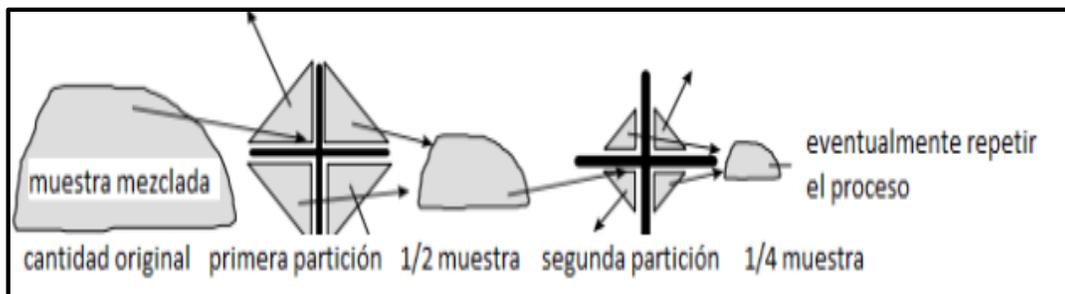


**Figura 16.** Rejilla Regular

Se procedió a realizar un compósito donde utilizamos una manta de plástico para verter y homogenizar la muestra, después se aplicó el método de cuarteo (Fig. 10), posteriormente se obtuvo la muestra representativa para el desarrollo de la investigación, cuya muestra fue codificada y llevada al laboratorio.

Usos del suelo	Profundidad del muestreo (capas)
Suelo Agrícola	0 – 30 cm (1)
	30 – 60 cm
Suelo Residencial/Parques	0 – 10 cm (2)
	10 – 30 cm (3)
Suelo Comercial/Industrial/Extractivo	0 – 10 cm (2)

**Figura 17.** Profundidad del Muestreo según el uso de suelo



**Figura 18.** Partición de Muestras (MINAM, 2014)

Para la realización de la muestra del suelo de la zona agrícola de Roma Baja, se seleccionó un cuadrante en el área de la población, esto se llevó a cabo mediante el uso del equipo del GPS, el cuál con instrumento en mano se empezó a bordear el perímetro del cuadrante, dando un resultado de 911.32 m<sup>2</sup> (área de estudio).

Para esta metodología nos basamos en la Resolución Ministerial 085-2014 MINAM, empleando la técnica de la cuadrícula, el cual obtuvimos 30 puntos de muestreo, siendo las dimensiones de 30 cm de profundidad y 10 cm de diámetro. Asimismo, dentro del área de estudio en la parte central del terreno, se identificó un punto para la realización de una calicata, siendo las dimensiones: 1 m de profundidad por 1 m de largo por 1 m de ancho.



*Figura 19. Ubicación de los Puntos de Muestreo*

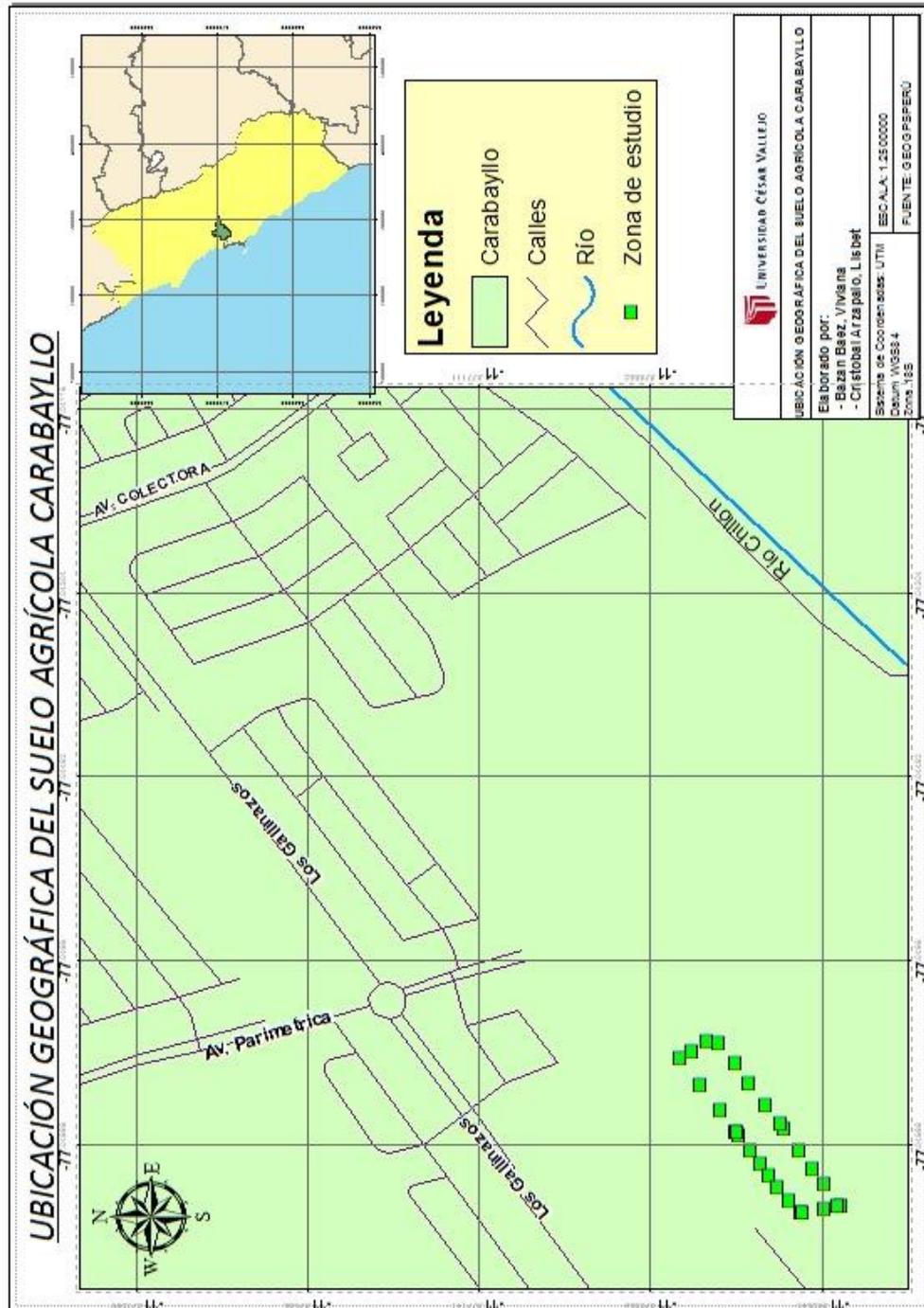
### Ubicación del área de estudio

Para identificar las coordenadas del área de estudio se utilizó un GPS, el cual nos brindó las siguientes coordenadas:

*Tabla 2. Coordenadas del área de estudio*

PUNTOS	COORDENADAS (UTM)	ALTURA
N° 01	X: 276766	193 m
	Y: 8685849	
N° 02	X: 276770	193 m
	Y: 8685823	
N° 03	X: 276878	193 m
	Y: 8685940	
N°04	X: 276855	193 m
	Y: 8685924	

## Mapa de Ubicación



Fuente: ArcGIS ,2019

Figura 20. Mapa de Ubicación

## 2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

### Técnicas

La observación fue la técnica que se utilizó para el desarrollo de esta investigación. Según Sabino (1992) hace mención que dicha técnica es como el uso sistemático de nuestros sentidos con el fin de adquirir información para solucionar un problema de investigación.

### Instrumentos de recolección de datos

Los Instrumentos de recolección de datos (Anexo 1) que se utilizaron para la recolección de datos:

- **Ficha de Mapa de ubicación:** Este instrumento se empleó para identificar el lugar de trabajo y registrar las coordenadas del área de estudio.
- **Ficha de campo:** Este instrumento se utilizó para registrar las muestras.
- **Ficha de caracterización de suelo:** En este instrumento se registraron los datos iniciales de la muestra.
- **Ficha de tratamiento de la biorremediación:** Instrumento que permitió registrar todos los datos en las tres etapas del tratamiento.

### Materiales, equipos y reactivos utilizados en el muestreo de campo

Tabla 3. Instrumentos utilizados en el área de estudio

Equipos	Materiales
Multiparámetro	Lampa
Termómetro para suelo	Pico
Balanza	Barreta
Liner	Cucharones de metal
Cilindro biselado	Bolsas de Polietileno
GPS	Pabilo (20 m)
Nivel de campo	Cinta métrica (100 m)
Plumón y lapiceros	Agua destilada
Ficha de campo	

Fuente: Elaboración Propia, 2019.



Fuente: Elaboración propia, 2019

*Figura 21. Presentación de materiales en campo*

## **2.5 Procedimiento**

Para realizar el procedimiento en campo se tuvo que considerar parámetros que fueron medidos con el fin de lograr los objetivos planteados en el trabajo de investigación. A continuación, se describen las etapas, donde se detalla el tipo de técnica e instrumentos de recolección de datos que se utilizaron.

### **Paso N° 01: Diagnóstico del Problema**

El muestreo en campo se realizó el día 04 de abril del 2019 a horas 7:00 am en la Urb. Roma Baja, Carabayllo. Se procedió a medir el área total que representó a la población, empleando un GPS, el cual determinó un área de 10203 m<sup>2</sup> y finalmente se midió el área de muestreo el cual tuvo una medida de 567.03 m<sup>2</sup>.



*Figura 22. Definición del área de la población*

### **Paso N° 02: Realización del primer análisis de la Muestra**

Para realizar el trabajo en campo se tuvo que trasladar a la zona de estudio, los materiales, equipos y reactivos, los cuales se emplearon en el muestreo y la caracterización del suelo in situ, donde se midieron los parámetros físicos y químicos del suelo.



*Figura 23. Equipos y reactivos empleados en campo.*

Antes de realizar el trabajo de campo se tomaron mediciones iniciales de las condiciones ambientales, cuyos resultados se detallan a continuación:

*Tabla 4. Datos de la muestra de estudio*

Código de la Muestra	RB
Fecha	04/04/2019
Hora	7: 00 am
Temperatura	26.9 °C
Humedad Relativa	57%

**Fuente:** Elaboración Propia, 2019

De acuerdo a La Guía de muestro de suelos según el D.S N° 002-2013-MINAN, se procedió a realizar la técnica de muestreo por el método de cuadrícula.

Para la determinación de los parámetros fisicoquímicos de los horizontes A y B, se realizó el muestreo de nivel de fondo, el cual consiste en realizar una “calicata”, cuyas dimensiones fueron de 1m de largo x 1 m de ancho y 1 m de profundidad.



*Figura 24. Calicata culminada*

Se separó el suelo que se iba extrayendo de la calicata por horizontes A y B, de los cuales se determinaron los parámetros fisicoquímicos, realizando los siguientes pasos:

### Paso N°3 Preparación del extracto de suelo por horizontes:

Para determinar los parámetros del horizonte A, se utilizó una muestra de 100 g. de suelo de dicho horizonte, posteriormente se midió 250 ml de agua destilada y se vació en una botella de polietileno con el fin de agregar la muestra de suelo y se agitó por 10 minutos.



*Figura 25. Extracto de suelo*

Una vez pasado el tiempo de agitación, se procedió a medir los parámetros con el Multiparámetro. Así mismo, se repitió el procedimiento para la obtención del extracto de suelo del horizonte B.

*Tabla 5. Resultados de parámetros de nivel de fondo*

Parámetro de la calita	Resultado	
	Horizontes	
	A	B
Temperatura de suelo T°	27.7	31.3
Temperatura de Ambiente T°	40.4	35.8
Humedad Relativa (HR)	19 %	32%
Potencial de hidrógeno (pH)	6.8	7.2
Potencial Redox (Eh)	-35	-44
Conductividad Eléctrica (CE)	336 uS	163 uS
T° Solución	31.4	32.3
pH solución	7.78	7.84

Fuente: Elaboración Propia.

#### Paso N°4 Conductividad Hidráulica (IN SITU)

Se realizó la Conductividad Hidráulica utilizando el método del cilindro, donde se introdujo el cilindro en el suelo a una profundidad de 5 cm, esto fue posible utilizando el nivel de mano. Después se vertió agua de riego al ras del cilindro (Fig. N°26), se cronometró el tiempo de infiltración del agua y se anotaron los datos. Para la realización de los cálculos se consideraron la altura (cm) y tiempo (s) de infiltración del agua en el suelo. (Tabla N° 10)



*Figura 26. Proceso de Infiltración del agua en el suelo*

Después de haber realizado los procedimientos mencionados, se procedió a realizar las mediciones finales en el área de muestreo (Ver tabla 6).

**Tabla 6.** Mediciones finales del área de estudio IN SITU

Código de la muestra	RB
Fecha	04/04/2019
Hora	3:05 p.m.
Temperatura	40.2 °C
Humedad Relativa	19 %

**Fuente:** Elaboración Propia.

## Paso N° 05: Realización de Análisis en el Laboratorio

### a) Textura del suelo por el método de Stoke (Arena, arcilla y limo)

Esta propiedad física se desarrolló en el laboratorio, por lo cual se emplearon los siguientes materiales e instrumentos:

- 1 probeta de 1000 ml
- Agua destilada 1000 ml
- 150 g de suelo de la zona agrícola de Roma Baja
- Balanza analítica

Para realizar este procedimiento se calibró la balanza y se pesó 150 g de suelo de la zona agrícola de Roma Baja, Carabayllo con el objeto de poder vaciar la muestra en una probeta (1000 ml), en el cual se le agregó 1000 ml de agua destilada, tapando cuidadosamente la boca de la probeta se procedió a agitar la solución por el tiempo de 1 minuto, posteriormente se dejó decantar por 24 horas, pasado ese tiempo se empezó a medir la altura de cada textura. Mediante el método de Stoke, se determinó que el tipo de suelo de la zona agrícola de Roma Baja corresponde a la textura franco arenoso, esto fue posible mediante los cálculos que se realizaron y el empleo del Triángulo de Textura de la USDA (Fig. N°27).



Figura 27. Realización del método STOKES

### b) Conductividad Hidráulica (Ex Situ)

Para realizar esta propiedad del suelo, se emplearon los siguientes materiales y equipos:

- Probeta 1000 ml
- Una cubeta de 10 L
- Muestra 150 ml de suelo de la zona de estudio
- Un cronómetro

Se calibró la balanza analítica y se pesó 200 g de suelo de la zona agrícola. Se vació 10 L de agua potable dentro de la cubeta, inmediatamente se vació los 200 g del suelo agrícola dentro de la probeta y se vertió agua hasta el ras de la probeta. Retiramos la probeta de la cubeta, se cronometró el tiempo de filtración del agua de 300 mm hasta 200 mm (medidas de la probeta), posteriormente de 200 mm hasta 100 mm, se anotaron los datos de las mediciones y se aplicó la fórmula para hallar la Conductividad Hidráulica:

$$K = \frac{h \times \log\left(\frac{A}{B}\right)}{t \text{ (s)}}$$

K: Conductividad hidráulica

h: Altura

$$t_1 = 07' 23'' = 433.8 \text{ s}$$

$$t_2 = 15' 17'' = 910.2 \text{ s}$$

Se realizaron los cálculos respectivos y se determinó la Capacidad Hidráulica (Ver figura 28).



*Figura 28. Medición de la Conductividad Hidráulica*

### **Humedad Gravimétrica mediante la Técnica de Secado por la Estufa.**

Para esta propiedad se consideraron los siguientes materiales y equipos:

- 01 balanza analítica
- 01 bandeja metálica
- 200 g de suelo de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo
- 01 estufa
- Equipos de EPPs

Se calibró la balanza analítica y se pesó 200 g de muestra de suelo de la zona agrícola de Roma Baja, la muestra se llevó a la estufa a una temperatura de 105 °C por 1 hora, una vez retirada la muestra de la estufa, se dejó enfriar y se volvió a pesar la muestra de suelo agrícola. Se anotaron los datos obtenidos y se aplicó la fórmula de Porcentaje de Humedad:

$$\% H = \frac{W_{Sh} - W_{Ss}}{W_{Ss}} \times 10$$

Dónde:

% H: Porcentaje de humedad

$W_{Sh}$ : Peso del suelo húmedo

$W_{Ss}$ : Peso del suelo seco

$W_t$ : Peso de la tara



*Figura 29. Procedimiento de secado por estufa*

### c) Densidad Aparente mediante la Técnica del Cilindro Biselado.

Para realizar los cálculos de esta propiedad se emplearon los siguientes materiales y equipos:

- 01 balanza analítica.
- 01 bandeja metálica.
- 01 cilindro biselado
- 01 Estufa
- 866 g de muestra de suelo de la zona agrícola

Se extrajo la muestra de suelo in situ con el cilindro biselado y se trasladó al laboratorio para su análisis, en el laboratorio se procedió a calibrar la balanza analítica, se pesó la tara vacía, se vació la muestra de suelo agrícola contenida en el cilindro biselado y se pesó. Llevamos la muestra de suelo a la estufa a una temperatura de 105°C por 1 hora. Posteriormente se pesó nuevamente la muestra, hallamos el volumen del cilindro biselado y finalmente, con los datos obtenidos aplicamos la fórmula de densidad aparente:

$$D. a. = \frac{WSs}{Vc}$$

Dónde:

D.a: Densidad aparente

W<sub>Sh</sub>: Peso del suelo húmedo

W<sub>T</sub>: Peso de la tara

W<sub>Ss</sub>: Peso del suelo seco

V<sub>c</sub>: Volumen del cilindro

Una vez aplicada la fórmula, se obtuvo el resultado correspondiente.

#### **d) Densidad Real mediante la Técnica del Picnómetro**

Esta propiedad física se determinó en el laboratorio por el método del Picnómetro, para ello se emplearon los siguientes materiales e instrumentos:

- Balanza analítica
- Muestra de 20 g de suelo de la zona agrícola de Roma Baja, Carabaylo
- 1 Picnómetro de 100 ml
- 1 Termómetro láser
- Estufa o cocina
- Agua destilada

Se taró la balanza analítica, se pesó el picnómetro vacío (900.35 g), después se pesó 20 g de suelo de la zona agrícola, luego se depositó en el picnómetro, se volvió a pesar el picnómetro con la muestra de suelo (110.007 g.), después se agregó agua destilada enrasando en el picnómetro y se agitó ligeramente. El picnómetro contenido con la muestra más el agua destilada se llevó a ebullición por un minuto, después se dejó enfriar. Una vez que los picnómetros con el contenido se enfriaron, se procedió a medir la temperatura, dicha medida fue de 27.2°C. Se aplicó la siguiente fórmula para hallar la densidad real:

$$D.r. = \frac{D_w - (W_s - W_a)}{(W_s - W_a) - (W_{sw} - W_w)}$$

Dónde:

Dr. Densidad Real

$D_w$ : Densidad del agua a la  $T^a$  observada

$W_s$ : Peso del picnómetro más el peso del suelo

$W_a$ : Peso del picnómetro vacío

$W_{sw}$ : Peso del picnómetro más suelo más agua

$W_w$ : Peso del picnómetro más agua



*Figura 30. Extracción de muestra de suelo agrícola del cilindro biselado*



*Figura 31. Realización de la Técnica del Picnómetro*

#### **e) Volumen granulométrico**

Para el volumen granulométrico se emplearon los siguientes instrumentos y materiales:

- Balanza analítica
- Muestra de 589 g de suelo de la zona de estudio
- Mallas n° 10 (2.00 mm)
- Malla n° 18 (1.00 mm)
- Malla n° 20 (0.850 mm)
- Malla n° 45 (0.355 mm)
- Malla n°60 (0.25 mm)
- Malla n° 100(0.150 mm)
- Mantada de plástico 2m
- Bandejas metálicas
- Cucharón metálico
- Brocha de plástico, bolsas de polietileno
- Plumón

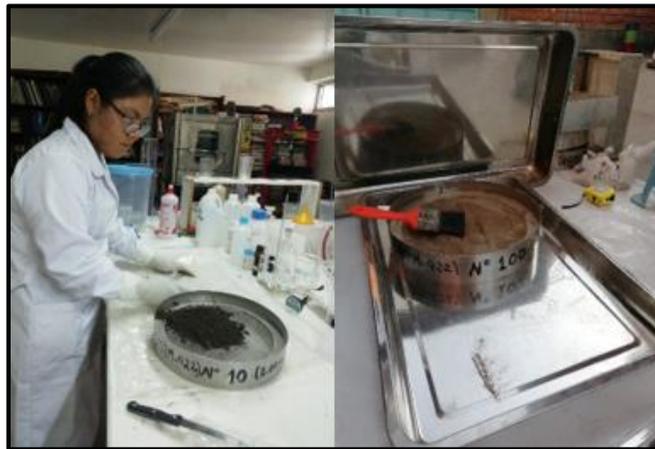
Se procedió a tamizar la muestra de suelo (589 g) por cada una de las mallas empezando por la malla n°10 y terminando por la malla n°100.

En cada tamizado se fue separando según su granulometría, utilizando la brocha de plástico y las bandejas metálicas, se colocaron en las respectivas bolsas de polietileno las cuales estuvieron debidamente rotuladas.

Una vez terminado el procedimiento de tamizado de la muestra de suelo de la zona agrícola de Roma Baja, Carabayllo, se procedió a pesar cada una de las bolsas con las muestras.



*Figura 33. Procedimiento de tamizado con malla N° 100*



*Figura 32. Procedimiento de Tamizado*

#### **f) Capacidad de campo por el método de Botman y Mahmud**

Para la determinación de esta propiedad se emplearon los siguientes materiales y equipos:

- Agua destilada 1000 ml
- 1 Probeta de 1000 ml
- 150 g de suelo de la zona agrícola de Roma Baja
- Balanza analítica

Se calibró la balanza analítica y se pesó 150 g de suelo agrícola, una vez pesado la muestra de suelo, se procedió a vaciar en la probeta en el cual se agregó 1000 ml. de agua destilada en la probeta de la misma capacidad. Se agitó la solución y se deja reposar por 24 horas. Después de ese tiempo se pudo visualizar el proceso de decantación. Se empezó a medir la altura de cada textura (**arena, arcilla y limo**). Finalmente se realizó el cálculo para determinar la Capacidad de Campo:

$$\% Cc = 0.23 (\% \text{ arena}) + 0.25 (\% \text{ limo}) + 0.61 (\% \text{ arcilla})$$

Una vez obtenido el resultado, se procedió a analizarlo (Ver resultado tabla 12).



*Figura 34. Método de STOKE*

#### **g) Punto de marchitez**

Para la determinación del punto de marchitez (PMP) se utilizó los porcentajes obtenidos del resultado de la textura del suelo agrícola (Ver resultado tabla 12).

$$PMP = 0.001 (\% \text{ arena}) + 0.12(\% \text{ limo}) + 0.57(\% \text{ arcilla})$$

#### **h) Contenido Volumétrico**

Para esta propiedad se utilizaron los datos del porcentaje de humedad gravimétrica (%HG) y se multiplicó con los datos de la Densidad Aparente y determinó el resultado (Ver resultado tabla 12).

$$\theta = \% \text{ humedad} \times Da$$

### i) Porosidad del Suelo

Para la determinación de esta propiedad (Pp) se emplearon los datos de la densidad aparente y densidad real. Se aplicó la siguiente fórmula:

$$Pp = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) \times 100$$

Una vez aplicada esta fórmula con los datos mencionados se obtuvo el resultado (Ver resultado tabla 12).

### Paso N°6: Acondicionamiento del Tratamiento de la Electrorremediación

#### Prueba en Blanco: Reducción del Plomo

Antes de realizar la técnica de Electrorremediación aplicado al suelo agrícola, se llevó a cabo una prueba en blanco con el objetivo de realizar ensayos, verificar el trabajo de los electrodos, del amperaje y voltaje que se utilizaron para la remoción de plomo en la solución (Ver tabla 7).

*Tabla 7. Programación de la prueba en blanco.*

Código	Tiempo (min)	Temperatura °C	Volumen (ml)	DC
1	15	27.5	100	10
2	15	37.9	100	20
3	15	25	100	30

**Fuente:** Elaboración Propia, 2019.



*Figura 35. Remoción de Plomo por Electrólisis*

### **Paso N°7 Preparación de la Técnica de Electrorremediación**

Para realizar la técnica de Electrorremediación se prepararon contenedores y separados por códigos y colores según las etapas de tratamiento, cada etapa constó de 9 unidades de estudio (Ver tabla N° 8) con la capacidad de 2 kg, siendo las medidas: 15 cm (largo) x 17 cm (altura) x 14 cm (base).

*Tabla 8. Etapas de la técnica de Electrorremediación.*

<b>Etapas</b>	<b>Color</b>	<b>N° de muestras</b>
Primera	Naranja	9 unidades
Segunda	Amarillo	9 unidades
Tercera	Verde	9 unidades

**Fuente:** Elaboración Propia.



*Figura 36. Presentación de celdas codificadas*

Para el proceso de remoción de plomo también se utilizaron los electrodos, los cuales fueron de acero, 18 de ellos se utilizaron durante la primera etapa del tratamiento, dando un total 54 electrodos utilizados durante la técnica de electroremediación (tres etapas). El tamaño del electrodo de acero fue de 20 cm de largo, 5 cm de ancho y 0.3 cm de espesor.



*Figura 37. Electrodo de acero*

Para la técnica de Electroremediación se utilizó una fuente de energía de capacidad de 10 Amperios con salida de 200 Voltios, también se emplearon un Voltímetro y un Amperímetro.



*Figura 38. Fuente de alimentación externa*

En el procedimiento de humectación se utilizaron el Acetato de Amonio y el Ácido Acético, como electrolitos, con el objeto de poder acondicionar la muestra para su posterior tratamiento.

### Consideraciones de la realización de la técnica de Electrorremediación

Para la realización de la Electrorremediación se tomó en cuenta ciertas características: Dosis de electrolitos, tiempo de tratamiento, voltaje empleado e intensidad de corriente (ver tabla N° 9).

*Tabla 9. Características de la técnica*

N° Etapas	Repeticiones	Dosis electrolito (ml)	Tiempo (min)	Voltaje (V)	Distancia de Electrodo (cm)	Intensidad (A)
E-1	RB-1	350	10	10	7	0.61
	RB-2	350	10	10	7	0.75
	RB-3	350	10	10	7	0.69
E-2	RB-1	350	20	20	7	1.34
	RB-2	350	20	20	7	1.60
	RB-3	350	20	20	7	1.47
E-3	RB-1	350	30	30	7	2.02
	RB-2	350	30	30	7	2.26
	RB-3	350	30	30	7	2.18

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

### **Paso N°8: Tratamiento de la Electrorremediación.**

Para la realización del tratamiento, se procedió a humectar las muestras del suelo agrícola con acetato de Amonio (150 ml) y ácido acético (150ml), este procedimiento se aplicó para cada etapa y se dejó humectar las muestras del suelo agrícola por 60 minutos antes de aplicar la técnica de Electrorremediación.



*Figura 40. Muestras Humectadas con los electrolito*



*Figura 39. Acondicionamiento de Celdas*

Al haberse concluido los 60 minutos de humectación, se procedió a acondicionar las celdas y se plantaron los electrodos (ánodo y cátodo ) a 7 cm de distancia entre ellos y a 3 cm de la base de la celda, dichos electrodos estuvieron conectados a la fuente de energía.

La fuente de energía fue programada manualmente en intervalos de 10, 20 y 30 voltios para cada etapa, los cuales estuvieron cronometrados en 10, 20 y 30 minutos.



*Figura 41. Presentación de las celdas con los electrodos*

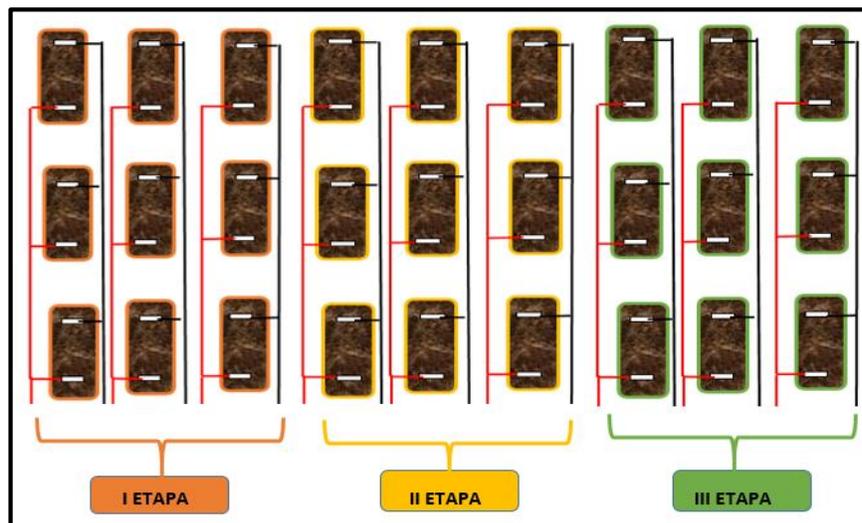
Durante la aplicación de la energía eléctrica mediante los electrodos se pudo observar la formación de burbujas, emanación de gases y formación de carbonatos en la parte superior de la celda (3era etapa).



*Figura 42. Presencia de gases e hidróxido*

## 2.6 Métodos de análisis de datos

En la presente investigación los resultados serán analizados en el programa SPSS, el tratamiento estuvo dividido en tres etapas donde se consideraron las mediciones y las repeticiones del pH, CE, Eh, % de humedad y Pb (mg/kg), para la realización del documento se empleó una PC con sistema operativo I3 y las tablas y gráficos fueron realizados en los programas de EXCEL y WORD.



*Figura 43. Unidades experimentales*

## 2.7 Aspectos Éticos

Para la realización del presente trabajo de investigación se consideró referencias bibliográficas procedentes de fuentes confiables, las cuales han sido citadas como se indica en la norma ISO 690. En el trabajo de campo se utilizó un equipo calibrado (Multiparámetro) para las mediciones iniciales IN SITU. Las muestras del área de estudio fueron analizadas en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería.

## III. RESULTADOS

### 3.1. Análisis Inicial de la Muestra

En esta parte del trabajo de investigación se muestran los resultados obtenidos de la etapa de muestreo del suelo de la zona agrícola de Roma Baja, Carabayllo 2019.

**Tabla 10.** Mediciones en laboratorio (EX SITU),

Código	Temperatura (°C)	pH	Potencial redox (mV)	C.E (uS/cm)
RB-Co	25.0	7.23	-50.5	475

Fuente: Elaboración Propia (2019).

#### ➤ Caracterización parámetros químicos del suelo RB-inicial

**Tabla 11.** Caracterización química del suelo RB-Inicial

Caracterización química del suelo RB-Inicial	
Parámetros	Resultados
pH	7.23
CE uS/cm	475
Eh mV	-50.5
% Mo	0.45
CIC total	25.48
NO <sub>3</sub> - (g/100ml)	40.002
K (ppm)	99.89
P (ppm)	20.45

- Caracterización parámetros físicos del suelo RB-inicial

Tabla 12. Caracterización física del suelo RB-Inicial

Caracterización física del suelo Rb-Inicial	
Parámetros	Resultados
% Porosidad total	40.731
% Humedad gravimétrica (HG)	9.29
Contenido volumétrico de agua	13.098
% Capacidad de campo	32.42
% Punto de Marchitez Permanente	17.23
Densidad Real ( $\text{g/cm}^3$ )	2.38
Densidad Relativa ( $\text{g/cm}^3$ )	1.41
Conductividad Hidráulica (cm/s)	0.02

- Caracterización de Plomo (Pb) del suelo RB-Inicial

Tabla 13. Plomo inicial

Código	Pb (mg/kg)
RB-Inicial	99.7

### 3.2. Aplicación de la técnica de electroremediación

#### 3.2.1. Primera etapa (10 minutos)

- **Remoción de Plomo**

En la primera etapa de la electroremediación se realizó por un tiempo de 10 minutos donde se aplicó tres tipos de voltaje de 10 V, 20 V y 30 V, con 0.61A, 1.34A y 2.02A como se observa en la tabla N°14.

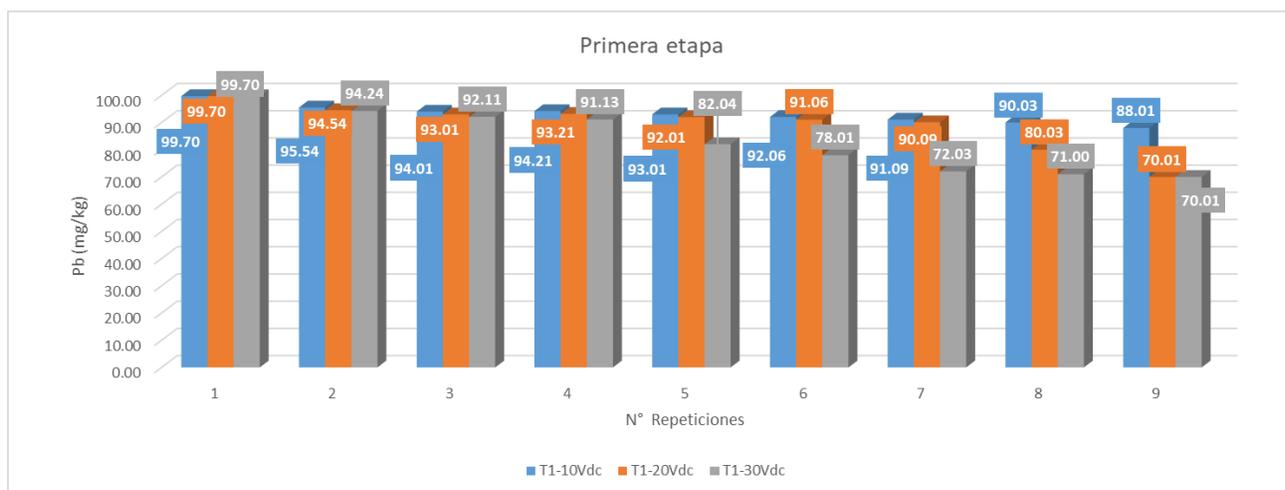


Figura 44. Aplicación electrorremediación en la primera etapa.

En la primera etapa se realizaron 9 repeticiones para cada tratamiento de 10 V, 20 V y 30 V. En la última repetición se puede presenciar que se obtuvo una mayor remoción de Pb en los tres tipos de voltaje aplicados en un tiempo de 10 minutos.

Tabla 14. Resultados de electrorremediación en suelos por plomo-Primera etapa

Resultados de Electrorremediación en suelos por plomo-Primera etapa									
Tratamiento	Pb (mg/kg)	Amp.	Tratamiento	Pb (mg/kg)	Amp.	Tratamiento	Pb (mg/kg)	Amp.	Tiempo (min)
T1-10Vdc	99.70	0.61	T1-20Vdc	99.70	1.34	T1-30Vdc	99.70	2.02	10
T1-10Vdc	95.54	0.61	T1-20Vdc	94.54	1.34	T1-30Vdc	94.24	2.02	10
T1-10Vdc	94.01	0.61	T1-20Vdc	93.01	1.34	T1-30Vdc	92.11	2.02	10
T1-10Vdc	94.21	0.61	T1-20Vdc	93.21	1.34	T1-30Vdc	91.13	2.02	10
T1-10Vdc	93.01	0.61	T1-20Vdc	92.01	1.34	T1-30Vdc	82.04	2.02	10
T1-10Vdc	92.06	0.61	T1-20Vdc	91.06	1.34	T1-30Vdc	78.01	2.02	10
T1-10Vdc	91.09	0.61	T1-20Vdc	90.09	1.34	T1-30Vdc	72.03	2.02	10
T1-10Vdc	90.03	0.61	T1-20Vdc	80.03	1.34	T1-30Vdc	71.00	2.02	10
T1-10Vdc	88.01	0.61	T1-20Vdc	70.01	1.34	T1-30Vdc	70.01	2.02	10
<b>Promedio</b>	<b>93.07</b>	<b>0.61</b>	<b>Promedio</b>	<b>89.30</b>	<b>1.34</b>	<b>Promedio</b>	<b>83.36</b>	<b>2.02</b>	<b>10</b>

En la figura N°45 de la primera etapa se observa que se obtuvo mayor remoción en el tercer tratamiento con 30 V y 2.02 A, obteniendo una concentración de 83.36 mg/kg de Pb, lo cual nos da un porcentaje de remoción de 55% con relación al ECA del suelo.

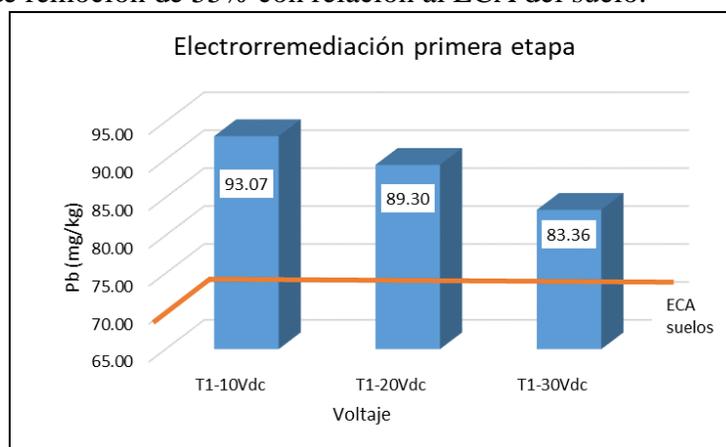


Figura 45. Electrorremediación primera etapa

➤ **Caracterización química y física del suelo RB**

Tabla 15. Caracterización química y física del suelo RB

Caracterización química del suelo RB				
Parámetros	RB-Inicial	1era etapa		
		10V	20V	30V
pH	7.23	7.15	7.6	8.38
CE uS/cm	475	1479	1703	2516
Eh mV	-50.5	-20	-48	-60
% Mo	0.45	0.9	0.75	0.68
CIC total	25.48	25.19	25.65	27.84
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (g/100ml)	40.002	32.02	31.51	20.86
K (ppm)	99.89	85.29	78.31	60.42
P (ppm)	20.45	13.01	13.23	10.89
Caracterización física del suelo RB				
Parámetros	RB-Inicial	1era etapa		
		10V	20V	30V
% Humedad gravimétrica (HG)	9.29	27.55	26.47	27.88
Contenido volumétrico de agua	13.098	14.89	14.38	13.58
% Capacidad de campo	32.42	38.5	38.12	39.15
% Punto de marchitez permanente	17.23	30.18	29.13	25

### 3.2.2. Segunda etapa (20 minutos)

#### ➤ Remoción de Plomo

En la segunda etapa de la electroremediación se realizó por el tiempo de 20 minutos donde se aplicó tres tipos de voltaje de 10 V, 20V y 30V, a diferencia de la etapa anterior los voltajes registrados fueron de 0.75 A, 99.70 A y 2.26 A.

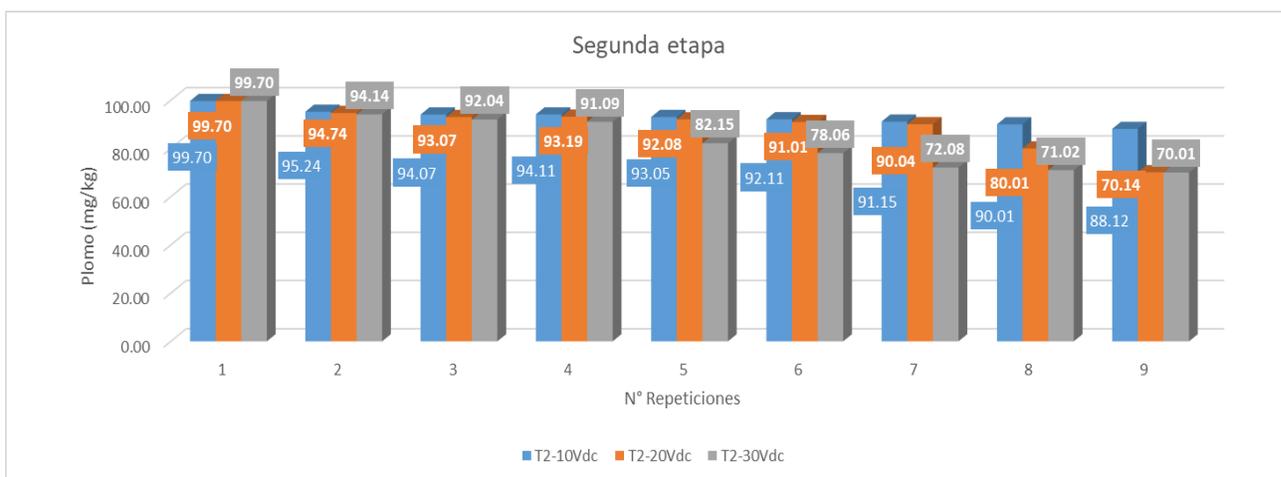


Figura 46. Aplicación de la electroremediación en la segunda etapa.

En la figura N°46 se encuentra las 9 repeticiones realizadas en la segunda etapa del tratamiento en un tiempo de 20 minutos, se observó que la mayor remoción se produjo en la novena repetición.

Tabla 16. Resultados de Electroremediación en suelos por plomo-Segunda etapa

Resultados de Electroremediación en suelos por plomo-Segunda etapa									
Tratamiento	Pb (mg/kg)	Amp.	Tratamiento	Pb (mg/kg)	Amp.	Tratamiento	Pb (mg/kg)	Amp.	Tiempo (min)
T1-10Vdc	99.70	0.75	T1-20Vdc	99.70	1.6	T1-30Vdc	99.70	2.26	20
T1-10Vdc	95.24	0.75	T1-20Vdc	94.74	1.6	T1-30Vdc	94.14	2.26	20
T1-10Vdc	94.07	0.75	T1-20Vdc	93.07	1.6	T1-30Vdc	92.04	2.26	20
T1-10Vdc	94.11	0.75	T1-20Vdc	93.19	1.6	T1-30Vdc	91.09	2.26	20
T1-10Vdc	93.05	0.75	T1-20Vdc	92.08	1.6	T1-30Vdc	82.15	2.26	20
T1-10Vdc	92.11	0.75	T1-20Vdc	91.01	1.6	T1-30Vdc	78.06	2.26	20
T1-10Vdc	91.15	0.75	T1-20Vdc	90.04	1.6	T1-30Vdc	72.08	2.26	20
T1-10Vdc	90.01	0.75	T1-20Vdc	80.01	1.6	T1-30Vdc	71.02	2.26	20
T1-10Vdc	88.12	0.75	T1-20Vdc	70.14	1.6	T1-30Vdc	70.01	2.26	20
<b>Promedio</b>	93.06	0.75	<b>Promedio</b>	89.33	1.6	<b>Promedio</b>	83.37	2.26	20

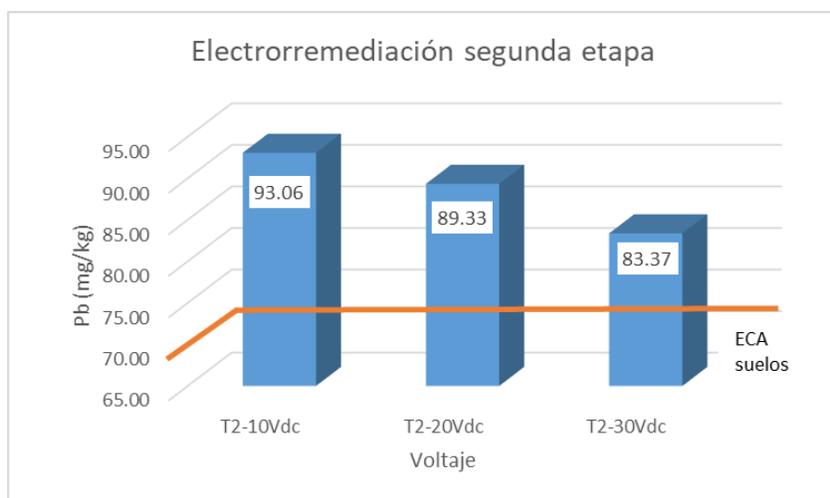


Figura 47. Electrorremediación segunda etapa.

Comparando los tres tratamientos que se realizaron en la segunda etapa a un tiempo de 20 minutos se puede evidenciar que la mayor remoción de Pb se produjo en el tercer tratamiento con una concentración de 83.37 mg/kg aplicando un voltaje de 30V, obteniendo como porcentaje de remoción un 55.19% en esta etapa.

➤ **Caracterización química y física del RB**

Tabla 17. Caracterización química y físicas del suelo RB

Caracterización química del suelo RB				
Parámetros	RB-Inicial	2da etapa		
		10V	20V	30V
pH	7.23	7.57	7.77	8.45
CE uS/cm	475	1529	1765	2579
Eh mV	-50.5	-45	-55	-79
% Mo	0.45	0.8	0.7	0.58
CIC total	25.48	26.45	26.7	27.69
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (g/100ml)	40.002	30.21	30.15	20.1
K (ppm)	99.89	75.45	70.38	60.56
P (ppm)	20.45	10.11	10.35	10
Caracterización física del suelo RB				
Parámetros	RB-Inicial	2da etapa		
		10V	20V	30V
% Humedad gravimétrica (HG)	9.29	25.86	26.75	26.79
Contenido volumétrico de agua	13.098	15.43	14.21	13.36
% Capacidad de campo	32.42	39	38.12	39.15
% Punto de Marchitez Permanente	17.23	28.18	29.13	25

### 3.2.3. Tercera etapa (30 minutos)

Tabla 18. Resultados de electroremediación en suelos por plomo-Tercera etapa

Resultados de Electroremediación en suelos por plomo-Tercera etapa									
Tratamiento	Pb(mg/Kg)	Amp.	Tratamiento	Amp.	Pb (mg/Kg)	Tratamiento	Amp.	Pb(mg/Kg)	tiempo
T2-10Vdc	99.70	0.7	T2-20Vdc	1.59	99.70	T2-30Vdc	2.21	99.70	30
T2-10Vdc	95.14	0.7	T2-20Vdc	1.59	94.54	T2-30Vdc	2.21	94.21	30
T2-10Vdc	94.02	0.7	T2-20Vdc	1.59	93.01	T2-30Vdc	2.21	92.16	30
T2-10Vdc	94.06	0.7	T2-20Vdc	1.59	93.11	T2-30Vdc	2.21	91.01	30
T2-10Vdc	93.11	0.7	T2-20Vdc	1.59	92.18	T2-30Vdc	2.21	82.05	30
T2-10Vdc	92.12	0.7	T2-20Vdc	1.59	91.11	T2-30Vdc	2.21	78.01	30
T2-10Vdc	91.05	0.7	T2-20Vdc	1.59	90.01	T2-30Vdc	2.21	72.02	30
T2-10Vdc	90.06	0.7	T2-20Vdc	1.59	80.03	T2-30Vdc	2.21	71.07	30
T2-10Vdc	88.10	0.7	T2-20Vdc	1.59	70.04	T2-30Vdc	2.21	70.04	30
<b>Promedio</b>	<b>93.06</b>	<b>0.7</b>	<b>Promedio</b>	<b>1.59</b>	<b>89.33</b>	<b>Promedio</b>	<b>2.21</b>	<b>83.36</b>	<b>30</b>

En la tercera etapa de la electroremediación se realizó por un tiempo de 30 minutos donde se aplicó tres tipos de voltaje de 10V, 20V y 30V, en esta etapa del tratamiento también se registraron diferentes valores de amperaje de 0.7 A, 1.59 A y 2.21 A.

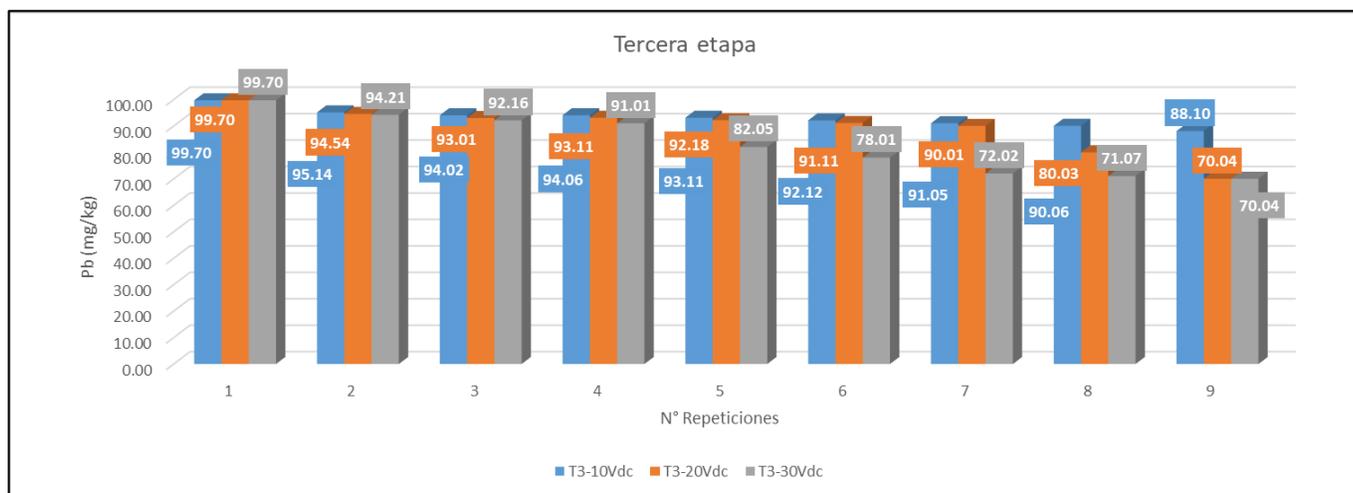


Figura 48. Aplicación de la electroremediación en la tercera etapa.

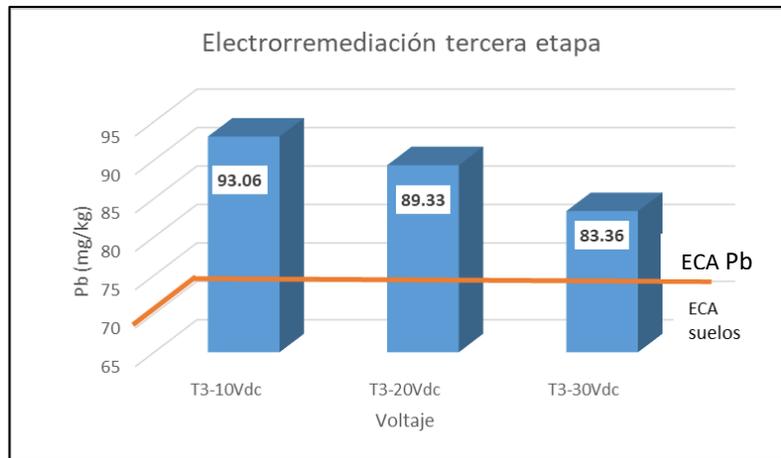


Figura 49. Electrorremediación tercera etapa

En las nueve repeticiones que se realizaron en la tercera etapa se pudo observar que la mayor remoción de Pb se produjo en la repetición número 9 al igual que las etapas anteriores.

Comparando los tres tratamientos que se realizaron en la tercera etapa con tiempo de 30 minutos se pudo evidenciar que la mayor remoción de Pb se produjo en el tercer tratamiento con una concentración de 83.36 mg/kg aplicando un voltaje de 30V, obteniendo como porcentaje de remoción un 55.99% en esta etapa.

➤ **Caracterización química y física del RB**

Tabla 19. Caracterización química del suelo RB

Caracterización química del suelo RB				
Parámetros	RB-Inicial	3era etapa		
		10V	20V	30V
pH	7.23	7.79	8.23	9.39
CE uS/cm	475	1759	1890	2956
Eh mV	-50.5	-65	-123	-268
% Mo	0.45	0.609	0.645	0.51
CIC total	25.48	27.45	27.7	28.96
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (g/100ml)	40.002	29.28	29.19	20.08
K (ppm)	99.89	74.41	69.48	43.66
P (ppm)	20.45	10.1	10.28	9.00
Caracterización física del suelo RB				
Parámetros	RB-Inicial	3era etapa		
		10V	20V	30V
% Humedad gravimétrica (HG)	9.29	25.82	26.79	26.98
Contenido volumétrico de agua	13.098	16.45	15.31	14.4
% Capacidad de campo	32.42	41.02	39.46	39.89
% Punto de Marchitez Permanente	17.23	31.23	30.19	28.09

### 3.2.4. Resultados de las propiedades químicas del suelo RB antes y después de aplicar a la electroremediación.

#### ➤ Potencial de hidrógeno (pH)

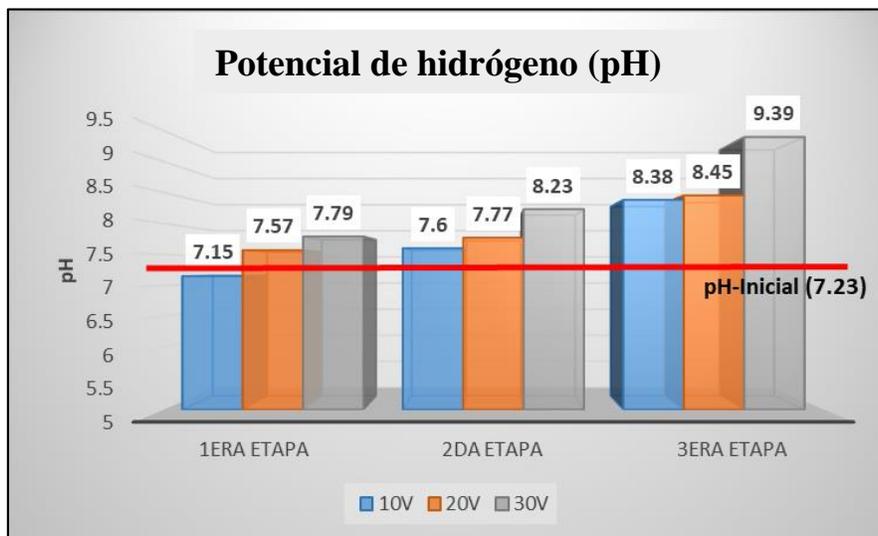


Figura 50. Mediciones de pH en las tres etapas de tratamiento.

Como se observa en la figura N°50 el pH más alto se produjo en la tercera etapa con la aplicación de 30V dando un resultado de 9.39 de pH lo cual nos indicó el cambio de un suelo neutro a suelo básico, lo cual es perjudicial para la actividad microbiana natural del suelo agrícola.

#### ➤ Conductividad Eléctrica (uS/cm)

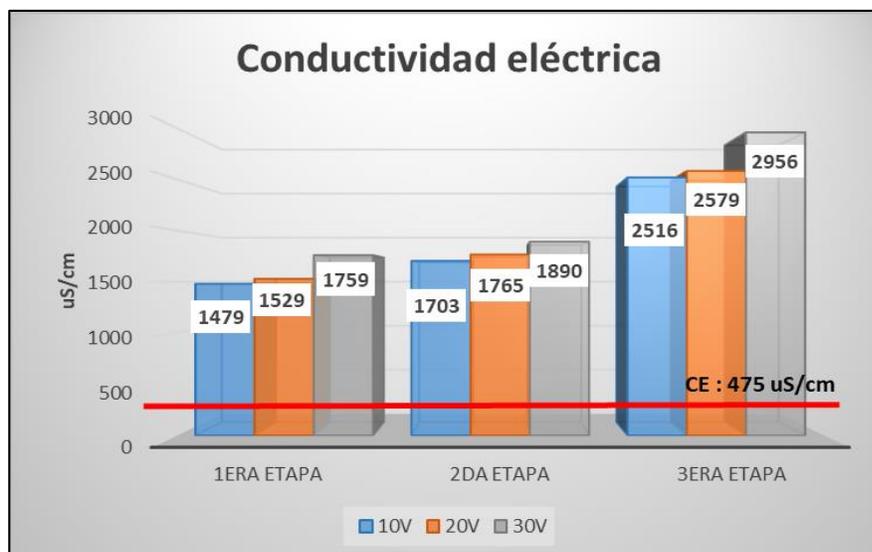
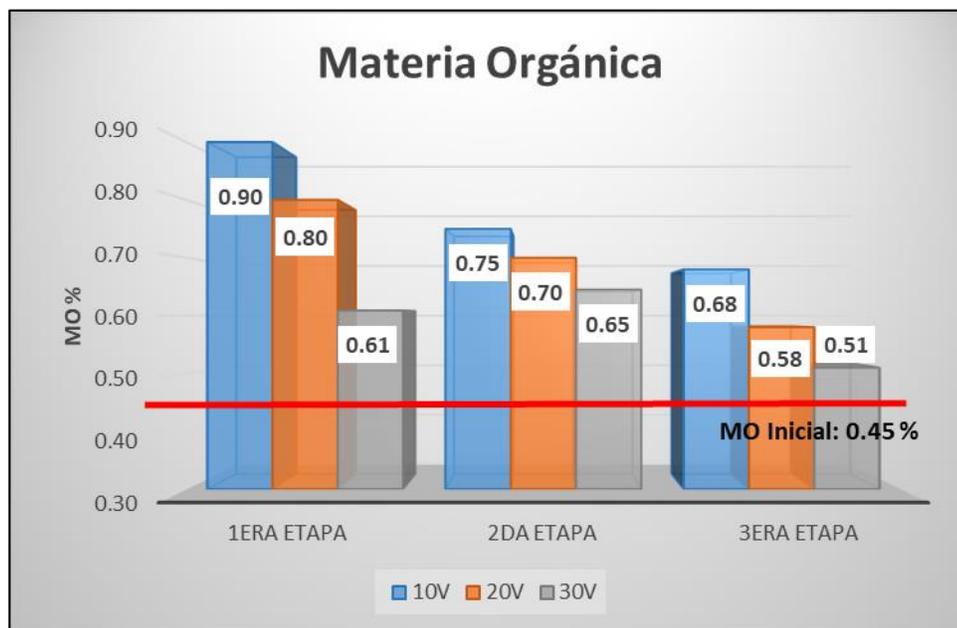


Figura 51. Mediciones de CE en las tres etapas de tratamiento.

En la figura N°51 se observó que la conductividad eléctrica aumentó en la aplicación de las tres etapas de la electroremediación, siendo la inicial de 475 uS/cm cuyo valor indica que el suelo agrícola presentó un estado de salinidad imperceptible a diferencia del último tratamiento donde se produjo un mayor valor de 2956 uS/cm aplicando 30V y 30 min, lo cual brinda una limitación a los cultivos sensibles a la presencia de sales a diferencia de la primera y segunda etapa donde sí se obtuvo remoción de Pb y menos valores de conductividad eléctrica por lo tanto no se vio tan afectada la productividad de los cultivos y la calidad ambiental del ecosistema.

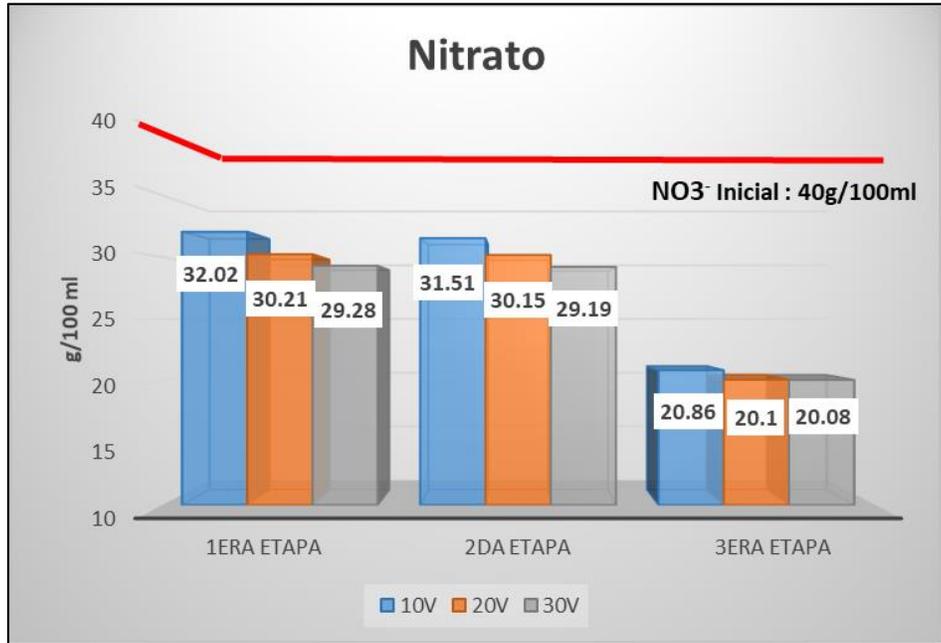
➤ **Materia orgánica**



**Figura 52.** Mediciones de MO en las tres etapas de la electroremediación.

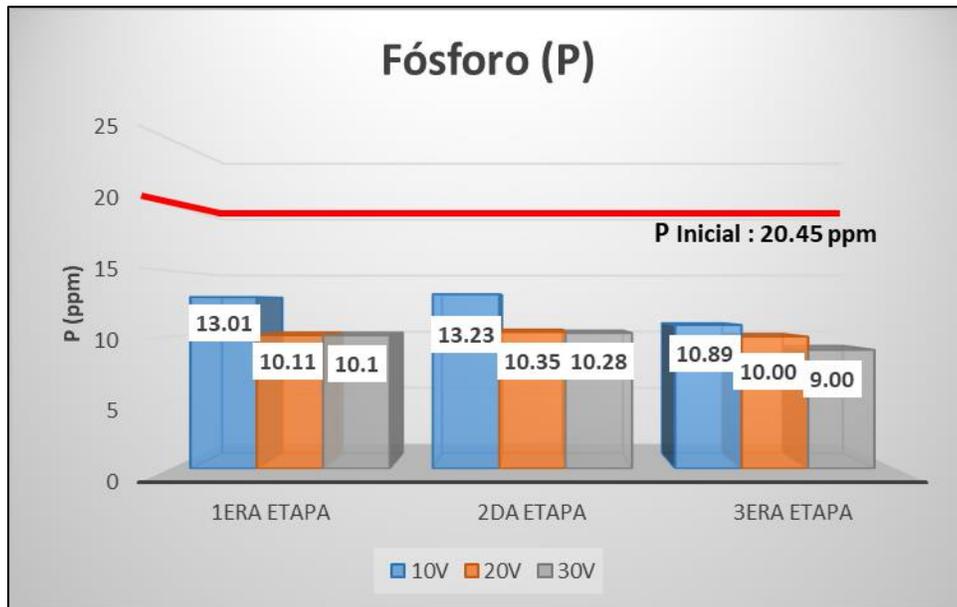
En la figura N°52 se observó que en las tres etapas de la aplicación de electroremediación se produjo un aumento de M.O en comparación al valor inicial que fue de 0.45% llegando hasta 0.90% en las aplicaciones de 10V de la primera etapa como valor más alto y a 0.51 en la tercera etapa con aplicación de 30V a 0.51% lo cual nos indicó que a mayor aplicación de voltaje la materia orgánica disminuyó cuyo comportamiento es perjudicial para un suelo con fines agrícolas.

➤ Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ )



**Figura 53.** Mediciones de  $\text{No}_3^-$  en las tres etapas de la electroremediación.

La cantidad de nitratos en el suelo se encuentra en función a la velocidad en la que los microorganismos presentes en el suelo descomponen las materia orgánica, por lo cual en la figura N°53 se apreció que al igual que la MO de suelo agrícola de RB los Nitratos también se redujeron en comparación al valor inicial de 40g/100ml obteniéndose en la tercera etapa el valor más bajo de 20.08 g/ml cuando se aplicó 30V durante 30 minutos, ello resultó perjudicial para el suelo agrícola ya que bajó la disponibilidad de este nutriente para el adecuado desarrollo de las plantas.



**Figura 54.** Mediciones de P en las tres etapas de la electroremediación.

Como se sabe el fósforo es uno de los principales macronutrientes que necesitan los cultivos para su óptimo desarrollo, en la tabla N°54 se observó que el valor inicial fue de 20.45 ppm lo cual coloca al suelo en condiciones medias para cultivos, sin embargo, al aplicar la electroremediación este valor decreció hasta llegar a un valor mínimo de 9.00 ppm brindando condiciones muy bajas de fósforo (P) para suelos con fines agrícolas.

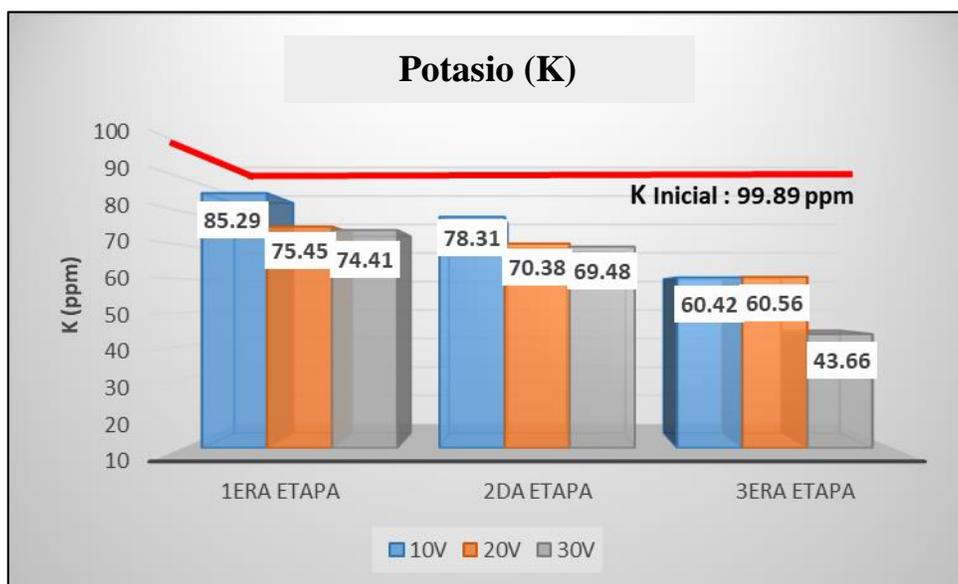


Figura 55. Mediciones de K en las tres etapas de la electroremediación.

### 3.2.5. Resultados de las propiedades físicas del suelo RB antes y después de aplicar a la electroremediación

#### ➤ Humedad gravimétrica (HG)

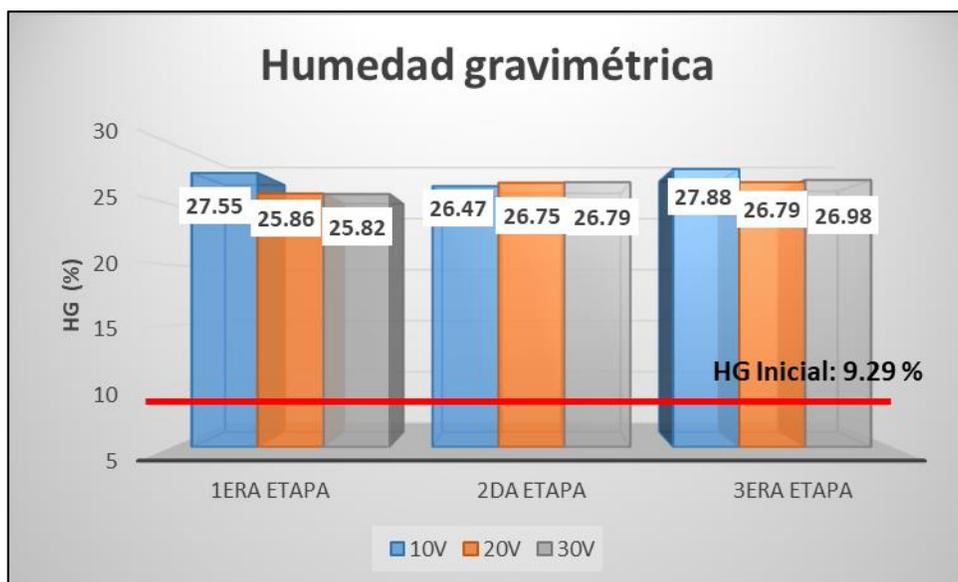
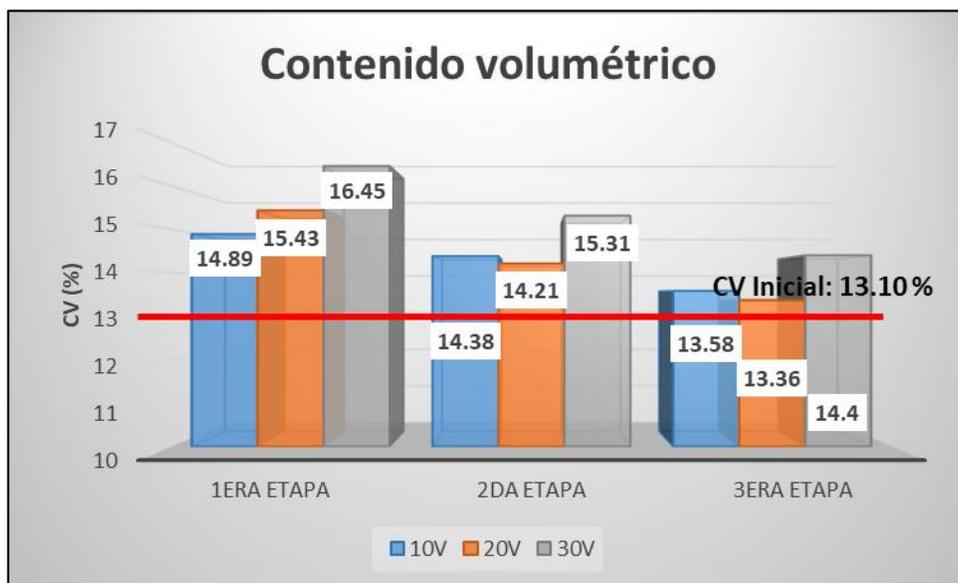


Figura 56. Mediciones de HG en las tres etapas de la electroremediación,

La relación que existe entre la humedad de suelo húmedo y una masa de suelo seco se conoce como humedad gravimétrica (HG), como se observa en la figura N°56 se determinó un 9.29 % de HG en los suelos agrícolas de RB, característico en suelos arenosos, en este caso la HG aumentó con la relación al valor inicial en todas las etapas del tratamiento debido a la humectación de las muestras con los electrolitos.

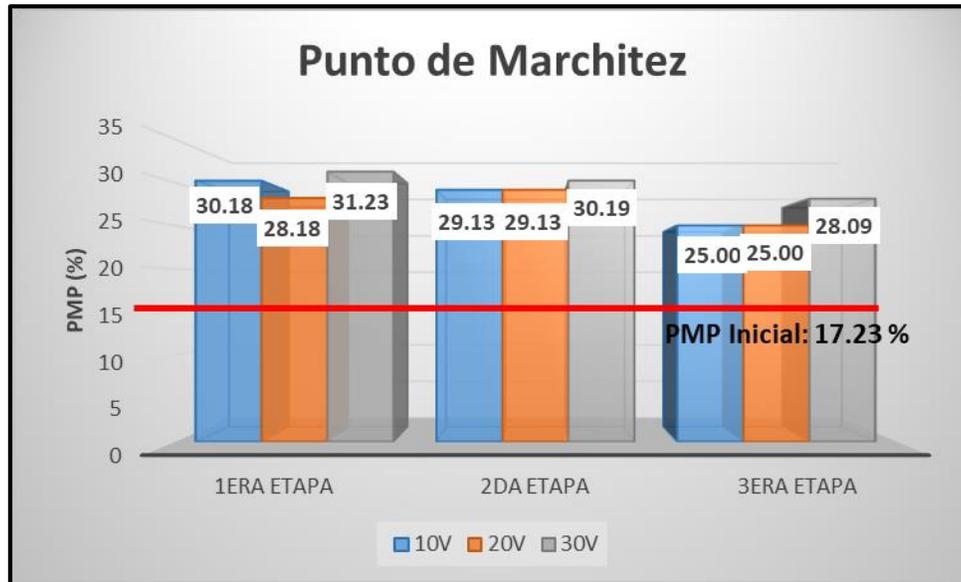
➤ **Contenido Volumétrico (CV)**



*Figura 57. Mediciones de CV en las tres etapas de la electroremediación.*

De acuerdo a los resultados de Humedad gravimétrica (%) y densidad aparente ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ), se procedió a determinar el contenido volumétrico del suelo, como se observó en la figura N°57 el resultado inicial fue de 13.10 % valor que nos indicó que el suelo de RB contiene 13.10 % de agua en  $1 \text{ cm}^3$  de suelo, los valores más altos de humedad gravimétrica se dieron en la primera etapa a una aplicación de 30 V durante 10 minutos.

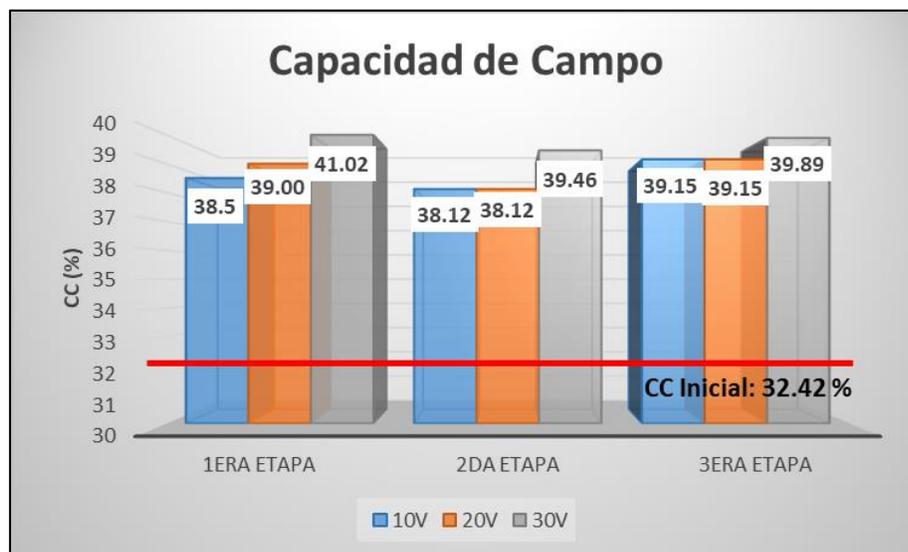
➤ **Punto de Marchitez Permanente (PMP)**



**Figura 58.** Mediciones de PMP en las tres etapas de la electroremediación.

En el caso del punto de marchitez permanente (PMP), se hace mención a la cantidad de agua presente en el suelo cuando las plantas que en él crecen se marchitan, como se observó en la figura N°58 vemos que el valor inicial de PMP fue de 17.23 % valor que indicó de acuerdo a su clasificación textural por tipo de suelo un buen estado de suelo para fines agrícola a diferencia de todas las etapas de tratamiento donde el PMP aumento ellos debido a la consistencia acuosa de la muestra por la adición de los electrolitos.

➤ **Capacidad de Campo (CC)**



**Figura 59.** Mediciones de CC en las tres etapas de electroremediación.

Para la representación de la cantidad máxima de agua que puede retener el suelo agrícola de RB se determinó la capacidad de campo (CC), dando el resultado de 32.42 % de CC, dicho valor representa a los suelos arcillosos dado que el suelo de dicho lugar está constituido por un 23% de arcilla. Como se observó en la imagen N°59 el mayor porcentaje de CC se produjo en la primera etapa a una aplicación de 30V en un tiempo de 10 minutos ello debido a que se sometió a menor tiempo de tratamiento.

**3.3. Remoción de plomo en las tres etapas de electroremediación con relación al ECA de suelos.**

**Tabla 20.** Porcentaje de remoción

Tratamiento	Voltaje (V)	% Remoción Pb
<b>1era etapa</b>	10	22.30
	20	35.00
	30	55.00
<b>2da etapa</b>	10	15.61
	20	34.92
	30	55.19
<b>3era etapa</b>	10	22.35
	20	34.91
	30	55.99

### 3.2. Análisis estadístico

Para la realización del presente trabajo de investigación se tuvo en cuenta una muestra de suelo agrícola contaminado con Pb, dicho metal proviene de las aguas contaminadas del Río Chillón empleadas para su riego, la concentración inicial de Pb que se obtuvo fue de 99.6 mg/kg el cual sobrepasa los valores establecidos en las ECAs para suelos agrícolas (70 mg/kg).

En el análisis estadístico se tuvo en cuenta los datos de muestreo iniciales y finales (pre y post-tratamiento) de la concentración de Plomo, las características físicas (HG, Contenido Volumétrico, CC y PMP), químicas (pH, CE, Potencial Redox y el CIC), el tiempo (min) y Amperaje (A).

#### a) Contraste de Normalidad

Para la prueba de Normalidad se empleó el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), el contraste que se desarrolló para el presente análisis será de Shapiro-Wilks, debido a que la muestra es menor a 50 datos. A continuación, se planteó la hipótesis referente a la normalidad  $H_1$  y  $H_0$ .

$H_1$ : La muestra no procede de una población normal.

$H_0$ : La muestra procede de una población normal.

Reglas de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

Sig.  $> \alpha =$  Se acepta  $H_0$

Sig.  $\leq \alpha =$  Se rechaza  $H_0$

#### i. Plomo

##### ➤ Primera etapa

Tabla 21. Prueba de Shapiro-Wilk para Plomo primera etapa

Prueba de normalidad				
Shapiro-Wilk				
	Voltaje	Estadístico	gl	Sig.
Pb	10	,975	9	,933
	20	,834	9	,049
	30	,904	9	,274

Hi: La muestra no procede de una población normal.

Ho: La muestra procede de una población normal.

Reglas de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

Sig.  $> \alpha =$  Se acepta  $H_0$

Sig.  $\leq \alpha =$  Se rechaza  $H_0$

Durante la primera etapa de la electrorremediación en grado de significancia para 10V fue de 0.933 y para 30V de 0.274 en ambos los valores fueron mayor a 0.05 por lo cual ambos provienen de una población normal, sin embargo, en la aplicación de 20V la significancia fue de 0.049 menor a 0.05 en este caso la muestra no procede de una población normal.

➤ **Segunda etapa**

*Tabla 22. Prueba de Shapiro-Wilk para Plomo-segunda etapa*

Prueba de normalidad				
Shapiro-Wilk				
	Voltaje	Estadístico	gl	Sig.
Pb	10	,966	9	,862
	20	,837	9	,054
	30	,905	9	,283

Hi: La muestra no procede de una población normal.

Ho: La muestra procede de una población normal.

Reglas de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

Sig.  $> \alpha =$  Se acepta  $H_0$

Sig.  $\leq \alpha =$  Se rechaza  $H_0$

Debido a que los grados de significancia durante la segunda etapa de tratamiento fueron mayores a 0.05 (5%), por lo tanto, se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se rechaza la hipótesis alterna ( $H_1$ ) ya que la muestra procede de una población normal.

➤ **Tercera etapa.**

*Tabla 23. Prueba de Shapiro-Wilk para Plomo-tercera etapa*

Prueba de normalidad				
Shapiro-Wilk				
	Voltaje	Estadístico	gl	Sig.
Pb	10	,972	9	,908
	20	,833	9	,048
	30	,904	9	,277

Hi: La muestra no procede de una población normal.

Ho: La muestra procede de una población normal.

Reglas de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

Sig.  $> \alpha =$  Se acepta  $H_0$

Sig.  $\leq \alpha =$  Se rechaza  $H_0$

Durante la primera etapa de la electroremediación en grado de significancia para 10V fue de 0.908 y para 30V de 0.277 en ambos los valores fueron mayor a 0.05 por lo cual ambos provienen de una población normal, sin embargo, en la aplicación de 20V la significancia fue de 0.048 menor a 0.05 en este caso la muestra no procede de una población normal.

## ii. Intensidad de corriente (A)

Tabla 24. Prueba de Shapiro-Wilk para Intensidad de corriente

Prueba de normalidad				
Shapiro-Wilk				
	Voltaje	Estadístico	gl	Sig.
Pb	10	,972	9	,908
	20	,833	9	,048
	30	,904	9	,277

Hi: La muestra no procede de una población normal.

Ho: La muestra procede de una población normal.

Reglas de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

Sig.  $> \alpha =$  Se acepta  $H_0$

Sig.  $\leq \alpha =$  Se rechaza  $H_0$

Debido a que el grado de significancia durante la aplicación de 20V en las tres etapas de tratamiento fue menor a 0.05 (5%), por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_1$ ) ya que la muestra no procede de una población normal, a diferencia de las aplicaciones de 10V y 30V donde presentó significancia mayor a 0.05 (5%) por consiguiente la muestra procede de una población normal.

### iii. Tiempo de tratamiento (minutos)

Tabla 25. Prueba de Shapiro Wilk para tiempo de tratamiento

Prueba de normalidad				
Shapiro-Wilk				
Pb	Voltaje	Estadístico	gl	Sig.
	1	,750	9	,000
	2	,750	9	,000
	3	,750	9	,000

Hi: La muestra no procede de una población normal.

Ho: La muestra procede de una población normal.

Reglas de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

Sig.  $> \alpha =$  Se acepta  $H_0$

Sig.  $\leq \alpha =$  Se rechaza  $H_0$

En todas las etapas del tratamiento los grados de significancia fueron menores a 0.005 (5%), por consiguiente, la muestra no procede de una población normal.

### b) Homogeneidad de Varianzas

Para la realización de homogeneidad de Varianzas se empleó la prueba de Levene, la cual consiste en evaluar si existe igualdad entre varianzas, por consiguiente, se estableció la siguiente hipótesis:

$H_1$ : Si existen diferencias entre las varianzas.

$H_0$ : No existen diferencias entre las varianzas.

Regla de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

Sig  $> \alpha$  aceptamos la  $H_0$

Sig  $\leq \alpha$  aceptamos la  $H_1$

**i. Plomo**

➤ **Primera etapa**

*Tabla 26. Primera etapa-Plomo*

<b>Prueba de homogeneidad de varianzas</b>			
PLOMO			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
6,020	2	24	,008

$H_1$ : Si existen diferencias entre las varianzas.

$H_0$ : No existen diferencias entre las varianzas.

Regla de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

$\text{Sig} > \alpha$  aceptamos la  $H_0$

$\text{Sig} \leq \alpha$  aceptamos la  $H_1$

El grado de significancia fue de 0.008 valor menor a 0.05 (5%), por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna ya que si existe diferencia entre las varianzas.

➤ **Segunda etapa**

*Tabla 27. Segunda etapa-Plomo*

<b>Prueba de homogeneidad de varianzas</b>			
PLOMO			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
6,039	2	24	,008

$H_1$ : Si existen diferencias entre las varianzas.

$H_0$ : No existen diferencias entre las varianzas.

Regla de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

$\text{Sig} > \alpha$  aceptamos la  $H_0$

$\text{Sig} \leq \alpha$  aceptamos la  $H_1$

El grado de significancia fue de 0.008 valor menor a 0.05 (5%), por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna ya que si existe diferencia entre las varianzas.

➤ **Tercera etapa**

**Tabla 28.** *Tercera etapa-Plomo*

<b>Prueba de homogeneidad de varianzas</b>			
PLOMO			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
4,989	2	24	,015

H<sub>1</sub>: Si existen diferencias entre las varianzas.

H<sub>0</sub>: No existen diferencias entre las varianzas.

Regla de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

Sig >  $\alpha$  aceptamos la H<sub>0</sub>

Sig ≤  $\alpha$  aceptamos la H<sub>1</sub>

El grado de significancia fue de 0.015 valor menor a 0.05 (5%), por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna ya que si existe diferencia entre las varianzas.

**ii. Intensidad de corriente**

**Tabla 29.** *Intensidad de corriente en las tres etapas de la electroremediación*

<b>Prueba de homogeneidad de varianzas</b>			
AMPERAJE			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
1,571	2	6	,283

$H_1$ : Si existen diferencias entre las varianzas.

$H_0$ : No existen diferencias entre las varianzas.

Regla de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

$\text{Sig} > \alpha$  aceptamos la  $H_0$

$\text{Sig} \leq \alpha$  aceptamos la  $H_1$

El grado de significancia fue de 0.283 valor mayor a 0.05 (5%), por lo tanto, aceptamos la hipótesis nula y rechazamos la hipótesis alterna ya que no existen diferencias entre las varianzas.

### iii. Tiempo de tratamiento

Tabla 30. *Tiempo de tratamiento en las tres etapas de la electrorremediación.*

Prueba de homogeneidad de varianzas			
TIEMPO			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
7,750	2	24	,022

$H_1$ : Si existen diferencias entre las varianzas.

$H_0$ : No existen diferencias entre las varianzas.

Regla de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

$\text{Sig} > \alpha$  aceptamos la  $H_0$

$\text{Sig} \leq \alpha$  aceptamos la  $H_1$

El grado de significancia de 0.022 es menor a 0.05 (5%), por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna ya que si existe diferencia entre las varianzas.

### c) Prueba de Hipótesis

Para la prueba de hipótesis empleamos el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) y el análisis de varianza (ANOVA), el cual prueba si la hipótesis de las medias de nuestras poblaciones son iguales o no.

$H_1$ : Todas las medidas del tratamiento no son iguales.

$H_0$ : todas las medidas del tratamiento son iguales.

Regla de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

$\text{Sig} > \alpha$  aceptamos la  $H_0$

$\text{Sig} \leq \alpha$  aceptamos la  $H_1$

**i. Plomo**

➤ **Primera etapa**

*Tabla 31. Primera etapa-Plomo*

<b>ANOVA</b>					
<b>PLOMO</b>					
	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Entre grupos</b>	431,245	2	215,623	2,978	,007
<b>Dentro de grupos</b>	1737,778	24	72,407		
<b>Total</b>	2169,023	26			

$H_1$ : La concentración final de Pb después de aplicar la electroremediación en la primera etapa no son iguales.

$H_0$ : La concentración final de Pb después de aplicar la electroremediación en la primera etapa son iguales.

Regla de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

$\text{Sig} > \alpha$  aceptamos la  $H_0$

$\text{Sig} \leq \alpha$  aceptamos la  $H_1$

El grado de significancia en la primera etapa de la electroremediación fue de 0.007 valor menor a 0.05 (5%) de aceptación por lo tanto se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, ya que la concentración de Pb después de aplicar la electroremediación en la primera etapa de tratamiento no son iguales

➤ **Segunda etapa**

*Tabla 32. Segunda etapa-Plomo*

<b>ANOVA</b>					
<b>PLOMO</b>					
	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Entre grupos</b>	430,603	2	215,302	2,993	,006
<b>Dentro de grupos</b>	1726,511	24	71,938		
<b>Total</b>	2157,114	26			

H<sub>1</sub>: La concentración final de Pb después de aplicar la electroremediación en la segunda etapa no son iguales.

H<sub>0</sub>: La concentración final de Pb después de aplicar la electroremediación en la segunda etapa son iguales.

Regla de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

Sig >  $\alpha$  aceptamos la H<sub>0</sub>

Sig ≤  $\alpha$  aceptamos la H<sub>1</sub>

El grado de significancia en la primera etapa de la electroremediación fue de 0.006 valor menor a 0.05 (5%) de aceptación por lo tanto se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, ya que la concentración de Pb después de aplicar la electroremediación en la segunda etapa de tratamiento no son iguales.

➤ **Tercera etapa**

*Tabla 33. Tercera etapa-Plomo*

<b>ANOVA</b>					
<b>PLOMO</b>					
	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Entre grupos</b>	346,638	2	173,319	2,341	,002
<b>Dentro de grupos</b>	1776,685	24	74,029		
<b>Total</b>	2123,322	26			

H<sub>1</sub>: La concentración final de Pb después de aplicar la electroremediación en la tercera etapa no son iguales.

H<sub>0</sub>: La concentración final de Pb después de aplicar la electroremediación en la tercera etapa son iguales.

Regla de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

$\text{Sig} > \alpha$  aceptamos la H<sub>0</sub>

$\text{Sig} \leq \alpha$  aceptamos la H<sub>1</sub>

El grado de significancia en la primera etapa de la electroremediación fue de 0.002 valor menor a 0.05 (5%) de aceptación por lo tanto se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, ya que la concentración de Pb después de aplicar la electroremediación en la tercera etapa de tratamiento no son iguales.

## ii. Intensidad de corriente

Tabla 34. Intensidad de corriente

ANOVA					
AMPERAJE					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3,285	2	1,643	115,228	,000
Dentro de grupos	,086	6	,014		
Total	3,371	8			

H<sub>1</sub>: La intensidad de corriente no es igual en las tres etapas de la electroremediación en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo.

H<sub>0</sub>: La intensidad de corriente es igual en las tres etapas de la electroremediación en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo.

Regla de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

$\text{Sig} > \alpha$  aceptamos la H<sub>0</sub>

$\text{Sig} \leq \alpha$  aceptamos la H<sub>1</sub>

El grado de significancia fue de 0.000 valor menor a 0.05 (5%) de aceptación por lo tanto se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula ya que la intensidad de corriente (A)

no es igual en las tres etapas de la electrorremediación en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo.

**iii. Tiempo de tratamiento (minutos)**

*Tabla 35. Tiempo de tratamiento*

<b>ANOVA</b>					
<b>TIEMPO</b>					
	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
<b>Entre grupos</b>	178,667	2	89,333	30,923	,001
<b>Dentro de grupos</b>	17,333	6	2,889		
<b>Total</b>	196,000	8			

H<sub>1</sub>: El tiempo de tratamiento no es igual en las tres etapas de la electrorremediación en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo.

H<sub>0</sub>: El tiempo de tratamiento es igual en las tres etapas de la electrorremediación en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo.

Regla de decisión:  $\alpha = 5\% = 0.05$

$\text{Sig} > \alpha$  aceptamos la H<sub>0</sub>

$\text{Sig} \leq \alpha$  aceptamos la H<sub>1</sub>

El grado de significancia es menor a 0.05 (5%) de aceptación por lo tanto se acepta la hipótesis alterna y se rechaza la hipótesis nula, ya que el tiempo de tratamiento no es igual en las tres etapas de la electrorremediación en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo.

#### IV. DISCUSIÓN

La muestra de suelo fue analizada encontrando una concentración de 99.7mg/kg de plomo, sobrepasando la normativa peruana de los ECA's, es por tal razón que se procedió a aplicar la electrorremediación ya que esta técnica es efectiva para remover contaminantes de diferentes características, así como para los metales pesados como lo detalla Ybañez R. (2018) y Abdel-Fattah, R.(2014) quien aplicó la técnica para recuperar suelos salinos asimismo Risco, C. (2016) hace mención que se puede aplicar esta técnica para eliminar pesticidas en suelos agrícolas empleando tecnologías electroquímicas.

Para el presente trabajo de investigación se trabajó con un suelo de uso agrícola, donde se preparó las muestra, las cuales fueron sometidas a la electrorremediación, dicha técnica estuvo dividida en tres etapas, donde la primera estaba determinada por el tiempo de 10 minutos y esta a su vez dividida en tres tratamientos de diferentes voltaje obteniendo 0.61A en 10V, 1.34A en 20V y 2.02A en 30V; en la segunda etapa con 20 minutos de aplicación de la electrorremediación los resultados fueron de 0.75A para 10V, 1.60A para 20V y 2.26A para 30V; finalmente en la tercera etapa con una aplicación de 30 minutos de tratamiento los resultados fueron de 0.70<sup>a</sup> en 10V, 1.59A en 20V y 2.21A en 30V.

En las tres etapas se utilizaron los electrodos de acero de 20 cm de largo, 5 cm de ancho y 0.3 cm de espesor, celdas de plástico con la capacidad de 2 kg, siendo las medidas: 15 cm (largo) x 17 cm (altura) x 14 cm (base), ácido acético y acetato de amonio como electrolitos. Los resultados obtenidos fueron en la primera etapa donde se aplicó 10 minutos de electrorremediación en tres diferentes voltajes para 10V se removió 6.63 mg/kg de Pb, en 20V se removió 10.40 mg/kg de Pb y en 30V se removió 16.34 mg/kg de Pb; en la segunda etapa para 10V se removió 6.64 mg/kg de Pb, en 20V se removió 10.37 mg/kg de Pb y en 30V se removió 16.33 mg/kg de Pb; finalmente en la tercera etapa las concentraciones de remoción fueron para 10V 6.64 mg/kg de Pb, 20V 10.37 mg/kg de Pb y en 30V 16.34 mg/kg de Pb.

En la siguiente investigación se aplicó la técnica a nivel laboratorio como lo detalla Alvarado (2015), De la torre y Guevara (2014) donde mencionaron las condiciones para desarrollar la electrorremediación, en los artículos hacen mención que se emplearon una fuente de poder, celdas, electrodos y electrolito, todo ello con la finalidad de reducir la concentración de metales.

En el caso de Ybañez (2018) utilizó muestras de lodos de una PTAR, sin embargo en la presente investigación se utilizó muestra de un suelo agrícola cuyo contaminante proviene de las aguas del río Chillón, las cuales fueron utilizadas como agua de riego para los cultivos en el área de estudio, del mismo Moghadam M. et al (2016) mencionó que la electrorremediación fue efectiva en suelos de baja permeabilidad con compleja composición de arcilla donde existió la interacción del contaminante, microorganismos y nutrientes, ya que si el suelo presenta textura arenosa no se podría realizar la técnica ya que el electrolito tendría a infiltrarse rápidamente, evitando la interacción de la solución y del corriente eléctrica.

Para esta técnica se utilizó el ácido acético como electrolito con el fin de humectar la muestra para permitir el movimiento catiónico, ya que estos electrolitos presentan características orgánicas las cuales son favorables para este tipo de tratamiento en suelos y son menos riesgosos para el medio ambiente y la salud del hombre a diferencia de los ácidos inorgánicos como lo menciona Zang, et al (2018), el investigador utilizó el ácido cítrico el cual pertenece al grupo de los ácidos orgánicos, donde se humectó suelos de origen agrícola (arrozal) del mismo modo Moreno A. (2017) para disminuir la concentración de cadmio utilizó ácido acético y agua como solventes en un tiempo de 24 horas de tratamiento.

En la presente investigación se optó por utilizar los electrodos de acero, así como lo hizo Rodríguez (2016) quien optó por emplearlos para la remoción de Pb, ya que el acero tiene la propiedad de no corroerse, en otras palabras, no altera los resultados de la electrorremediación además Streches C. (2018) para remediar suelos contaminados con hidrocarburos también utilizó los electrodos de acero con el solvente agua como electrolito.

Moreno A. (2017) para la remoción de cadmio utilizó en los experimentos un potencial de 20V y 40 V, brindando mejores resultados en las unidades experimentales E, F y H con 40V y 1A por un tiempo de aplicación de 24 horas, asimismo Ybañez R. (2018) aplicó de 0.9V hasta 12 V y 3A por 24 horas y Pérez E. (2017) también aplicó un potencial de 20V y 40V con un amperaje de 2 y 2 a diferencia de esta investigación donde los mejores resultados se obtuvieron en la aplicación de 30V en las tres etapas de la electrorremediación con un promedio de amperaje de 2A.

En los resultados finales de los experimentos de Zhang R et al (2018) se pudo disminuir el plomo en un 83.7%, en Ybañez R. (2018) disminuyó a 71.11% de plomo y 71.65% de cadmio, asimismo De la Torre (2014) obtuvo 95% de remoción de cobre y 74% de Zinc (planta piloto)

en comparación con los resultados de esta experimentación la diferencia es marcada, ya que se produjo una remoción máxima de plomo con la aplicación de 30V de 16.38 % de remoción sin embargo comparado con el ECA para suelos (70 mg/kg de Pb) se obtuvo una remoción de 55% valor aceptable ya que se trató de suelos agrícolas.

Según Streches C. (2018) mencionó que a mayor utilización de tiempo de tratamiento mayor remediación de suelos con contaminantes, sin embargo, en este trabajo de investigación no se pudo aplicar más tiempo de tratamiento debido a que se alteran las características naturales de un suelo agrícola a comparación de lodos de PTAR, relaves de minería, etc. donde la concentración de los contaminantes es mucho mayor.

## V. CONCLUSIONES

El suelo de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo presentó una concentración inicial de 99.7 mg/kg de Pb. Las muestras de suelo RB al ser sometida a las tres etapas de la técnica de electroremediación presentaron una variación en concentración de plomo, donde en la tercera etapa de tratamiento con un tiempo de 30 minutos a 30V se logró una mayor remoción de 55.99% en relación al ECA de suelos.

Dentro de las características físicas iniciales del suelo de la zona agrícola de Roma Baja se pueden determinar que los valores iniciales sufrieron una variación considerable en las tres etapas durante la aplicación de 30V como fue el caso de la humedad gravimétrica (HG) con el valor inicial de 9.29% a un promedio de 27.23% en las tres etapas por causa de la adición de los electrolitos.

Las características químicas iniciales también sufrieron variaciones como es el caso del pH pasando de un valor de 7.23 (neutro) a un pH máximo de 9.39 (ligeramente alcalino) el cual se dio en la tercera etapa con aplicación de 30V; la conductividad eléctrica siendo la inicial de 475 uS/cm valor que indica que el suelo presenta un bajo estado de salinidad, a diferencia del último tratamiento donde se produjo un mayor valor de 2956 uS/cm aplicando 30 V y 30 min valor que no es accesible para algunos tipos de cultivos y finalmente en el caso de potasio (K) y fósforo (P) quienes son macronutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas, se produjo una disminución de estos a razón del aumento de voltaje, en el potasio (K) pasando de 99.89 ppm a 54.89 ppm y en el caso del fósforo (P) de 20.45 ppm a 9.96 ppm.

La experimentación estuvo dividida en tres etapas, y estas fueron sometidas cada una a tiempos distintos (10, 20 y 30 min), obteniendo como resultado que en el tercer tratamiento donde se aplicó la técnica por 30 minutos durante la aplicación de 30 V se tuvo mejor remoción, si bien es cierto a mayor tiempo de tratamiento y mayor voltaje se obtuvieron mejores resultados, sin embargo, no es favorable para los suelos agrícolas ya que se alteran sus características naturales.

Para la realización de la electrorremediación se aplicó distintas medidas de intensidad de corriente, lo cual fue determinante para la remoción de plomo ya que la mayor remoción se dio en la tercera etapa cuando se aplicó 30V donde la intensidad de corriente fue un promedio de 2.21A.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Para la realización de la electrorremediación se debe emplear electrolitos débiles, ya que estos no van a modificar la composición natural del suelo primordialmente la materia orgánica.
- Para obtener mejores resultados en la técnica de electrorremediación es muy importante mantener controlado el pH ya que de esta manera los contaminantes se mantienen en solución, también tener en cuenta el material de los electrodos que sea el adecuado para el tipo de contaminante que se desea remover.
- Después de haber realizado la electrorremediación, se recomienda aplicar al suelo algún tipo de abono orgánico, ya que por la acción del paso de corriente se pierden ciertas propiedades naturales beneficiosas para el suelo.
- No se recomienda realizar la técnica de electrorremediación en suelos agrícolas en periodos de tiempo mayores, ya que a mayor tiempo se vería perjudicada las características físicas, químicas y biológicas del suelo.

## REFERENCIAS

ABDEL-FATTAH, M. Reclaiming saline-sodic soils using electrochemical processes: A case study from sahl el-tina plain, Egypt. Roczniki Gleboznawcze, Revista de ciencia [en línea]. 2014. [Fecha de consulta: 10 de setiembre del 2018]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2478/ssa-2014-0008>

ARAGON, C; DE LA TORRE, E; GUEVARA, A. Diseño a Escalas laboratorio y piloto de un sistema de remediación electrocinética de suelos contaminados con metales pesados. Revista Politécnica [en línea] .2014. [Fecha de consulta: 10 de noviembre del 2018]. Disponible en: <http://www.revistapolitecnica.epn.edu.ec/images/revista/volumen34/tomo1/DisenoaEscalasLaboratorioyPiloto.pdf>

ALVARADO, Juana. Electrobiorremediación, una técnica innovadora para la limpieza de suelos contaminados. Revista de ciencia [en línea]. 2015. [Fecha de consulta: el 30 de setiembre del 2018]. Disponible en: <http://www.epistemus.uson.mx/revistas/articulos/18-ELECTROBIORREMEDIACION.pdf>

BAZTAN, Maite; PUCCI, Oscar; PUCCI, Graciela. Electrorremediación de un suelo con una contaminación antigua de hidrocarburo. Acta biológica colombiana [en línea]. May-ago2015, Vol.20. [Fecha de consulta: 20 de setiembre del 2018]. Disponible en: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=29&sid=a65939a4-de6e-4ea9-8641-bb243f0aa146%40sessionmgr104&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=102236616&db=a9h>

CASTABLANCO, Javier. Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de Cacao. Revista de Ciencias de la Vida [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 23 de mayo del 2019]. Disponible en:

<https://search.proquest.com/docview/2209680177/E8730B5DA7504ED2PQ/2?accountid=37408>

CHAVEZ, Luciana. Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo. Tesis (Para optar título profesional de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú, 2014

DUARTE, Ivonne; BUSTOS, Erika; TEUTLI, Margarita. Compost Aided Electrokinetic Remediation of an Hydrocarbon Polluted Soil. Revista Scielo, J. Mex. Chem. Soc vol.58 no.3 México [en línea]. Julio-agosto, 2014. [Fecha de consulta: 30 de noviembre del 2018]. Disponible: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-249X2014000300013&lang=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-249X2014000300013&lang=pt)

ESCOBAR, Alexander; OCAS, Segundo. Electrorremediación en función de la densidad de corriente y la concentración de ácido acético, como alternativa para la disminución de plomo en relaves mineros-Mina Paredones, Cajamarca. Tesis (Para optar Título profesional de Ingeniero de Minas). Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2016. Disponible en: <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/10682/Escobar%20Misahuaman%2c%20Alexander%20Jhonson%20-%20Segundo%20Martin%2c%20Ocas%20Izquierdo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

FAO. Guía para la descripción de suelos. Revista de ciencia [en línea]. 2009. [Fecha de consulta: 5 de setiembre del 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>

FAO. Agricultura urbana y periurbana en América Latina y el Caribe [en línea]. [Fecha de consultado: 2 de octubre del 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/agp/greenercities/es/cmvalc/lima.html>

FRAGOSO, Ángeles. Edafología: Determinación de la textura de suelo [en línea]. México: Universidad de Ciencias de Artes De Chiapas. Disponible en: <https://es.slideshare.net/kryzdfragg/textura-del-suelo>

GALANTINI, J.; ROSELL, R.; IGLESIAS J. Determinación de materia orgánica empleando el método de Walkley y Black en fracciones granulométricas del suelo [en línea]. Argentina, 1994. [Fecha de consulta: 7 de setiembre del 2018]. Disponible en: [http://suelos.org.ar/publicaciones/vol\\_12n2/galanti.pdf](http://suelos.org.ar/publicaciones/vol_12n2/galanti.pdf)

GARCIA, L; VARGAS, C. Electrorremediación de Pb en suelos contaminados de Zimapán Hidalgo, usando agua y ácido acético como electrolitos [en línea]. México, 2010. [Fecha de consulta: 1 de octubre del 2018]. Disponible en: [https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI\\_RecCorr/victor\\_reyes/EAm064.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_RecCorr/victor_reyes/EAm064.pdf)

GARCIA, Y; RAMIREZ, W; SANCHEZ, S. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: el 15 de setiembre del 2018] Disponible en: <http://go.galegroup.com/ps/anonymous?id=GALE%7CA448339849&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=fulltext&issn=08640394&p=AONE&sw=w&userGroupName=univcv>

GISBERT, Juan; IBAÑEZ, Sara; MORENO, Héctor. Textura de un suelo [en línea]. España: Universidad de Valencia [Fecha de consulta: 05 de octubre del 2018]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf>

GOMERO, O; LIZARRAGA, A. Plaguicidas en la sierra peruana [en línea]. [Fecha de consulta: 20 de agosto del 2018]. Disponible en: <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-15-numero-2-1/2450-plaguicidas-en-la-sierra-peruana>

JARAMILLO, Daniel. Introducción a la ciencia del suelo [en línea]. Colombia: Universidad Nacional de Colombia [Fecha de consulta: 12 de setiembre del 2018]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>

MARCHESE, Adolfo. Estudio físico y químico de suelos agrícolas para la estimación del nivel de salinización en el sector bajo de San Pedro de Lloc. Tesis (Licenciado en Química). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú, 2015. Disponible en: [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/6442/MARCHESE\\_ADOLOFO\\_BRUNO\\_SUELOS\\_AGRICOLAS\\_SALINIZACION.pdf?sequence=1](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/6442/MARCHESE_ADOLOFO_BRUNO_SUELOS_AGRICOLAS_SALINIZACION.pdf?sequence=1)

MARTINEZ, Stefany. Valoración de soluciones humectantes para electroremediación de un suelo intemperizado con alto contenido de carbonatos [en línea]. 2012. México: Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” [Fecha de consulta: 20 de setiembre del 2018]. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2634/STEFANY%20MARTINEZ%20GTZ.pdf?sequence=1>

MARTINEZ, M. SOTO, A. Remoción de hidrocarburos de petróleo de un suelo de baja permeabilidad: biorremediación y Electroremediación. Revista de ciencia [en línea] 2017. [Fecha de consulta: el 10 de setiembre del 2018]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/620/62053304022.pdf>

MARTINEZ, Laura; VARGAS, Yessica. Evaluación de la contaminación en el suelo por plomo y cromo y planteamiento de alternativa de remediación en la represa del Muña, municipio de Sibate-Cundinamarca [en line] Bogotá 2017. [Fecha de consulta: el 30 de setiembre del 2018]. Disponible en: [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20512/41102037\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20512/41102037_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

MINAGRI. Manejo y fertilidad de suelos [en línea] Perú, 2011 [Fecha de consulta: el 7 de octubre del 2018]. Disponible en: <http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/papa/manejoyfertilidaddesuelos.pdf>

MOGHADAM, M. J., MOAYEDI, H., SADEGHI, M. M., & HAJIANNIA, A. A review of combinations of electrokinetic applications. *Environmental Geochemistry and Health*, 38(6), 1217-1227 [en línea]. 2014. [Fecha de consulta: 30 de setiembre del 2018]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s10653-016-9795-3>

MORENO, Paola. Disminución de la concentración de cadmio en el suelo con la técnica de Electrorremediación en una celda construida en el laboratorio. Tesis (Ingeniero Procesos Ambientales). Torreón: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México, 2017. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42148/PAOLA%20GUALDUPE%20MORENO%20ASCENCIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PEREZ, Eugenia. Disminución de la concentración de plomo en el suelo con la técnica de Electrorremediación en una celda construida en el laboratorio. Tesis (Ingeniero Procesos Ambientales). Torreón: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México, 2017. Disponible en: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42149/EUGENIA%20PEREZ%20RAMOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PRIETO Judith, GONZALES Cesar, ROMAN, Alma. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua [en línea]. 2009. [Fecha de consulta: 16 de setiembre del 2018]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/939/93911243003/>

RISCO, C. Electrorremediación de suelos contaminados con pesticidas por técnicas de lavado por barrido y barreras de contención de la contaminación [en línea] España 2016 [Fecha de consulta: 28 de noviembre del 2018]. Disponible en:  
<https://ruidera.uclm.es/xmlui/handle/10578/12478>

RODRIGUEZ, José.; GOMEZ, César. Tratamiento de suelos contaminados con plomo mediante técnicas electrocinéticas selectivas. Tesis (Doctor en Ingeniería Química). España: Universidad de Málaga, 2016. Disponible en:  
[file:///C:/Users/Lisbet/Downloads/TD\\_VILLEN\\_GUZMAN\\_Maria\\_Dolores.pdf](file:///C:/Users/Lisbet/Downloads/TD_VILLEN_GUZMAN_Maria_Dolores.pdf)

RUBIO, Virgilio; PEREZ, Manuel; JACOBS, Richard; HERRERA, Ronald. Modelación computacional en dos dimensiones de la remediación electrocinética del suelo contaminado con cobre parte II: análisis de la sensibilidad para un campo de suelo triangular. Revista científica Scielo [en línea]. Dyna rev.fac.nac.minas vol.81 no.183 Medellín. Enero-febrero 2014. [Fecha de consulta: 30 de noviembre del 2018]. Disponible en:  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532014000100023&lang=pt](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000100023&lang=pt)

STRECHES, Constantin; COCARTA, Diana; ISTRATA, Irina. Decontamination of soils contaminated by oil using the electrochemical technique: Degree of remediation and energy consumption. Revista Scientific Report [en línea]. Diciembre 2018. [Fecha de consulta: 17 de setiembre del 2018]. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-018-21606-4>

TREJO, Nallely; PRIETO, Judith; PRIETO, Francisco; ACEVEDO, Otilio; MATMOLEJO, Yolanda. Tecnologías de remediación para suelos salinos, un caso de estudio: México. Avances en Ciencias e Ingeniería [en línea]. Enero-marzo 2019. [Fecha de consulta: 23 de mayo del 2019].

Disponible en: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=15&sid=4cf91e28-f82a-47a4-96e8-03779b2e2552%40sessionmgr120>

VERA, Samuel. Remediación de suelo contaminado por derrame de concentrado de cobre empleando ácidos húmicos. Tesis (Ingeniero Ambiental). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú 2018. Disponible en: <http://190.119.213.91/bitstream/handle/UNSA/7563/AMvegasl.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VELASQUEZ Johana. Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. Revista de Investigación Agraria y Ambiental [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 23 de mayo del 2019]. Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/1955992586/fulltextPDF/DF2D331B5EDA47D0PQ/2?aaccountid=37408>

VILLEN, M. Tratamiento de suelos contaminados con plomo mediante técnicas electrocinéticas selectivas. Tesis (Doctoral en Ingeniería química). Universidad de Málaga, 2016. Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/1676626381/59594FA7CAB64DF0PQ/3?accountid=45097>

YAN, Y; XUE, F; FAHEEM, LIN, Y; XU, F; JIAO, B; SHIAU, Y; LI, D. Application of charged iron activated carbón electrodes for electrokinetic remediation of soil contaminated with chromium in a three-dimensional electrode system. Scientific Report Vol. 8(1) [en línea]. 2018.[Fecha de consulta: 15 de noviembre del 2018]. Disponible en: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=7&sid=a65939a4-de6e-4ea9-8641-bb243f0aa146%40sessionmgr104&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=29636517&db=cmedm>

YAURI, Consuelo. Estudio de técnicas electroquímicas para la remediación de suelos. Tesis (Licenciado en químico). Lima: Universidad nacional de Ingeniería. Perú, 2014. Disponible en: [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4096/1/yauri\\_gc.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4096/1/yauri_gc.pdf)

YBAÑEZ, Milagros. Remoción de Plomo y Cadmio en lodos Residuales del PTAR Ventanilla mediante Remediación Electrocinética, Lima-2018. Tesis (Ingeniera Ambiental). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2018. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/24886>

ZHANG, T., ZOU, H., JI, M., LI, X., LI, L., & TANG, T. Enhanced electrokinetic remediation of lead-contaminated soil by complexing agents and approaching anodes. *Environmental Science and Pollution Research International*, 21(4), 3126-33 [en línea]. 2014. [Fecha de consulta: 17 de setiembre del 2018]. Disponible: <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-013-2274-9>

ZANG, Yingjie; CHU, Guohua; PENG, Dong; XIAO, Jie; MENG, Qi; BAUMGARTEL, Mark; XU, Bin; TAO Hao. Improved electrokinetic remediation of rice soils contaminated with lead and cadmium by electrolyte composed of sodium chloride and citric acid. *Journal of Soils and Sediments*, Mayo 2018 [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 5 de noviembre del 2018]. Disponible en: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=5&sid=a65939a4-de6e-4ea9-8641-bb243f0aa146%40sessionmgr104&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=12918022S0&db=eih>

## ANEXOS

### ANEXO N° 01

#### Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
<p><b>Problema General</b> ¿Cuál es la capacidad de remoción de plomo mediante la electroremediación en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo, 2019?</p> <p><b>Problemas específicos</b></p> <p>¿Cuáles serán las características físicas de los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo antes y después de la Electroremediación?</p> <p>¿Cuáles serán las características químicas de los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo antes y después de la Electroremediación?</p> <p>¿Cuál será el tiempo óptimo que se empleará en la Electroremediación para remover plomo en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo?</p> <p>¿Cuál será el amperaje y voltaje que se empleará en la Electroremediación para remover plomo en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo?</p>	<p><b>Objetivo General</b> Determinar la capacidad de remoción de plomo en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b> Determinar las características físicas de los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo antes y después de la Electroremediación. Determinar las características químicas de los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo antes y después de la Electroremediación. Determinar el tiempo óptimo que se empleará en la Electroremediación para remover plomo en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo. Determinar el Amperaje y Voltaje que se empleará en la Electroremediación para remover plomo en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo.</p>	<p><b>Hipótesis General</b> La técnica de Electroremediación logra remover significativamente la concentración de plomo en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b> La remoción de plomo en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo va a depender del tiempo que se aplica en la técnica de Electroremediación. La remoción de plomo en los suelos de la zona agrícola Roma Baja, Carabayllo, va a depender de la intensidad de corriente (Amper) y la intensidad de Voltaje (V) que se aplica en la técnica de Electroremediación.</p>	<p><b>V. Independiente:</b> Electroremediación</p> <p><b>V. Dependiente</b> Remoción de plomo de suelos agrícolas.</p>

## ANEXO N° 02

### Análisis inicial

inicial



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

ANALISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITADO POR : LISBET INES CRISTOBAL ARZAPALO

Procedencia de la Muestra : Hacienda Roma Baja - Carabayllo

Recepción de Muestra : Lima, 30 de Abril del 2019

Código	T°C	pH Relación: 1:1	CE $\mu$ S/cm Relación: 1:1	Eh mv Relación: 1:1
RB - inicial	25	7.23	475	- 50.5

Código	% Mo	P (ppm)	K (ppm)	CIC Total
RB - inicial	0.45	20.45	99.89	25.48

Código	%Arena	%Limo	%Arcilla	%Porosidad total
RB - inicial	42	35	23	40.731

Código	Humedad Gravimétrica %HG	Contenido Volumétrico de agua	Capacidad de campo %CC	Punto de marchitez %PMP
RB - inicial	9.29	13.098	32.42	17.233

Código	Densidad Real (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Relativa (gr/cm <sup>3</sup> )	Conductividad Hidráulica (cm/s)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (gr/100ml)
RB - inicial	2.379	1.41	0.0213	40.002

Método Potenciométrico	Técnica: multiparámetro
Método espectrofotometría (EPA 3050)	Técnica: Absorción Atómica
Método Picnómetro	Técnica: Diferencia v/p

Lima, 8 de Mayo del 2019

MSc. Atilio Mendoza A.

Jefe Lab. Espectrometría

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú  
Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245  
e-mail: labespectro@uni.edu.pe



## ANEXO N° 03

### Análisis de Plomo



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**

Laboratorio de Espectrometría

#### ANALISIS DE MUESTRAS

SOLICITADO POR : LISBET INES CRISTOBAL ARZAPALO

Procedencia de la Muestra : Hacienda Roma Baja - Carabaylo

Recepción de Muestra : Lima, 11 de Abril del 2019

#### ANALISIS DE MUESTRA DE SUELO POR Pb

Código	Peso (mg/ml)	Pb (mg/Kg)
RB - Inicial	250/25	99.7

#### PRUEBAS DE ELECTROLISIS POR Pb – BLANCO

Muestra	Vol (ml)	Pb (mg/L)
BLANCO	100/50	99.7
RB – 10v	100/50	58.86
RB – 20v	100/50	58.13
RB – 30v	100/50	13.78

Método Espectrometría (EPA 3050)	Técnica: Absorción Atómica
----------------------------------	----------------------------

Lima, 18 de Abril del 2019

MSc. Atilio Mendoza A.  
Jefe Lab. Espectrometría

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú  
Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245  
e-mail: labespectro@uni.edu.pe

## ANEXO N° 04

### Certificado de calibración del Multiparámetro



**INVEMSAC**  
Salud Ocupacional y Ambiental

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
CALIBRATION CERTIFICATE  
INVEM-AMD077-300718



Fecha de emisión: 30/07/2018  
Issue date

**1.- SOLICITANTE** : INVESTIGACIONES ECONOMICAS EN MINERIA, ENERGÍA E HIDROCARBUROS S.A.C.  
Applicant  
Dirección : CAL. LUIS ROMERO NRO. 1050 URB. ROMA, LIMA - LIMA - CERCADO DE LIMA  
Address

**2.- INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:** SONDA DE pH/CE/°C

Marca	: HANNA INSTRUMENTS	Serie del equipo	: 08402616	Alcance:	pH	0,0 a 14,0
Brand		Serial			µS/cm	0 a 6000
Modelo	: HI 9811-5	Modelo de la sonda:	HI 1285-5		°C	0,0 a 70,0

**3.- FECHA Y LUGAR DE CALIBRACIÓN** Calibrado el día 30/07/2018 en el Laboratorio de INVEM S.A.C.  
Date and place of calibration Calibration on 30/07/2018 in the INVEM S.A.C. Laboratory

**4.- MÉTODO DE CALIBRACIÓN**

Calibration method  
Comparación directa del pHímetro y conductímetro entre el valor medido por el instrumento y el valor de referencia.

**5.- INSTRUMENTOS / EQUIPOS DE MEDICIÓN Y TRAZABILIDAD**

Instruments / Measuring equipment and traceability

INSTRUMENTO / EQUIPO Instrument / Equipment	MARCA Brand	NÚMERO DE LOTE Lot number
Solución Estándar 250 mL.	HANNA	6499
Solución Estándar 500 mL.	HACH	A7124

**6.- RESULTADOS**

Results  
Los resultados se muestran en la página 02 del presente documento  
The results are shown on page 02 of this document

**7.- CONDICIONES DE CALIBRACIÓN**

Calibrations conditions

	Temperatura Ambiente Environment temperature	Humedad Relativa Relative humidity	Presión Atmosférica Atmospheric pressure
INICIAL	Initial 25,0 °C	62,3 %	1000 mbar
FINAL	Final 25,0 °C	62,1 %	1000 mbar

**8.- OBSERVACIONES**

Observations  
La periodicidad de la calibración está en función del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.  
The frequency of calibration depends on the use, care and maintenance of the measuring instruments.  
Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
The results should not be used as a certification of conformity with product standards or how Quality System Certificate of Entity that produce it.

Pág. 1 de 2



Calle Luis Romero N° 1050 - Urb. Roma - Cercado de Lima  
Central Telefónica: (01) 596-3994  
E-mail: [invemsac@invemsac.com.pe](mailto:invemsac@invemsac.com.pe)  
[www.invemsac.com.pe](http://www.invemsac.com.pe)



**INVEMSAC**

Salud Ocupacional y Ambiental

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
CALIBRATION CERTIFICATE  
INVM-AM0077-300718



Fecha de emisión: 30/07/2018  
issue date

9.- RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN  
CALIBRATION RESULTS

VALOR DE REFERENCIA	VALOR MEDIDO DEL MULTIPARAMETRO	ERROR DE MEDICIÓN	INCERTIDUMBRE
1413 $\mu\text{S/cm}$	1430 $\mu\text{S/cm}$	-17 $\mu\text{S/cm}$	0.2
7.00 pH	6.85 pH	0.15 pH	0.2

  
Bach. Alex Cabrio Bedón  
Ingeniería Eléctrica  
Jefe del Área de Metrología  
e Instrumentación

  
M.Sc. José Luis Quevejana C.  
Responsable del Área de Metrología

FIN DEL DOCUMENTO  
END OF DOCUMENT

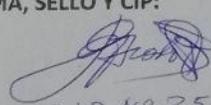
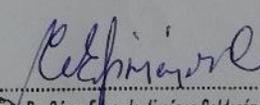
Pág. 2 de 2



Calle Luis Romero N° 1050 - Urb. Roma - Cercado de Lima  
Central Telefónica: (01) 596-3994  
E-mail: [invemsac@invemsac.com.pe](mailto:invemsac@invemsac.com.pe)  
[www.invemsac.com.pe](http://www.invemsac.com.pe)

## ANEXO N° 05

### Ficha de Mapa de Ubicación

 <b>UCV</b> UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	FECHA: _____ LUGAR: _____										
<b>“REMOCIÓN DE PLOMO MEDIANTE LA ELECTORREMEDIACIÓN EN LOS SUELOS DE LA ZONA AGRÍCOLA ROMA BAJA, CARABAYLLO 2019”</b>											
<b>FICHA DE MAPA DE UBICACIÓN</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;"> <b>FICHA : 001</b> </td> <td style="width: 70%;"> <b>ESCUELA: INGENIERÍA AMBIENTAL</b> </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> <b>RESPONSABLES:</b>            Bazan Baez, Heidy Viviana            Cristobal Arzapalo, Lisbet Ines         </td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="height: 150px; vertical-align: top;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>CÓDIGO: RB</b> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>ÁREA DE POBLACIÓN (m<sup>2</sup>):</b> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>COORDENADAS UTM:</b> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">X</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">Y</td> </tr> <tr> <td style="height: 40px;"> </td> <td style="height: 40px;"> </td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	<b>FICHA : 001</b>	<b>ESCUELA: INGENIERÍA AMBIENTAL</b>	<b>RESPONSABLES:</b> Bazan Baez, Heidy Viviana Cristobal Arzapalo, Lisbet Ines		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>CÓDIGO: RB</b> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>ÁREA DE POBLACIÓN (m<sup>2</sup>):</b> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>COORDENADAS UTM:</b> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">X</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">Y</td> </tr> <tr> <td style="height: 40px;"> </td> <td style="height: 40px;"> </td> </tr> </table>		X	Y		
<b>FICHA : 001</b>	<b>ESCUELA: INGENIERÍA AMBIENTAL</b>										
<b>RESPONSABLES:</b> Bazan Baez, Heidy Viviana Cristobal Arzapalo, Lisbet Ines											
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>CÓDIGO: RB</b> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>ÁREA DE POBLACIÓN (m<sup>2</sup>):</b> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <b>COORDENADAS UTM:</b> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">X</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">Y</td> </tr> <tr> <td style="height: 40px;"> </td> <td style="height: 40px;"> </td> </tr> </table>		X	Y								
X	Y										
<b>FIRMAS DE EXPERTOS</b>											
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b> <i>ACOSTA SUASNAVAR EUSTERIO HORACIO</i>	<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b> <i>CRUZ GONZALEZ JUNE J.</i>	<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b> <i>Dr. César Eduardo Jiménez Calderón</i>									
<b>FIRMA, SELLO Y CIP:</b>  CIP N° 25450	<b>FIRMA, SELLO Y CIP:</b>  CIP: 84442	<b>FIRMA, SELLO Y CIP:</b>   Dr. César Eduardo Jiménez Calderón CIP. 42355									



## ANEXO N° 07

### Ficha de caracterización de suelo



FECHA:
LUGAR:

**“REMOCIÓN DE PLOMO MEDIANTE LA ELECTORREMEDIACIÓN EN LOS SUELOS DE LA ZONA AGRÍCOLA ROMA BAJA, CARABAYLLO 2019”**

<b>FICHA DE CARACTERIZACIÓN DE SUELO</b>		<b>RESPONSABLES:</b> Bazán Baez, Heidy Viviana Cristobal Arzapalo, Lisbet Ines		FICHA: 002
				ESCUELA: INGENIERÍA AMBIENTAL
<b>SUELO DE LA ZONA AGRÍCOLA ROMA BAJA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>Medición inicial</b>
		Porosidad	%	
		Densidad Real	g/cm <sup>3</sup>	
		Densidad Aparente	g/cm <sup>3</sup>	
		Estructura	%	
		Textura	%	
		Humedad	%	
		Capacidad de campo	%	
		Punto de Marchitez	%	
		Conductividad Hidráulica	Cm/seg	
	<b>CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS</b>	Materia orgánica	m <sup>3</sup>	
		Conductividad eléctrica	uS/cm	
		Potencial Redox	mV	
		CIC	meq/100g	
		pH	Ácido-Base	

FIRMAS DE EXPERTOS		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b> ACOSTA SUAREZ EDUARDO HIDALGO	<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b> CRISTOBAL GONZALEZ TORO JELI	<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b> .....
<b>FIRMA, SELLO Y CIP:</b> CIP N° 25450	<b>FIRMA, SELLO Y CIP:</b> CIP: 34472	<b>FIRMA, SELLO Y CIP:</b> Dr. César Eduardo Jiménez Calderón CIP. 42355

## ANEXO N° 08

### Ficha de tratamiento de electrorremediación



**UCV**  
UNIVERSIDAD  
CESAR VALLEJO

FECHA: \_\_\_\_\_  
 LUGAR: \_\_\_\_\_

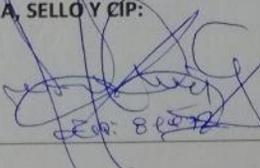
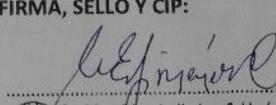
**“REMOCIÓN DE PLOMO MEDIANTE LA ELECTORREMIACIÓN EN LOS SUELOS DE LA ZONA AGRÍCOLA ROMA BAJA, CARABAYLLO 2019”**

TRATAMIENTO DE ELECTORREMIACIÓN.	ETAPA	TIPO DE ELECTROLITO	TIEMPO DE HUMECTACIÓN (h)	DISTANCIA DE ELECTRODOS (cm)
		ACETATO DE AMONIO/ÁCIDO ACÉTICO	1	7

TIEMPO /VOLTAJE	CÓDIGO	T (°C)	pH	Amperios (A)	CE (uS/cm)	Eh (mV)	Humedad %	Pb (mg/kg)
10 min./10 V	RB-1							
	RB-2							
	RB-3							
	RB-4							
	RB-5							
	RB-6							
	RB-7							
	RB-8							
	RB-9							
20 min./20 V	RB-1							
	RB-2							
	RB-3							
	RB-4							
	RB-5							
	RB-6							
	RB-7							
	RB-8							
	RB-9							
60 min./30 V	RB-1							
	RB-2							
	RB-3							
	RB-4							
	RB-5							
	RB-6							
	RB-7							
	RB-8							
	RB-9							

FIRMAS DE EXPERTOS	APELLIDOS Y NOMBRES:	APELLIDOS Y NOMBRES:
APELLIDOS Y NOMBRES: <i>AGOSTA SANCHEZ ENRIQUE HIDALGO</i>	APELLIDOS Y NOMBRES: <i>RODRIGUEZ RAMOS JUAN J.</i>	APELLIDOS Y NOMBRES: _____
FIRMA, SELLO Y CIP:  CIP N° 25450	FIRMA, SELLO Y CIP:  CIP N° 84072	FIRMA, SELLO Y CIP:   Dr. César Aguado Jiménez Calderón CIP: 42355

## ANEXO N° 09

### Validación de Instrumento (Mapa de ubicación)

#### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

1.1. Apellidos y Nombres: CRISTÓBAL BARRERA, Juan José  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Docente  
 1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de mapa de Ubicación  
 1.4. Autor(A) de Instrumento: Bazan Baez, Hedy Viviane - Cristóbal Barrera Lisbet Mej

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											✓		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.											✓		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											✓		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											✓		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											✓		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.											✓		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											✓		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											✓		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											✓		
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.											✓		

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

S
-

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :**

85 %

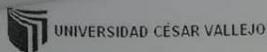
Lima..... del 2019

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

*[Firma manuscrita]*

## ANEXO N° 10

### Validación de Instrumento (Ficha de campo)



#### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

I.1. Apellidos y Nombres: César Eduardo Jiménez Calderón  
 I.2. Cargo e institución donde labora: .....  
 I.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: Ficha de campo  
 I.4. Autor(A) de Instrumento: Rozam Palz, Herdy Vianana - Cristóbal Arevalo, Lisbet Ino.

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.											✓		
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.										✓			
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												✓	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											✓		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales											✓		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.										✓			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											✓		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											✓		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										✓			
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												✓	

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

S

-

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :**

90 %



*César Jiménez*  
 Dr. César Eduardo Jiménez Calderón  
 CIP. 42355

Lima, 13 de junio del 2019

FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

## ANEXO N° 11

### Validación de Instrumento (Tratamiento de electrorremediación)


UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

### VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

**I. DATOS GENERALES**

1.1. Apellidos y Nombres: ACOSTA SUASNABAE, EUSTERIO HORACIO

1.2. Cargo e institución donde labora: DOCENTE UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

1.3. Nombre del instrumento motivo de evaluación: FICHA DE TRATAMIENTO DE ELECTORREMEDIACIÓN

1.4. Autor(A) de Instrumento: BARAN BAEZ, HEIDY VIVIANA - CRISTOVAL DEZARPAO, LISBET INEJ

**II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN**

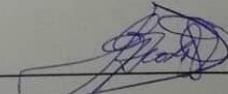
CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE					MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Esta formulado con lenguaje comprensible.												✓	
2. OBJETIVIDAD	Esta adecuado a las leyes y principios científicos.												✓	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												✓	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												✓	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales												✓	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la Hipótesis.												✓	
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												✓	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												✓	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.												✓	
10. PERTINENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al Método Científico.												✓	

**III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD**

- El Instrumento cumple con los Requisitos para su aplicación
- El Instrumento no cumple con Los requisitos para su aplicación

**IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN :** 89 %

Lima, 12 DE JUNIO del 2019


---

 FIRMA DEL EXPERTO INFORMANTE

## ANEXO N° 12

### Resultados de la muestra RB-Inicial



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**

Laboratorio de Espectrometría

#### ANALISIS DE MUESTRAS

SOLICITADO POR : LISBET INES CRISTOBAL ARZAPALO

Procedencia de la Muestra : Hacienda Roma Baja - Carabaylo

Recepción de Muestra : Lima, 11 de Abril del 2019

#### ANALISIS DE MUESTRA DE SUELO POR Pb

Código	Peso (mg/ml)	Pb (mg/Kg)
RB - Inicial	250/25	99.7

#### PRUEBAS DE ELECTROLISIS POR Pb – BLANCO

Muestra	Vol (ml)	Pb (mg/L)
BLANCO	100/50	99.7
RB – 10v	100/50	58.86
RB – 20v	100/50	58.13
RB – 30v	100/50	13.78

Método Espectrometría (EPA 3050)	Técnica: Absorción Atómica
----------------------------------	----------------------------

Lima, 18 de Abril del 2019

MSc. Atilio Mendoza A.  
Jefe Lab. Espectrometría

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú  
Teléfono: (511) 4824427 , Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245  
e-mail: labespectro@uni.edu.pe

## ANEXO N° 13

### Resultados de la caracterización del suelo RB-Inicial



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

### Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

#### ANALISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITADO POR : **LISBET INES CRISTOBAL ARZAPALO**

Procedencia de la Muestra : Hacienda Roma Baja - Carabayllo

Recepción de Muestra : Lima, 30 de Abril del 2019

Código	T°C	pH Relación: 1:1	CE $\mu$ S/cm Relación: 1:1	Eh mv Relación: 1:1
RB - inicial	25	7.23	475	- 50.5

Código	% Mo	P (ppm)	K (ppm)	CIC Total
RB - inicial	0.45	20.45	99.89	25.48

Código	%Arena	%Limo	%Arcilla	%Porosidad total
RB - inicial	42	35	23	40.731

Código	Humedad Gravimétrica %HG	Contenido Volumétrico de agua	Capacidad de campo %CC	Punto de marchitez %PMP
RB - inicial	9.29	13.098	32.42	17.233

Código	Densidad Real (gr/cm <sup>3</sup> )	Densidad Relativa (gr/cm <sup>3</sup> )	Conductividad Hidráulica (cm/s)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (gr/100ml)
RB - inicial	2.379	1.41	0.0213	40.002

Método Potenciométrico	Técnica: multiparámetro
Método espectrofotometría (EPA 3050)	Técnica: Absorción Atómica
Método Picnómetro	Técnica: Diferencia v/p

Lima, 8 de Mayo del 2019

**MSc. Atilio Mendoza A.**  
 Jefe Lab. Espectrometría

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú  
 Teléfono: (511) 4824427 , Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245  
 e-mail: labespectro@uni.edu.pe

## ANEXO N° 14

### Resultados del plomo en la primera etapa



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

#### ANALISIS DE SUELO - PRIMER TRATAMIENTO

SOLICITADO POR: LISBET INES CRISTOBAL ARZAPALO

PROCEDENCIA: HACIENDA ROMA BAJA - CARABAYLLO

FECHA: 12 DE JUNIO DEL 2019

#### RESULTADOS DE ELECTROREMEDIACION EN SUELO POR PLOMO

Tratamiento	Pb (mg/kg)	Amp.	Tratamiento	Amp	Pb (mg/kg)	Tratamiento	Amp	Pb (mg/kg)
T1 - 10Vdc	99.70	0.61	T1 -20Vdc	1.34	99.70	T1 - 30Vdc	2.02	99.70
T1 - 10Vdc	95.54	0.61	T1 -20Vdc	1.34	94.54	T1 - 30Vdc	2.02	94.24
T1 - 10Vdc	94.01	0.61	T1 -20Vdc	1.34	93.01	T1 - 30Vdc	2.02	92.11
T1 - 10Vdc	94.21	0.61	T1 -20Vdc	1.34	93.21	T1 - 30Vdc	2.02	91.13
T1 - 10Vdc	93.01	0.61	T1 -20Vdc	1.34	92.01	T1 - 30Vdc	2.02	82.04
T1 - 10Vdc	92.06	0.61	T1 -20Vdc	1.34	91.06	T1 - 30Vdc	2.02	78.01
T1 - 10Vdc	91.09	0.61	T1 -20Vdc	1.34	90.09	T1 - 30Vdc	2.02	72.03
T1 - 10Vdc	90.03	0.61	T1 -20Vdc	1.34	80.03	T1 - 30Vdc	2.02	71.00
T1 - 10Vdc	88.01	0.61	T1 -20Vdc	1.34	70.01	T1 - 30Vdc	2.02	70.01
Promedio	93.07	0.61	Promedio	1.34	89.30	Promedio	2.02	83.36

Lima, 23 de Junio del 2019

MSc. Atilio Mendoza A.  
Jefe Lab. Espectrometría

Av. Túpac Amarú N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú  
Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245  
e-mail: labespectro@uni.edu.pe

## ANEXO N° 15

### Resultados de la primera etapa de tratamiento



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

### Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

#### ANALISIS DE SUELO - PRIMER TRATAMIENTO

SOLICITADO POR: LISBET INES CRISTOBAL ARZAPALO

PROCEDENCIA: HACIENDA ROMA BAJA - CARABAYLLO

FECHA: 12 DE JUNIO DEL 2019

#### RESULTADOS DE ELECTROREMEDIACION

Código	T°C	CE μS/cm	pH Relación 1:1	Eh mv relación 1:1
RBCT1-10Vdc	21.1	1479	7.15	-20
RBCT1-20Vdc	20.9	1703	7.60	-48
RBCT1-30Vdc	20.4	2516	8.38	-60

Código	%Humedad gravimétrica	Contenido volumétrico de agua	Capacidad de campo	Punto de marchitez
RBCT1-10Vdc	27.55	14.89	38.50	30.18
RBCT1-20Vdc	26.47	14.38	38.12	29.13
RBCT1-30Vdc	27.88	13.58	39.15	25.00

Código	%MO	P (ppm)	K(ppm)	Ca <sup>++</sup> Cmol/kg
RBCT1-10Vdc	0.90	13.01	85.29	0.990
RBCT1-20Vdc	0.75	13.23	78.31	0.993
RBCT1-30Vdc	0.68	10.89	60.42	0.999

Código	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> g/100ml	C/N	CIC Total
RBCT1-10Vdc	32.02	0.32	25.19
RBCT1-20Vdc	31.51	0.29	25.65
RBCT1-30Vdc	20.86	0.15	27.84

Método Potenciométrico	Técnica multiparámetro digital
Método Kjeldahl	Técnica destilación y volumetría
Método de walkley - Black	Técnica volumetría
Método EPA 3050	Técnica Espectrofotometría de A.A.

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú  
Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245  
e-mail: labespectro@uni.edu.pe

## ANEXO N° 16

### Resultados del plomo en la segunda etapa de tratamiento



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**

Laboratorio de Espectrometría

#### ANALISIS DE SUELO - SEGUNDO TRATAMIENTO

SOLICITADO POR: **LISBET INES CRISTOBAL ARZAPALO**

PROCEDENCIA: HACIENDA ROMA BAJA - CARABAYLLO

FECHA: 17 DE JUNIO DEL 2019

#### RESULTADOS DE ELECTROREMEDIACION EN SUELO POR PLOMO

Tratamiento	Pb (mg/kg)	Amp.	Tratamiento	Amp	Pb (mg/kg)	Tratamiento	Amp.	Pb (mg/kg)
T2 - 10Vdc	99.70	0.75	T2 -20Vdc	1.60	99.70	T2 - 30Vdc	2.26	99.70
T2 - 10Vdc	95.24	0.75	T2 -20Vdc	1.60	94.74	T2 - 30Vdc	2.26	94.14
T2 - 10Vdc	94.07	0.75	T2 -20Vdc	1.60	93.07	T2 - 30Vdc	2.26	92.04
T2 - 10Vdc	94.11	0.75	T2 -20Vdc	1.60	93.19	T2 - 30Vdc	2.26	91.09
T2 - 10Vdc	93.05	0.75	T2 -20Vdc	1.60	92.08	T2 - 30Vdc	2.26	82.15
T2 - 10Vdc	92.11	0.75	T2 -20Vdc	1.60	91.01	T2 - 30Vdc	2.26	78.06
T2 - 10Vdc	91.15	0.75	T2 -20Vdc	1.60	90.04	T2 - 30Vdc	2.26	72.08
T2 - 10Vdc	90.01	0.75	T2 -20Vdc	1.60	80.01	T2 - 30Vdc	2.26	71.02
T2 - 10Vdc	88.12	0.75	T2 -20Vdc	1.60	70.14	T2 - 30Vdc	2.26	70.01
Promedio	93.06	0.75	Promedio	1.60	89.33	Promedio	2.26	83.37

Lima, 26 de Junio del 2019

MSc. Atilio Mendoza A.  
Jefe Lab. Espectrometría

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú  
Teléfono: (511) 4824427 , Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245  
e-mail: labespectro@uni.edu.pe

## ANEXO N° 17

### Resultados de la caracterización del suelo RB en la segunda etapa



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**

Laboratorio de Espectrometría

#### ANALISIS DE SUELO – SEGUNDO TRATAMIENTO

SOLICITADO POR: LISBET INES CRISTOBAL ARZAPALO

PROCEDENCIA: HACIENDA ROMA BAJA - CARABAYLLO

FECHA: 17 DE JUNIO DEL 2019

#### RESULTADOS DE ELECTROREMEDIACION

Código	T°C	CE $\mu$ S/cm	pH Relación 1:1	Eh mv relación 1:1
RBCT2-10Vdc	21.7	1529	7.57	-45
RBCT2-20Vdc	21.7	1765	7.77	-55
RBCT2-30Vdc	21.7	2579	8.45	-79

Código	%Humedad gravimétrica	Contenido volumétrico de agua	Capacidad de campo	Punto de marchitez
RBCT2-10Vdc	25.86	15.43	39.0	28.18
RBCT2-20Vdc	26.75	14.21	38.12	29.13
RBCT2-30Vdc	26.79	13.36	39.15	25.00

Código	%MO	P (ppm)	K(ppm)	Ca <sup>++</sup> Cmol/kg
RBCT2-10Vdc	0.80	10.11	75.45	0.890
RBCT2-20Vdc	0.70	10.35	70.38	0.793
RBCT2-30Vdc	0.58	10.00	60.56	0.699

Código	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> g/100ml	C/N	CIC Total
RBCT2-10Vdc	30.21	0.30	26.45
RBCT2-20Vdc	30.15	0.21	26.70
RBCT2-30Vdc	20.10	0.11	27.96

Método Potenciométrico	Técnica multiparámetro digital
Método Kjeldahl	Técnica destilación y volumetría
Método de walkey - Black	Técnica volumetría
Método EPA 3050	Técnica Espectrofotometría de A.A.

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú  
 Teléfono: (511) 4824427 , Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245  
 e-mail: labespectro@uni.edu.pe

## ANEXO N° 18

### Resultados del plomo tercera etapa de tratamiento



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica**

Laboratorio de Espectrometría

#### ANALISIS DE SUELO - TERCER TRATAMIENTO

SOLICITADO POR: LISBET INES CRISTOBAL ARZAPALO

PROCEDENCIA: HACIENDA ROMA BAJA - CARABAYLLO

FECHA: 20 DE JUNIO DEL 2019

#### RESULTADOS DE ELECTROREMEDIACION EN SUELO POR PLOMO

Tratamiento	Pb (mg/kg)	Amp.	Tratamiento	Amp	Pb (mg/kg)	Tratamiento	Amp.	Pb (mg/kg)
T3 - 10Vdc	99.70	0.70	T3 -20Vdc	1.59	99.70	T3 - 30Vdc	2.21	99.70
T3 - 10Vdc	95.14	0.70	T3 -20Vdc	1.59	94.54	T3 - 30Vdc	2.21	94.24
T3 - 10Vdc	94.02	0.70	T3 -20Vdc	1.59	93.01	T3 - 30Vdc	2.21	92.16
T3 - 10Vdc	94.06	0.70	T3 -20Vdc	1.59	93.11	T3 - 30Vdc	2.21	91.01
T3 - 10Vdc	93.11	0.70	T3 -20Vdc	1.59	92.18	T3 - 30Vdc	2.21	82.05
T3 - 10Vdc	92.12	0.70	T3 -20Vdc	1.59	91.11	T3 - 30Vdc	2.21	78.01
T3 - 10Vdc	91.05	0.70	T3 -20Vdc	1.59	90.01	T3 - 30Vdc	2.21	72.02
T3 - 10Vdc	90.06	0.70	T3 -20Vdc	1.59	80.03	T3 - 30Vdc	2.21	71.07
T3 - 10Vdc	88.099	0.70	T3 -20Vdc	1.59	70.04	T3 - 30Vdc	2.21	70.04
Promedio	93.05	0.70	Promedio	1.59	89.30	Promedio	2.21	83.37

Lima, 28 de Junio del 2019

MSc. Atilio Mendoza A.  
Jefe Lab. Espectrometría

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú  
Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245  
e-mail: labespectro@uni.edu.pe

## ANEXO N° 19

### Resultados de la caracterización en la tercera etapa de tratamiento



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica

Laboratorio de Espectrometría

ANALISIS DE SUELO – TERCER TRATAMIENTO

SOLICITADO POR: LISBET INES CRISTOBAL ARZAPALO

PROCEDENCIA: HACIENDA ROMA BAJA - CARABAYLLO

FECHA: 20 DE JUNIO DEL 2019

#### RESULTADOS DE ELECTROREMEDIACION

Código	T°C	CE μS/cm	pH Relación 1:1	Eh mv relación 1:1
RBCT3-10Vdc	21.8	1759	7.79	-65
RBCT3-20Vdc	21.8	1890	8.23	-123
RBCT3-30Vdc	21.8	2956	9.39	-268

Código	%Humedad gravimétrica	Contenido volumétrico de agua	Capacidad de campo	Punto de marchitez
RBCT3-10Vdc	25.82	16.45	41.02	31.23
RBCT3-20Vdc	26.79	15.31	39.46	30.19
RBCT3-30Vdc	26.98	14.40	39.89	28.09

Código	%MO	P (ppm)	K(ppm)	Ca <sup>++</sup> Cmol/kg
RBCT3-10Vdc	0.609	10.10	74.41	0.790
RBCT3-20Vdc	0.645	10.28	69.48	0.753
RBCT3-30Vdc	0.510	09.00	43.66	0.439

Código	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> g/100ml	C/N	CIC Total
RBCT3-10Vdc	29.28	0.21	27.45
RBCT3-20Vdc	29.19	0.15	27.70
RBCT3-30Vdc	20.08	0.07	28.96

Método Potenciométrico	Técnica multiparámetro digital
Método Kjeldahl	Técnica destilación y volumetría
Método de walkley - Black	Técnica volumetría
Método EPA 3050	Técnica Espectrofotometría de A.A.

Av. Túpac Amará N° 210, Lima 25, Apartado 1301-Perú  
Teléfono: (511) 4824427, Central Telefónica (511) 4811070, Anexo 4245  
e-mail: labespectro@uni.edu.pe