

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS	CÓDIGO	FO-GS-15
		VERSIÓN	02
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN	FECHA	03/04/2017
		PÁGINA	1 de 1
Jefe División de Biblioteca	Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES) NOMBRES Y APELLIDOS

NOMBRES(S): MIGUEL ANGEL

APELLIDOS: FERREIRA

NOMBRES(S): NELSON GEOVANNI

APELLIDOS: SERRANO IBARRA

FACULTAD: CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

PLAN DE ESTUDIO: INGENIERIA AMBIENTAL

DIRECTOR(ES) PROFESOR - ASESOR DEL TRABAJO ACADÉMICO

NOMBRES(S): GABRIEL

APELLIDOS: PEÑA RODRIGUEZ

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): EFFECTO DEL CAMPO MAGNETICO EN LA ELECTRODESCONTAMINACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CONTAMINADOS CON PLOMO.

RESUMEN

Los suelos son entornos esenciales para la supervivencia, los cuales cada día se presenta una mayor demanda en cuanto a su uso, y debido a la falta de conciencia antropogénica en la protección y cuidado se han visto afectados. Por lo tanto, en el presente documento se muestra el efecto que tiene la presencia de un campo magnético externo aplicado durante la técnica de electro-descontaminación de muestras de suelos arcillosos caoliníticos contaminados con plomo a nivel de laboratorio. Demostrando la eficiencia que tiene esta tecnología en suelos que hayan sido vulnerados por la acción humana, determinado cada uno de los parámetros que influyen en el proceso y a su vez mostrando cuál de las técnicas de espectrofotometría logro ser más efectiva y precisa al momento del análisis de cada una de las muestras después del tratamiento.

PALABRAS CLAVE: (remoción, contaminante, concentración de Plomo, eficiencia, tratamiento.)

PÁGINAS: 46 PLANOS: NO ILUSTRACIONES: SI CD ROOM: NO

EFFECTO DEL CAMPO MAGNETICO EN LA ELECTRODESCONTAMINACIÓN DE
SUELOS ARCILLOSOS CONTAMINADOS CON PLOMO.

MIGUEL ANGEL FERREIRA

NELSON GEOVANI SERRANO IBARRA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIA AGRARIAS Y DEL AMBIENTE
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA AMBIENTAL
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

EFFECTO DEL CAMPO MAGNETICO EN LA ELECTRODESCONTAMINACIÓN DE
SUELOS ARCILLOSOS CONTAMINADOS CON PLOMO.

MIGUEL ANGEL FERREIRA

NELSON GEOVANI SERRANO IBARRA

Trabajo de investigación presentado para optar por el título de Ingeniero Ambiental

Director de Proyecto de grado:
Dr. GABRIEL PEÑA RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIA AGRARIAS Y DEL AMBIENTE
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA AMBIENTAL
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2022

ACTA DE SUSTENTACIÓN TRABAJO DE GRADO

FECHA: Viernes 25 de Febrero de 2022

HORA: 10:30 A.M.

LUGAR: Sala virtual SC 301

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA AMBIENTAL

TITULO: EFFECTO DEL CAMPO MAGNÉTICO EN LA ELECTRO-DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS CONTAMINADOS CON PLOMO

MODALIDAD: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

JURADOS: IBONNE GEANETH VALENZUELA BALCAZAR
ANTONIO NAVARRO DURAN
EFRAIN FRANCISCO VISCONTI MORENO

DIRECTOR: GABRIEL PEÑA RODRIGUEZ

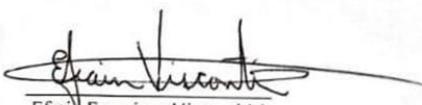
NOMBRE DEL ESTUDIANTE	CODIGO	CALIFICACIÓN
<u>MIGUEL ANGEL FERREIRA</u>	<u>1650805</u>	<u>4.5</u>
<u>NELSON GEOVANI SERRANO IBARRA</u>	<u>1650771</u>	<u>4.5</u>

OBSERVACIONES: MERITORIA

FIRMA DE LOS JURADOS:


Ibonne Geaneth Valenzuela B.


Antonio Navarro Duran


Efraim Francisco Visconti M.

Vo.Bo. Coordinador Comité Curricular Dorance Becerra M.
DORANCE BECERRA MORENO

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	10
1. Descripción del problema	11
1.1. Título	11
1.2. Planteamiento del Problema	11
1.3. Formulación Del Problema	12
1.4. Justificación	12
1.5. Objetivos	13
1.5.1. Objetivo General	13
1.5.2. Objetivos específicos	14
1.6. Delimitación	14
1.6.1. Delimitación espacial	14
1.6.2. Delimitación Temporal	15
2. Marco referencial	16
2.1. Antecedentes	16
2.2. Marco Teórico	18
2.3. Marco Legal	22
3. Marco metodológico	25
3.1. Población y Muestra	25

3.1.1. Población	25
3.1.2. Muestra	25
3.2. Etapas del proyecto	25
3.2.1. Preparación de las muestras.	25
3.2.2. Diseño de la celda de electro-remediación y/o electro-descontaminación.	26
3.2.3. Medición de parámetros previamente establecidos.	27
4. Resultados	28
4.1. Variabilidad de los parámetros en los electrolitos durante el tratamiento	29
4.2. Concentración de Plomo mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAS)	33
4.3. Concentración de Plomo mediante espectroscopia ultravioleta visible (UV-VIS)	36
5. Discusión	40
6. Conclusiones	42
7. Recomendaciones	43
Referentes bibliográficos.	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de las líneas del campo magnético producido en una espira o solenoide	19
Figura 2. Esquema de la celda de electro-remediación de suelos, sin la presencia del campo magnético externo.	26
Figura 3. Esquema de la celda de electro-remediación de suelos, con la presencia del campo magnético externo.	27
Figura 4. Montaje de la celda de electro-remediación de suelos, sin la presencia del campo magnético externo.	28
Figura 5. Montaje de la celda de electro-remediación de suelos, con la presencia del campo magnético externo.	29
Figura 6. Comportamiento del anolito durante el proceso de electro-remediación para la concentración media (100 ppm) de plomo.	30
Figura 7. Comportamiento del catolito durante el proceso de electro-remediación para la concentración media (100 ppm) de plomo.	30
Figura 8. Comportamiento del catolito durante el proceso de electro-remediación para la concentración media (100 ppm) de plomo.	31
Figura 9. Comportamiento del catolito durante el proceso de electro-remediación con la presencia de un campo magnético externo a una concentración de 100 ppm de plomo.	31
Figura 10. Comportamiento del anolito durante el proceso de electro-remediación con la presencia de un campo magnético externo la concentración alta (200 ppm) de plomo.	32
Figura 11. Comportamiento del catolito durante el proceso de electro-remediación con la presencia de un campo magnético externo para la concentración alta (200 ppm) de plomo.	32

Figura 12. Espectrómetro de absorción atómica GBC modelo AVANTA Σ. Fuente: laboratorios de análisis instrumental de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.	34
Figura 13. Espectrómetro ultravioleta/visible GENESYS 10S UV-VIS. Fuente: laboratorio de calidad ambiental Campos Elíseos.	36
Figura 14. Espectro UV/Vis para la muestra estándar de plomo a 1000 ppm.	37
Figura 15. Curva de calibración, obtenida del ajuste lineal a los datos de las absorbancias para las concentraciones de 10, 30, 50, 100 y 200 ppm de plomo.	38

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Concentraciones de plomo para cada una de las muestras por espectrofotometría de absorción atómica (AAS)	35
Tabla 2. Absorbancia máxima y concentración de plomo para cada una de las muestras por espectrofotometría ultravioleta / visible (UV- Vis)	39

Introducción

El acelerado crecimiento de la población humana ha llevado que grandes extensiones de suelos sean utilizadas como base para el desarrollo de la sociedad, lo que ha generado que cada vez más ocurran diversos impactos ambientales, como la pérdida de biodiversidad, alteración en los ecosistemas presentes, emisión de contaminantes a la atmosfera, entre otros. Estas problemáticas son consecuencia del poco interés y falta de eficacia en las técnicas de control y manejo, lo cual han provocado el deterioro de los suelos (Wuana & Okieimen, 2011).

Una de las afectaciones que ha ido creciendo con el tiempo, es la acumulación de metales pesados en el suelo ya que “constituyen uno de los grupos de contaminantes ambientales sujetos a una mayor investigación y preocupación, fundamentalmente debido a su movilidad y a las bajas concentraciones a las que comienzan a manifestar sus efectos tóxicos” (Fernandez, 2019). Esto debido a la falta de conciencia en el consumismo de productos que pueden contener estos contaminantes, como en el caso del Plomo que se puede encontrar desde una lata de pintura hasta en una simple batería, donde este metal es perjudicial tanto para la salud humana especialmente en “niños de corta edad provocando consecuencias graves en el desarrollo del cerebro y el sistema nervioso. El plomo también causa en adultos hipertensión arterial y lesiones renales, además en las mujeres embarazadas puede causar el aborto natural, muerte fetal, parto prematuro y malformaciones leves en el feto.” (O.M.S 2019), y en el caso del suelo presenta igualmente un gran peligro puesto que la distribución química del plomo depende del pH y del contenido de materia orgánica, por lo que puede ocasionar la limitación en la síntesis cloroflica de las plantas perjudicando su crecimiento e introduciéndose en la cadena alimenticia.

La creciente conciencia ambientalista para la preservación del planeta ha desarrollado diversas tecnologías que mediante diferentes métodos ya sea físicos, químicos, fisicoquímicos o biológicos, buscan remediar las alteraciones de los suelos contaminados.

El presente documento tiene como objetivo presentar el estudio de remediación de una muestra de suelo caolinítico contaminada a nivel de laboratorio con plomo, evaluando así mismo el porcentaje de eficiencia de la técnica de electro-descontaminación cuando se le aplica un campo magnético externo, donde se evalúa la concentración del metal pesado (plomo) antes del tratamiento, después del proceso de electro-remediación y posteriormente cuando se aplica el campo magnético externo, la concentración de plomo en la muestra se analizó usando la técnica de absorción atómica y ultravioleta visible.

1. Descripción del problema

1.1. Título

Efecto del campo magnético en la electro-descontaminación de suelos arcillosos contaminados con plomo.

1.2. Planteamiento del Problema

Los metales pesados están directamente relacionados con la contaminación del suelo, la citotoxicidad y los efectos negativos sobre los recursos naturales y la calidad ambiental. El peligro depende de múltiples aspectos, como la toxicidad específica del metal, la bioacumulación, la persistencia y la no biodegradabilidad. (Oyarzun, Higuera, & Lillo, 2011)

El plomo es un elemento químico altamente utilizado en la industria ya que forma aleaciones con otros metales, por esta razón tiene gran variedad de aplicaciones como en el uso

de pinturas, vidrieras, esmaltes, artículos de joyería y juguetes. Sin embargo, es un metal que puede tener graves implicaciones en la contaminación ambiental; destacando entre las principales fuentes de contaminación la explotación minera, metalurgia, actividades de fabricación y reciclaje, gasolinas y fabricación de baterías para vehículos de motor (plomo-ácido).

La organización mundial de la salud (OMS, 2019), menciona que este metal por su toxicidad puede ocasionar problemas graves y permanentes de salud a niños de corta edad, afectando principalmente el desarrollo del cerebro y el sistema nervioso, además en adultos causa alteración en la presión arterial y daños en los riñones. “Según datos de 2017, la exposición al plomo causó 1,06 millones de defunciones y la pérdida de 24,4 millones de años de vida ajustados en función de la discapacidad debido a sus efectos en la salud a largo plazo”

Teniendo en cuenta lo anterior, se plantea realizar a nivel de laboratorio el tratamiento de suelos caoliníticos contaminados con plomo, mediante un proceso de electro-remediación, con y sin la aplicación de un campo magnético externo, con el objetivo de evaluar la eficiencia del tratamiento.

1.3. Formulación Del Problema

¿Cómo influirá en la eficiencia de la electro-remediación de un suelo arcilloso caolinítico contaminado con plomo, la aplicación de un campo magnético externo durante la electro-remediación?

1.4. Justificación

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) han clasificado al Plomo como uno de los 10

productos químicos de mayor preocupación para la salud, debido a que se acumula en los sistemas del cuerpo, afectando el neurológico, gastrointestinal, hematológico, cardiovascular y renal; en otras palabras se puede afirmar que la contaminación del medio ambiente afecta la salud pública, y en gran medida los afectados terminan siendo las poblaciones más vulnerables.

La contaminación es debida tanto al plomo elemental como a sus compuestos, ya que estos quedan en suspensión y pueden ser transportados. Esta contaminación afecta a la atmósfera, al suelo y al agua, con base a lo anterior la presente investigación tiene como propósito contribuir en la búsqueda de alternativas para la descontaminación del suelo ayudando en la disminución de futuras afectaciones, avanzando en la búsqueda de herramientas que permitan reformar los tratamientos para la remediación de los suelos con alto contenido de Plomo que sean efectivos, innovadores, económicamente viables, como lo es la técnica de electro-descontaminación que mediante la aplicación de celdas electrolíticas con muestras representativas de suelo contaminadas, en las cuales las especies iónicas (plomo), migran por la acción del campo eléctrico y un campo magnético externo constante y de esta manera aportar al programa de Ingeniería Ambiental acreditado en alta calidad de la universidad Francisco de Paula Santander, un enfoque a la investigación de problemáticas actuales a fin de dar soluciones y estrategias que puedan ser implementadas a nivel local, regional y nacional.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Estudiar el efecto de un campo magnético externo constante aplicado durante la electro-descontaminación de suelos arcillosos caoliníticos contaminados con plomo (Pb) a escala de laboratorio.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Determinar muestras de suelo caolinítico contaminado con plomo (Pb) en concentraciones media y alta tomando como referencia los niveles establecidos por estándares internacionales, teniendo en cuenta el parámetro de Solidos Totales Disueltos (TDS) en la cuantificación de la concentración de Pb en la preparación de la muestra.
2. Implementar una celda de electro-descontaminación a nivel de laboratorio con y sin la presencia de un campo magnético externo constante.
3. Analizar los parámetros (pH, Conductividad, Resistividad, Salinidad y TDS) de los electrolitos con y sin la aplicación de campo magnético externo durante el proceso de electro-descontaminación, y la concentración de Pb en las muestras de suelo antes y después del tratamiento usando espectroscopia de absorción atómica (AAS).

1.6. Delimitación

1.6.1. Delimitación espacial

Los espacios utilizados para el desarrollo de esta investigación se describen a continuación:

- ◆ **Laboratorios del grupo de investigación en instrumentación y física de la materia condensada GIFIMAC-UFPS:** El punto de investigación de este proyecto tiene inicio en este laboratorio ya que esta es el lugar donde se realiza la preparación de las muestras de suelos a diferentes concentraciones de Plomo, así como también de la elaboración del diseño experimental.
- ◆ **Laboratorios de calidad ambiental campos elíseos:** Este laboratorio queda ubicado en el municipio de los patios y es sede de la universidad Francisco de Paula Santander; es el

espacio destinado para el complemento de la investigación ya que en él se desarrolla el análisis de UV – VIS.

- ◆ **Laboratorios de análisis instrumental de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín:** En este laboratorio se desarrolló el análisis de espectrofotometría de absorción atómica (AAS)

1.6.2. Delimitación Temporal

El tiempo estimado para la culminación del proyecto titulado “efecto del campo magnético en la electro-descontaminación de suelos arcillosos contaminados con plomo.”, es de 4 meses (agosto - noviembre del año 2021).

2. Marco referencial

2.1. Antecedentes

Con el propósito hallar alternativas para la solución de las problemáticas que surgen a partir de los suelos contaminados, en las últimas décadas se ha incursionado en la búsqueda de nuevas tecnologías para la remediación de suelos in situ, en las cuales la electro -remediación se presenta como una de las más apta para expulsar contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos. (De la Rosa Perez, Teutli León, & Ramirez Islas, 2007)

➤ Según (De la Rosa Perez, Teutli León, & Ramirez Islas, 2007) hace mención de dos estudios que reportan lo siguiente.

En 1995 Geokinetics International Inc. reportó la remediación de un sitio de 213 metros cuadrado y 1 metro de profundidad, contaminado con Cadmio, Cobre, Níquel, Plomo y Zinc, en 18 meses de electrorremediación, obteniendo eficiencias diferenciadas para cada elemento (desde 75 % para el Cobre hasta 99 % para el Plomo) con un costo desde 300 hasta 500 dólares por yarda cúbica.

En 1996 se realizó una demostración de extracción de plomo de un campo de pruebas balísticas de la armada norteamericana. Los resultados mostraron una disminución del nivel de contaminación de 4500 mg/Kg a menos de 300 mg/Kg de plomo en 30 semanas de operación.

➤ De acuerdo con (Garcia Hernández, Vargas Ramirez, & Reyes Cruz, 2011) se realizó un estudio potencioestático en una celda de electrorremediación, de un suelo conformado por un 93% de arena, contaminado por residuos mineros de la zona de Zimapán Hidalgo, en la cual se utilizó como electrolito agua desionizada, CH_3COOH y $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 0,001 M, y se le aplicó un potencial eléctrico continuo de 20 V durante 24 horas. Como

resultado obtuvieron gran capacidad de amortiguamiento en concordancia con el pH, disminución en la conductividad eléctrica e incremento en los electrolitos, y finalmente una remoción del 12% (98 ppm) para Pb, 20% (7 ppm) para Cd y 22% para As (79 ppm).

- (Alcántara, Gómez, Pazos, & Sanromán, 2011). Se estudió la remediación electrocinética en suelos arcillosos y arenosos contaminados con plomo y fenantreno. Durante la remediación electrocinética, se aplicó un campo magnético para movilizar y extraer contaminantes de la muestra de suelo. Para mejorar este procedimiento utilizaron diferentes agentes de extracción, que se usan comúnmente para aumentar la desorción y la solubilidad de los contaminantes como lo son: ácido cítrico, ácido láctico, KI y EDTA para metales pesados y Tween 80, Tween 20 y Brij 35 para hidrocarburos poliaromáticos (HAP). La combinación más efectiva fue la de 1% Tween 80 y 0.1 M EDTA para el tratamiento electrocinético de caolín y suelo arenoso contaminado con plomo y fenantreno, evaluando de igual forma la influencia del pH en este sistema. Bajo condiciones óptimas de operación, más del 90% y 70% de los contaminantes se eliminaron después de 30 días de la arcilla de caolín y el suelo arenoso.
- (Ait Ahmed, y otros, 2015) Informa sobre la remediación de la caolinita contaminada con plomo por tratamiento electrocinético utilizando una celda de tres compartimientos. Como consecuencia de disociación intensiva del agua, la alta concentración de iones hidroxilo condujo a la precipitación del suelo y formó especies no conductoras como $\text{Pb}(\text{OH})_2$. Utilizando como agentes solubilizantes ácido cítrico y EDTA, en el ánodo para producir patrones que intercambian el catión plomo y en el cátodo para neutralizar los aniones hidroxilo generados en el electrodo para evitar la formación de especies sólidas. Después de siete días, EDTA permitió la eliminación completa del plomo dos veces que

el ácido cítrico, con bajo consumo energético. En contraste con los experimentos de largo periodo, la migración de iones dentro del suelo progresó desde el cátodo hacia el ánodo durante períodos cortos. Este hallazgo fue bien apoyado por los valores de pH.

- (Alcivar Perez, 2018). Se evaluó la técnica de electro-remediación para la remoción de metales pesados de suelos, en la cual se utilizó una celda, donde se obtuvieron los potenciales de celda, distancia entre electrodos y tipo de electrolito más eficiente para la restauración de muestras de suelo de la Parroquia Taracoa. Utilizando una fuente con un voltaje de 40V, se comprobó que utilizando la técnica con condiciones 15 cm de distancia entre electrodos 24 horas de carga constantes y ácido fosfórico como electrolito presentan una eficiencia del 99.9% para la movilización de metales pesados.

2.2. Marco Teórico

◆ Campo Magnético

El magnetismo es la parte de la física que estudia los fenómenos relativos a los imanes y al campo magnético creado por estos, así como el comportamiento de los diferentes materiales sometidos a la acción de dicho campo. Un imán consta de tres partes:

- ◆ Polos: Son los dos extremos del imán en los cuales las fuerzas de atracción son más intensas. Estos polos son el polo norte (N) y el polo sur (S), también denominados polo positivo y negativo respectivamente.
- ◆ Polos del mismo tipo (combinaciones N-N y S-S) se repelen y los polos de distinto tipo (combinaciones N-S y S-N) se atraen. - Eje magnético: Línea imaginaria que une los dos polos del imán.

- ◆ **Línea neutral:** Línea imaginaria que separa las dos zonas polarizadas. Las corrientes eléctricas y, en general, las cargas en movimiento se comportan como imanes o, lo que es lo mismo, producen campos magnéticos.

Aunque las cargas eléctricas y los polos magnéticos de un imán son semejantes en muchos aspectos, hay una diferencia importante: los polos magnéticos siempre se presentan por parejas. Si se rompe un imán por la mitad, vuelven a aparecer los polos N y S en cada una de las mitades (Carbonell, Flórez, Martínez, & Álvarez, 2017).

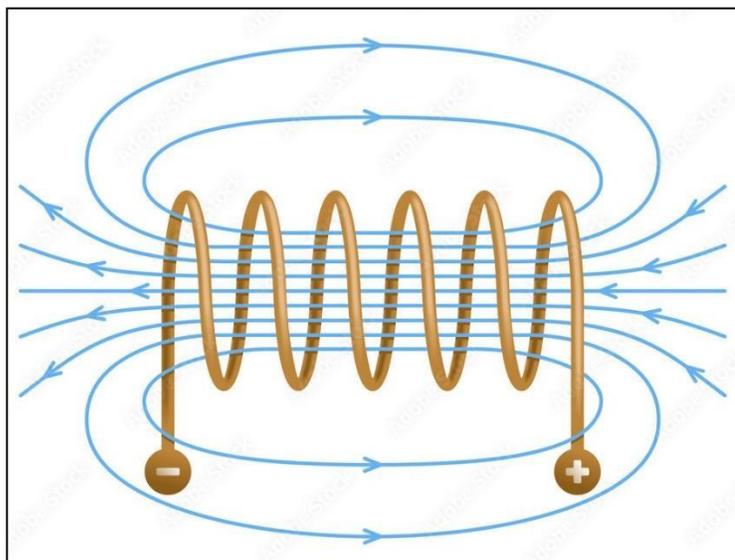


Figura 1. Esquema de las líneas del campo magnético producido en una espira o solenoide

- ◆ **Plomo**

Elemento químico, Pb, número atómico 82 y peso atómico 207.19, las valencias químicas normales son 2 y 4. Es un metal pesado (densidad relativa, o gravedad específica, de 11.4 a 16°C (61 °F)), de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico, se funde con facilidad, se funde a 327.4°C (621.3 °F) y hierve a 1725°C (3164 °F). Relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Pero se disuelve con lentitud en ácido

nítrico. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. Forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos.

El plomo se encuentra en la naturaleza formando una gran variedad de minerales, entre los que se encuentran principalmente la galena (PbS), la anglesita (PbSO_4) y la cerusita (PbCO).

Se utilizan una gran variedad de compuestos de plomo, como los silicatos, los carbonatos y sales de ácidos orgánicos, como estabilizadores contra el calor y la luz para los plásticos de cloruro de polivinilo. El azuro de plomo, $\text{Pb}(\text{N}_3)_2$, es el detonador estándar para los explosivos. Los arsenatos de plomo se emplean en grandes cantidades como insecticidas para la protección de los cultivos. El litargirio (óxido de plomo) se emplea mucho para mejorar las propiedades magnéticas de los imanes de cerámica de ferrita de bario (Lenntech & Purificación del Aire Holding B.V, 2007)

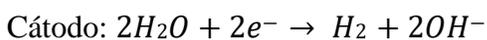
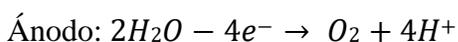
◆ **Electrorremediación.**

La electro-remediación es una tecnología utilizada para restaurar suelos contaminados, se basa en la generación de un campo eléctrico mediante una matriz de electrodos en un suelo contaminado saturado.

Algunos autores pueden definirla como la aplicación de una diferencia de potencial, o una corriente continua, que requiere el uso de electrodos (ánodo y cátodo) colocados en pozos excavados en el suelo, por lo general estos son humedecidos con un electrolito para mejorar las condiciones de conducción del campo eléctrico. La adición del electrolito hace posible el transporte del contaminante a los pozos donde se extraerá. Al contrario del arrastre de fluidos, esta técnica permite establecer una migración dirigida, la cual evita la dispersión del contaminante fuera de la zona de tratamiento.

Las especies cargadas presentes en el suelo migran bajo la acción de este campo. Las cargas positivas se movilizan hacia el cátodo y se acumulan en el mismo, y las negativas en el ánodo. La oxidación de agua en el ánodo genera iones H^+ , que se mueven hacia el cátodo creando un frente ácido. Este favorece la desorción de los cationes del suelo y fuerza la puesta en disolución de contaminantes precipitada como carbonatos, hidróxidos, etc. Por otro lado, los iones OH^- generados en el cátodo por la reducción del agua provocan la precipitación de los metales. (Pazos, Sanroman, & Camellese, 2006)

Durante el este proceso se genera una reacción electrolítica en la superficie de los electrodos insertados en el suelo; la reacción dominante que se produce en los electrodos es la electrólisis del agua (oxidación en el ánodo, produciendo oxígeno y H^+ y reducción en el cátodo, produciendo hidrógeno y OH^-)



El pH cambia bruscamente en la región de concentración, y toda esta área se divide en área ácida y área alcalina. Como el OH^- migra hacia el ánodo, los iones metales pesados con cargas positivas se reúnen con el OH^- en la columna del suelo y luego precipitan. El proceso no solo elimina metales pesados, sino que también bloquea el suelo micro poroso. Como resultado, se produce la disminución de la conductividad y de la eficiencia de eliminación. Por lo tanto, es importante asegurar la migración del OH^- . (Fansheng, Lingli, Juling, & Yeyao, 2013)

Situación Actual en Colombia sobre el uso del Plomo

Según (Muñoz Guerrero & O'Farril Delis, 2018) en “Pinturas del hogar con plomo: un riesgo silencioso para nuestros niños Colombia ha reglamentado los niveles de plomo para gasolina (1995), juguetes y vajillas (2008) pero aún no se ha logrado reglamentar los niveles de plomo en las pinturas decorativas. En Colombia se utilizan 1.386 toneladas de plomo al año para la producción de pinturas. De acuerdo con el inventario nacional, el 53 % de los hogares contiene pinturas con niveles mayores de 90 partes por millón (ppm) de plomo según el nivel recomendado por la Organización Mundial de la Salud OMS y la Alianza Mundial del Plomo en Pintura.

En nuestro país, en ese entonces el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), es la entidad pública de la orden nacional encargada de contribuir y promover acciones orientadas al desarrollo sostenible, a través de la formulación, adopción e instrumentación técnica y normativa de políticas, bajo los principios de participación e integridad de la gestión pública. La institución en el año 2005, publica las Guías de Manejo Seguro y Gestión Ambiental de 25 Sustancias Químicas, en el cual se contempla el monóxido de plomo (PbO), como una sustancia con efectos adversos en la mayoría de órganos y sistemas, a nivel intracelular y dependiendo del nivel de duración de la exposición se presenta desde inhibición de enzimas hasta cambios morfológicos marcados que pueden causar la muerte, siendo los niños la población más vulnerables a sus efectos. (Congreso de la republica de Colombia, 2015)

2.3. Marco Legal

Normatividad Nacional

Política nacional para la gestión integral ambiental del suelo 2013. Con el fin de aportar a la conservación y uso sostenible de este componente determinante de los ciclos del agua, del aire y de los nutrientes e indispensable para la preservación de la biodiversidad y sus

servicios ecosistémicos. Además, facilita y orienta la Gestión Integral Ambiental del Suelo en el orden nacional y regional y aportar al desarrollo sostenible del país tomando como referente el enfoque del crecimiento verde.

Decreto 2811 de 1974. Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

“Señala que el uso de los suelos debe realizarse de acuerdo con sus condiciones y factores constitutivos y que se debe determinar el uso potencial y clasificación de los suelos según los factores físicos, ecológicos, y socioeconómicos de la región. Igualmente, en esta norma se señaló que el aprovechamiento de los suelos debe efectuarse en forma tal que se mantenga su integridad física y su capacidad productora, lo cual es complementado con el deber de todos los habitantes de colaborar con las autoridades en la conservación y en el manejo adecuado de los suelos.”

(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2013)

Constitución Política de Colombia 1991. Artículo 79: “Toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente sano. Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica.”

Artículo 80, señala que “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución”

Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA).

Ley 388 de 1997. Establece que el ordenamiento del territorio municipal y distrital tiene por objeto complementar la planificación económica y social con la dimensión territorial, racionalizar las intervenciones sobre el territorio y orientar su desarrollo y aprovechamiento sostenible.

Resolución 0170 de 2009 del MADS. Se declaró el año 2009 como año de los suelos y el 17 de junio como Día Nacional de los Suelos; además se le asigna al Ministerio, entre otras la obligación de formular políticas y expedir normas, directrices e impulsar planes, programas y proyectos dirigidos a la conservación, protección, restauración, recuperación y rehabilitación de los suelos.

Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Normatividad internacional.

EPA 1996. Los niveles normales de Plomo en el suelo son de 10 mg/Kg y el rango de toxicidad se encuentra entre los 50 a 100 mg/Kg.

Norma técnica ambiental ecuatoriana. Establece como valor límite de calidad 25 mg/Kg de Plomo en el suelo y el nivel máximo de concentración de Plomo en el suelo para remediación o restauración urbano de 100 mg/Kg para uso de suelo residencial, 150mg/Kg para uso de suelo comercial e industrial.

Ley federal alemana (European commission 2001). Para suelo arcilloso, la concentración límite es de 100 mg/Kg.

3. Marco metodológico

3.1. Población y Muestra

3.1.1. Población

La población beneficiada con el desarrollo de esta investigación son los humanos y las demás especies que habitan el ecosistema y subyacen del suelo que pudo ser afectado por la exposición del plomo sobrepasando los niveles de toxicidad establecidos.

3.1.2. Muestra

Corresponde a los suelos arcillosos caoliníticos contaminados con plomo a nivel de laboratorio para dos concentraciones media y alta, según los máximos permisibles.

3.2. Etapas del proyecto

El desarrollo de las etapas se expone a continuación:

3.2.1. Preparación de las muestras.

En esta etapa se realizó la preparación de las muestras de suelo a nivel de laboratorio, para lo cual se obtuvieron muestras de suelos arcillosos caoliníticos de la región los cuales fueron suministrados por caolines Santander. Posteriormente se preparó una solución líquida de agua destilada-plomo, para lo cual se usó un patrón de plomo a 1000 ppm marca PANREAC® (Sidoli O'Connor, Lepp, Edwards, & Sunderland, 2003) , y realizando una disolución obteniendo una concentración media de 100 ppm y alta de 200 ppm en agua, la cual se aplicó en una relación 1:0.5 (suelo/disolución) al suelo, y se homogenizó usando agitación mecánica a 900 rpm, mediante cabezal DLAB® por una hora, posteriormente la muestra (suelo con plomo) se aloja en la cámara del sistema de electro -remediación. Para iniciar el tratamiento.

3.2.2. Diseño de la celda de electro-remediación y/o electro-descontaminación.

En la figura 1, se presenta el diseño de la celda de electro-remediación sin la presencia del campo magnético externo que se utilizó a nivel de laboratorio, en ésta se aprecian las diferentes partes o elementos, donde se utilizó electrodos de malla de titanio, y como electrolitos una solución salina de cloruro de sodio al 0.09% y ácido acético al 0.01M. La configuración con la presencia del campo magnético se puede ver en la figura 2, aquí la celda se ubica en el centro de la bobina tipo solenoide, la cual se conecta a una fuente de poder de 30 Voltios, que induce el campo magnético equivalente a 0,0241T durante el proceso de electro-remediación (Faiqun Ni'am, Othman, Sohaili, & Fauzia, 2006).

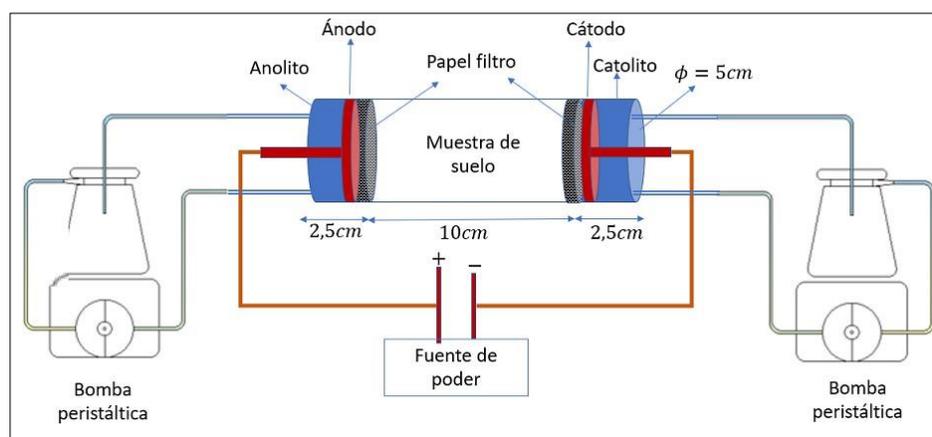


Figura 2. Esquema de la celda de electro-remediación de suelos, sin la presencia del campo magnético externo.

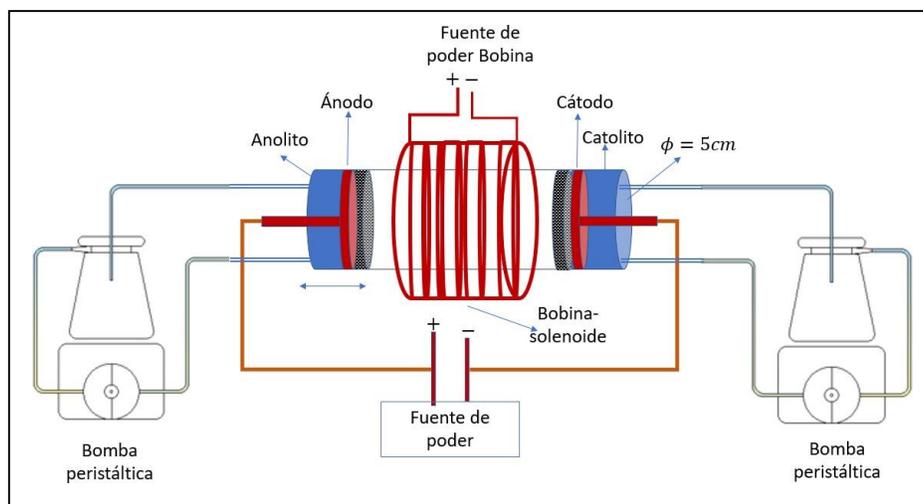


Figura 3. Esquema de la celda de electro-remediación de suelos, con la presencia del campo magnético externo.

El proceso de electro-descontaminación de la muestra de suelo con y sin la aplicación del campo magnético externo, se realizó por 24 horas, durante este lapso, se monitoreo el pH tanto del anolito como de catolito cada 30min.

3.2.3. Medición de parámetros previamente establecidos.

Se determinarán los parámetros de pH, conductividad eléctrica, resistividad, salinidad, solidos disueltos totales y temperatura al electrolito durante el tratamiento y composición química por AAS, a las muestras de suelo antes y después del tratamiento con y sin la presencia de campo magnético con el fin de estudiar la eficiencia que ejerce el campo magnético en las muestras de suelos arcillosos contaminados con Plomo. Estas medidas experimentales se realizaron en los laboratorios del grupo de Instrumentación y Física de la materia (GIFIMAC), así como en el laboratorio de suelos y calidad ambiental de la UFPS y en los laboratorios de análisis instrumental de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

4. Resultados

En la figura 3 se presenta una fotografía del proceso de electro-descontaminación del suelo con plomo sin la presencia del campo magnético, en esta se aprecian los diferentes componentes del proceso de electro-remediación, por otra parte, la figura 4 presenta una imagen del mismo sistema donde a diferencia de la figura 3, se aprecia la bobina de cobre usada para aplicar el campo magnético externo, la cual se dispuso de forma tal que las líneas de campo magnético estuvieran en la misma dirección de las líneas de campo eléctrico producido entre los electrodos con el objeto que ayudara al proceso de electro-migración de los iones de plomo dentro de la muestra de suelo y así descontaminar el suelo de estos iones, lo anterior es bien conocido dado que los iones del metal pesado en este caso Pb, al estar en presencia de un campo eléctrico (\vec{E}) y magnético (\vec{B}) adquieren una velocidad o movilidad que es proporcional a la fuerza electro-magnética aplicada ($\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} \times \vec{B}$) (Ng, Gupta, & Hashim, 2016).

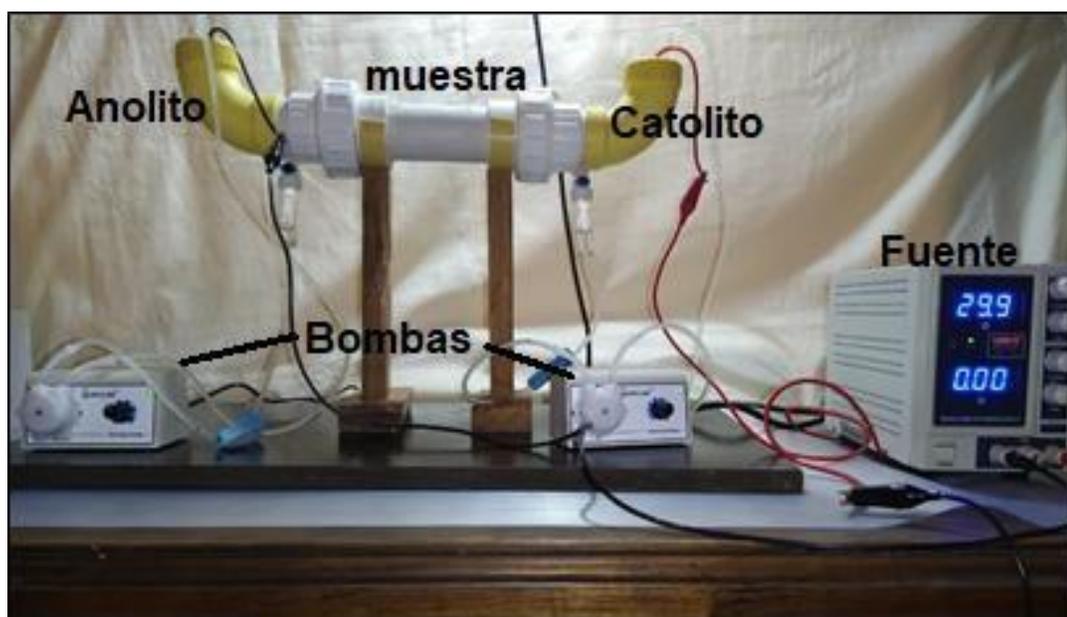


Figura 4. Montaje de la celda de electro-remediación de suelos, sin la presencia del campo magnético externo.

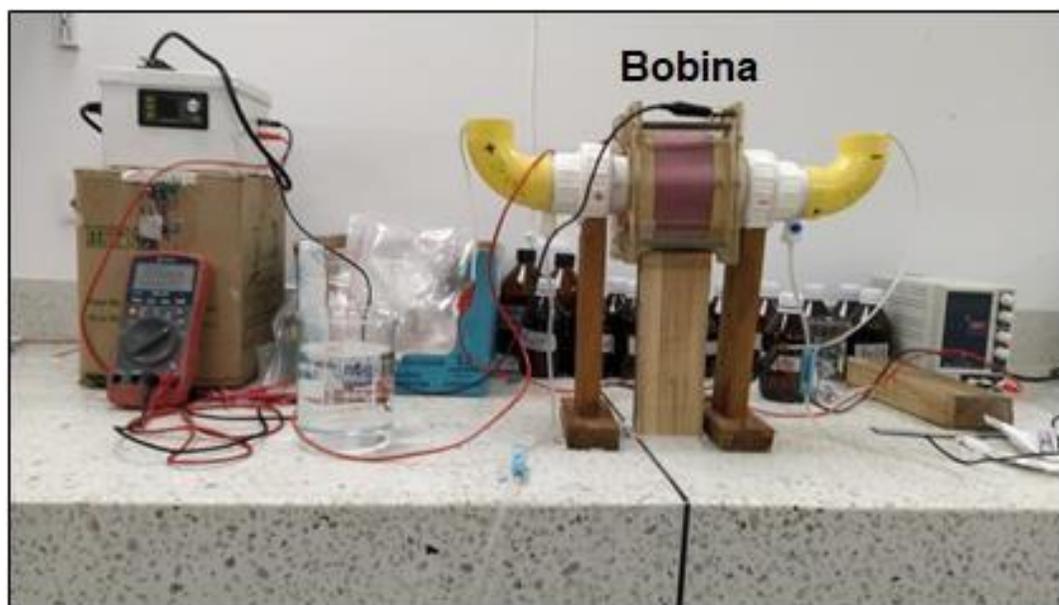


Figura 5. Montaje de la celda de electro-remediación de suelos, con la presencia del campo magnético externo.

4.1. Variabilidad de los parámetros en los electrolitos durante el tratamiento

El comportamiento de los parámetros TDS, temperatura, salinidad (Sal), conductividad eléctrica (CE), resistividad eléctrica (Res) y pH del anolito y catolito durante la electro-descontaminación de la muestra de suelo caolinítico contaminado con plomo tanto para la concentración media (100 ppm) como alta (200 ppm) se presentan en las figuras 6, 7, 8, 9 y 10, 11.

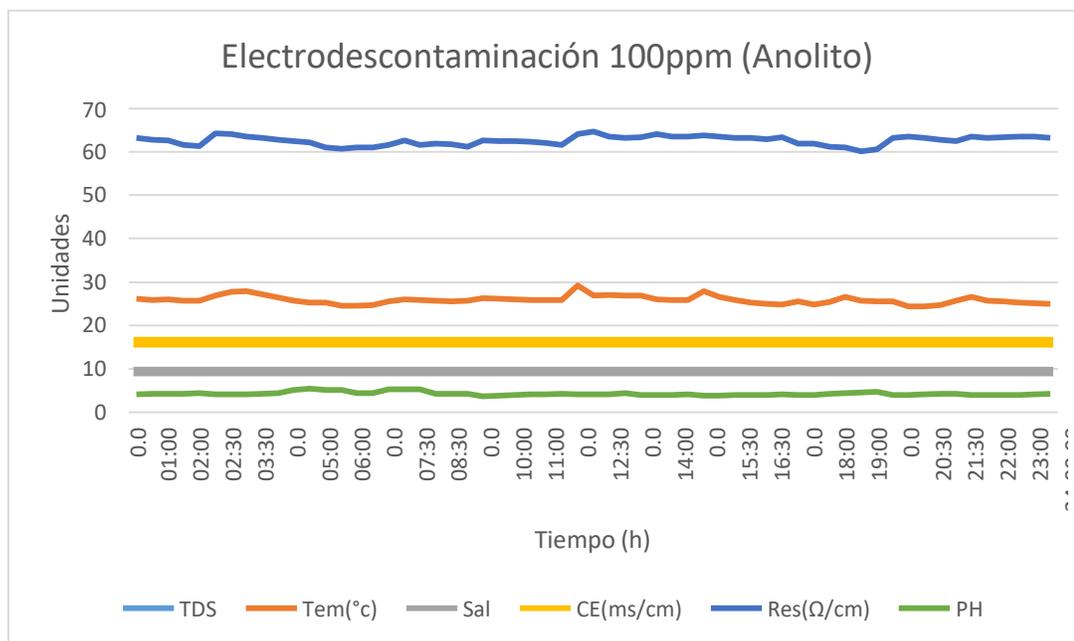


Figura 6. Comportamiento del anolito durante el proceso de electro-remediación para la concentración media (100 ppm) de plomo.

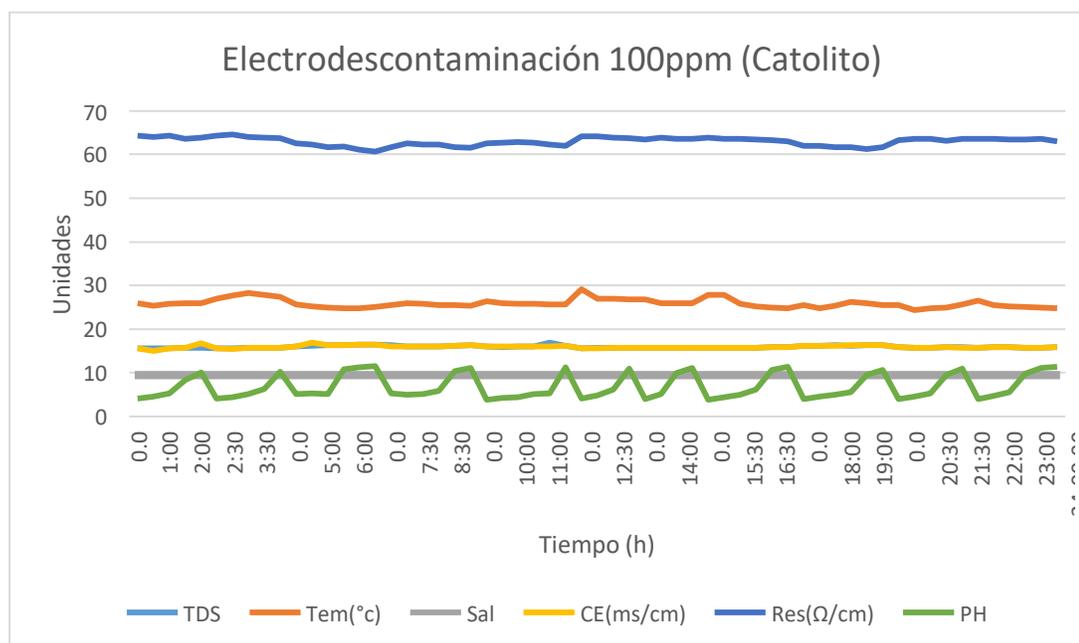


Figura 7. Comportamiento del catolito durante el proceso de electro-remediación para la concentración media (100 ppm) de plomo.

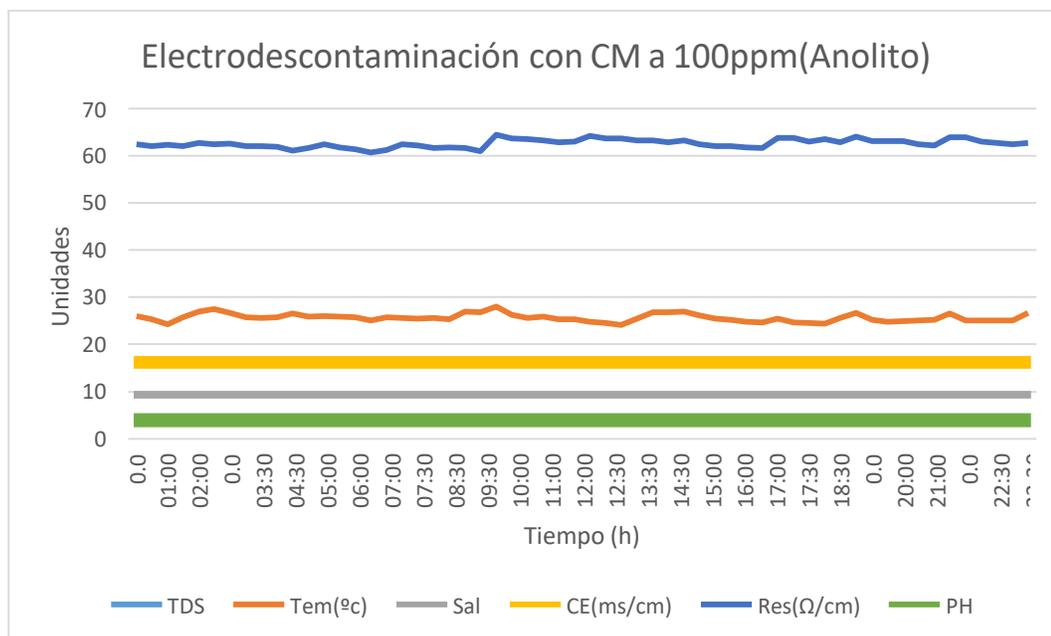


Figura 8. Comportamiento del catolito durante el proceso de electro-remediación para la concentración media (100 ppm) de plomo.

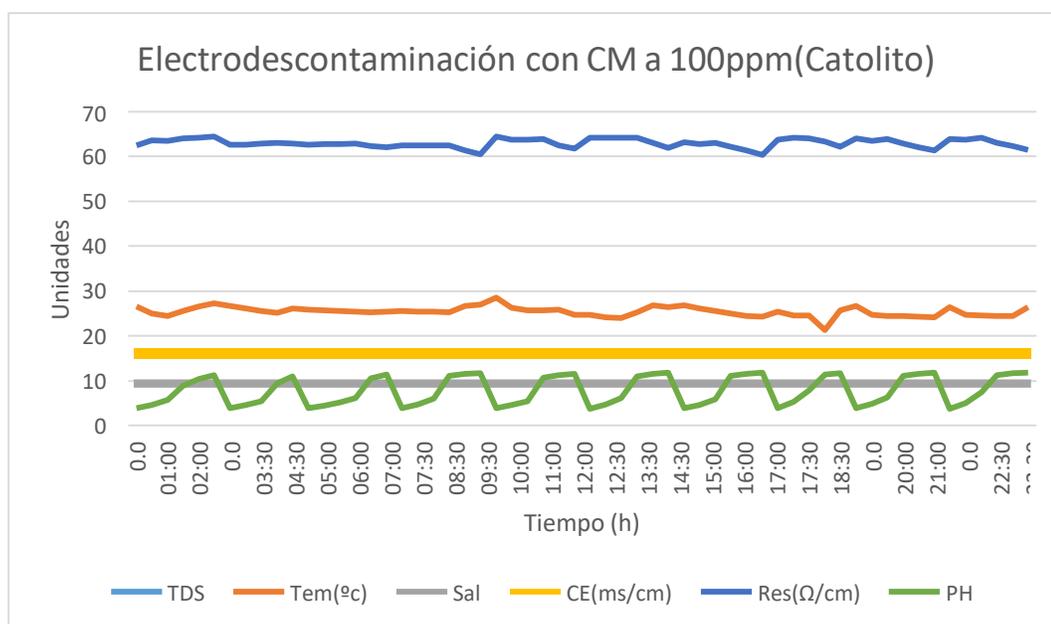


Figura 9. Comportamiento del catolito durante el proceso de electro-remediación con la presencia de un campo magnético externo a una concentración de 100 ppm de plomo.

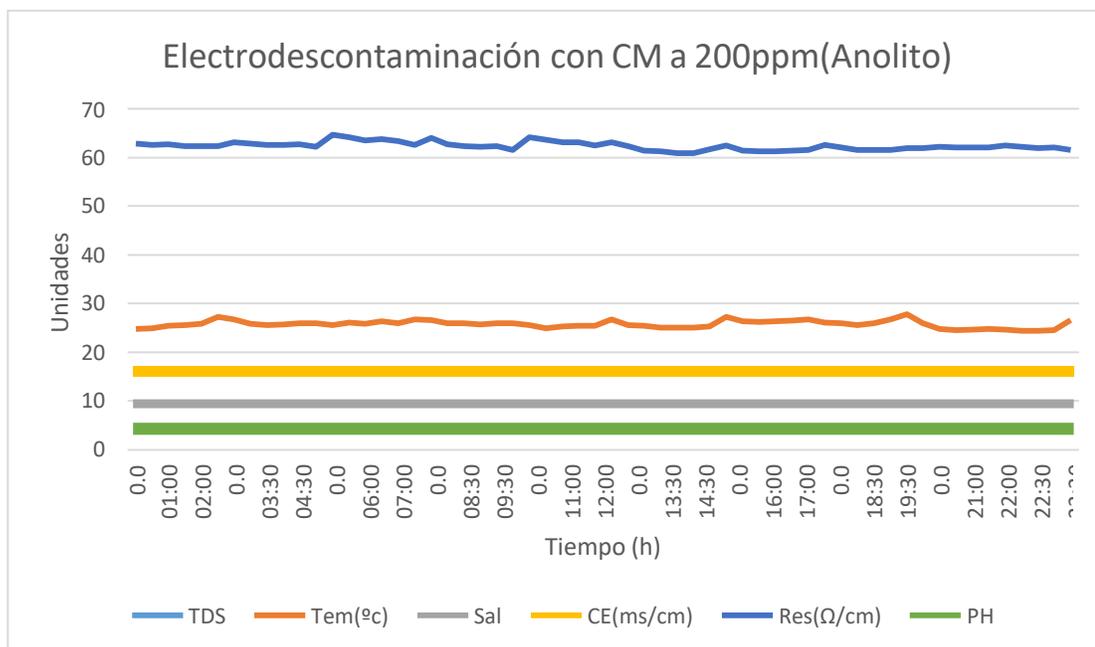


Figura 10. Comportamiento del anolito durante el proceso de electro-remediación con la presencia de un campo magnético externo la concentración alta (200 ppm) de plomo.

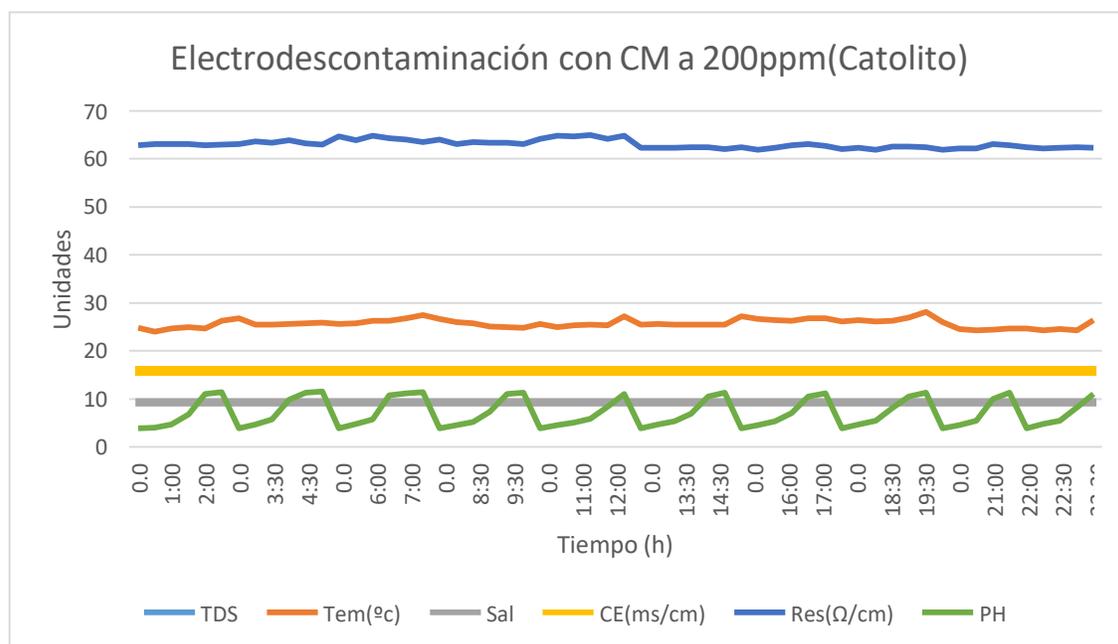


Figura 11. Comportamiento del catolito durante el proceso de electro-remediación con la presencia de un campo magnético externo para la concentración alta (200 ppm) de plomo.

De las figuras anteriores se puede observar que el comportamiento del pH durante el tratamiento del anolito fue disminuyendo gradualmente, mientras que en el catolito el nivel del pH fue aumentando de manera significativa en el transcurso del proceso, lo anterior es acorde con lo reportado por (De la Rosa Perez, Teutli León, & Ramirez Islas, 2007), (Garcia Hernández, Vargas Ramirez, & Reyes Cruz, 2011), (Alcántara, Gómez, Pazos, & Sanromán, 2011), entre otros. Así mismo debido a que el electrolito se renovaba periódicamente, se aprecia que el pH del catolito se incrementa hasta saturarse, mientras que para el anolito permanecía prácticamente constante. Por otra parte, los demás parámetros no presentan cambios notables, sin embargo, la salinidad, conductividad y sólidos totales disueltos (TDS) aumenta de manera leve por la extracción de muestra de la celda y seguramente la extracción de plomo, de igual forma la resistividad del electrolito disminuye en la misma proporción.

4.2. Concentración de Plomo mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAS)

En esta parte se realizó el análisis de la concentración de plomo en mg/Kg o ppm presente en las muestras de suelo caolinítico, tanto para la muestra sin tratamiento como para la muestra después del tratamiento, con el objeto de establecer la eficiencia del campo magnético durante el proceso.

La técnica utilizada fue espectrofotometría de absorción atómica (AAS), para lo cual se usó el equipo marca GBC modelo AVANTA Σ (ver **figura 11**), acoplado a una Lámparas de cátodo hueco de Pb. La preparación de la muestra se llevó a cabo mediante procedimiento para lectura de metales (digestión ácida). Todo lo anterior fue realizado en los laboratorios de análisis instrumental de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.



Figura 12. Espectrómetro de absorción atómica GBC modelo AVANTA Σ. Fuente: laboratorios de análisis instrumental de la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

En la **tabla 1**, se presenta los resultados para cada una de las muestras, en esta se puede apreciar que la concentración de plomo en la muestra inicial suministradas por caolines Santander reportó un valor de 21 ppm, dato que será utilizado para calcular las eficiencias de remoción tanto por el tratamiento de electro-remediación como electro-remediación y campo magnético, para lo cual se usará la expresión (1):

$$\%eff = \frac{C_o - C_f}{C_o} \times 100 \quad (1)$$

Donde C_f representa la concentración de Pb final o después del tratamiento, y C_o la concentración de Pb inicial o antes del tratamiento.

Tabla 1. Concentraciones de plomo para cada una de las muestras por espectrofotometría de absorción atómica (AAS)

Muestra	Descripción	Concentración de plomo (ppm)
M1	Suelo caolinítico inicial	21
M2	Suelo caolinítico con 100 ppm de Pb sin ningún tratamiento	91,4
M3	Suelo caolinítico con 200 ppm de Pb sin ningún tratamiento	148,4
M4	Suelo caolinítico con 100 ppm de Pb tratado con electro-remediación	53,4
M5	Suelo caolinítico con 100 ppm de Pb tratado con electro-remediación y campo magnético	26
M6	Suelo caolinítico con 200 ppm de Pb tratado con electro-remediación y campo magnético	45,1

De los resultados de la tabla 1, se aprecia el efecto del tratamiento de electro-remediación el cual disminuye considerablemente la concentración de plomo presente en las muestras, donde la muestra M2 reporto concentración de plomo de 91,4 ppm antes del tratamiento, y después del tratamiento con solo electro-descontaminación dicha concentración disminuye a 53,4 ppm encontrándose una eficiencia del 41,6 %. Por otra parte, también se observa el efecto del campo magnético aplicado durante el proceso de electro-remediación, pues esta misma muestra M2 después de dicho tratamiento con el campo magnético reporto una concentración de 26 ppm, lográndose una eficiencia 71,5%. También, al comparar los resultados entre las muestras M3 y M6 que corresponden a la concentración de 200 ppm, se aprecia que la eficiencia es del orden de

69,6 % mostrando una vez más el efecto del campo magnético externo aplicado durante el tratamiento del suelo caolinítico mediante electro-remediación.

4.3. Concentración de Plomo mediante espectroscopia ultravioleta visible (UV-VIS)

En esta parte se realizó el análisis de la concentración de plomo teniendo en cuenta la absorbancia medida en las muestras de suelo caolinítico. La técnica utilizada fue espectrofotometría Ultravioleta/Visible (UV-VIS), mediante el equipo marca THERMO FISHER SCIENTIFIC modelo GENESYS 10S UV-Vis (**ver figura 12**), que dispone de una lámpara de Xenón de alta intensidad que captan datos de toda la zona Ultravioleta/Visible. La preparación de la muestra se llevó a cabo mediante procedimiento para dilución de muestras 1:2.5 (muestra de suelo - agua destilada). Todo lo anterior fue realizado en los laboratorios de Calidad Ambiental de la UFPS sede Campos Elíseos.



Figura 13. Espectrómetro ultravioleta/visible GENESYS 10S UV-VIS. Fuente: laboratorio de calidad ambiental Campos Elíseos.

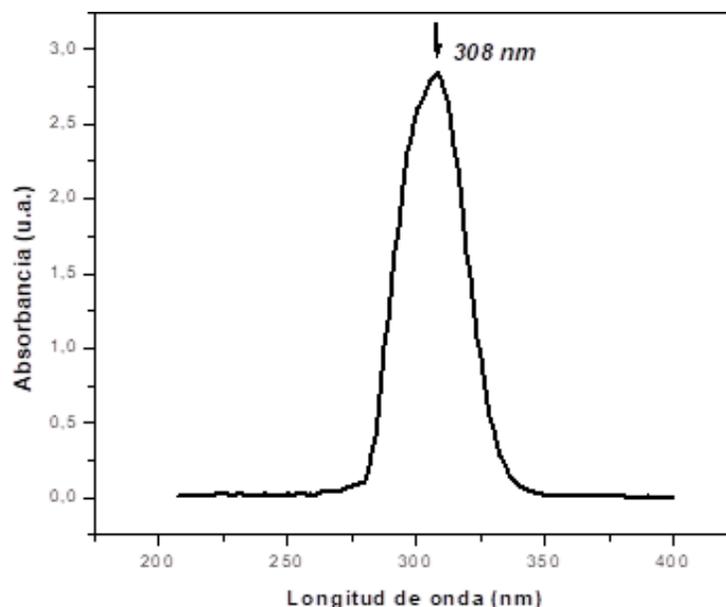


Figura 14. Espectro UV/Vis para la muestra estándar de plomo a 1000 ppm.

Para identificar la longitud de onda que presenta la máxima absorbancia en rango UV/Vis de la muestra de plomo, se procedió a realizar la medida del espectro para el estándar de plomo (1000 ppm), evidenciándose como se aprecia en la **figura 14** que dicha longitud de onda corresponde a 308 nm. Posteriormente se procede a realizar la curva de calibración, para lo cual se realizó disoluciones en agua destilada a 10, 30, 50, 100 y 200 ppm de la solución estándar a 1000 ppm, luego a dichas disoluciones se les midió la absorbancia para la longitud de onda $\lambda = 308 \text{ nm}$. En la **figura 15**, se presenta el mejor ajuste lineal con un $R^2=0,9921$ a los datos, obteniéndose una curva de calibración dada por la expresión (2), donde el eje de las ordenadas (y) corresponde a las absorbancias, mientras que el eje de las abscisas (x) representa la concentración en mg/L, dicho ajuste se llevó a cabo usando el software Origin Cal ver. 6.0

$$y = 0,0251 + 0,00347x \quad (2)$$

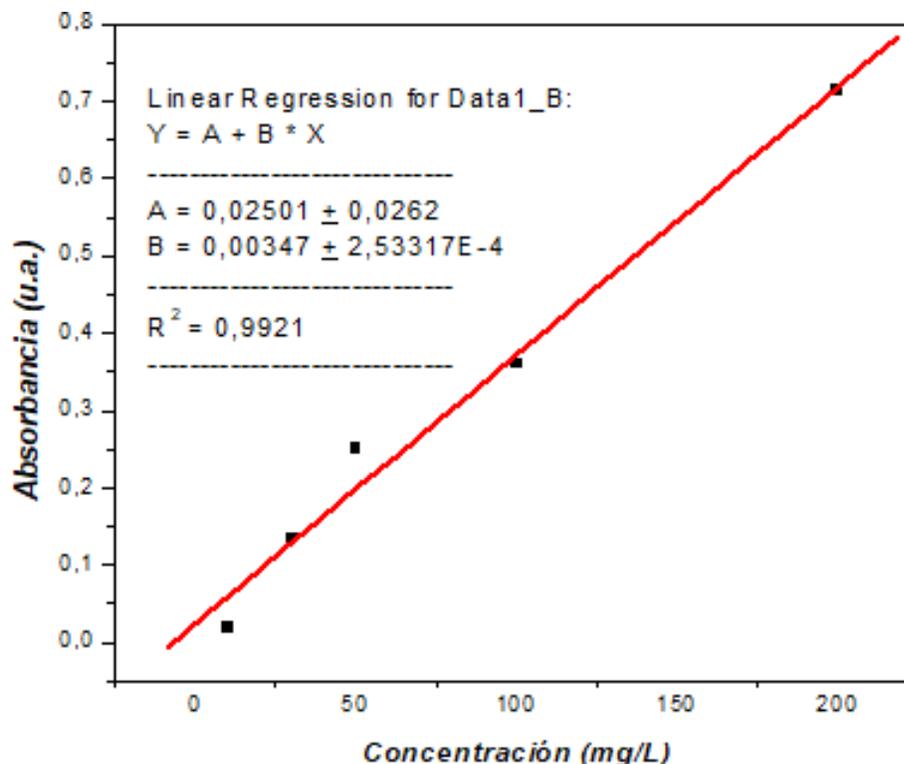


Figura 15. Curva de calibración, obtenida del ajuste lineal a los datos de las absorbancias para las concentraciones de 10, 30, 50, 100 y 200 ppm de plomo.

En la tabla 2, se reportan las absorbancias y la concentración (mg/L) para cada una de las muestras, donde se usó la expresión (2), para hallar dicho valor. De los resultados anteriores usando este procedimiento, se aprecia que la concentración no es similar a las halladas usando AAS (ver tabla 1), lo anterior es debido a que, en la preparación de la muestra en esta parte, hay una disolución adicional en relación 1: 2,5 (suelo/ agua destilada), y luego realizó el proceso de filtrado usando papel filtro Whatman. Por otro lado, se procedió a medir las eficiencias en la remoción del Pb usando la expresión (1), encontrándose para la muestra de Pb a 100 ppm (M2 y M4) que la eficiencia en la remoción fue del 51,68%, y al aplicar el campo magnético (M2 y M5) dicha eficiencia aumenta al 86,35%, evidenciándose una vez más el efecto de la aplicación del campo magnético externo. Así mismo al comparar los valores entre la muestra M3 y M6, se evidencia

que dicha eficiencia es del orden del 94,95%, ratificando lo hallado por AAS, mostrando la potencia de combinar el proceso de electro-remediación y la aplicación del campo magnético en el tratamiento de los suelos caoliníticos contaminados con plomo.

Tabla 2. Absorbancia máxima y concentración de plomo para cada una de las muestras por espectrofotometría ultravioleta / visible (UV- Vis)

Muestra	Descripción	Absorbancia de plomo	Concentración mg/L
M2	Suelo caolinítico con 100 ppm de Pb sin ningún tratamiento	0,116	26,23
M3	Suelo caolinítico con 200 ppm de Pb sin ningún tratamiento	0,201	50,72
M4	Suelo caolinítico con 100 ppm de Pb tratado con electro-remediación	0,069	12,68
M5	Suelo caolinítico con 100 ppm de Pb tratado con electro-remediación y campo magnético	0,031	1,73
M6	Suelo caolinítico con 200 ppm de Pb tratado con electro-remediación y campo magnético	0,114	2,56

5. Discusión

Al momento de realizar el proceso de electro-descontaminación en el lado del ánodo el pH no disminuyó, esto pudo haberse dado por la oxidación del alambre conductor que tiene contacto con el electrodo, aunque de igual forma esto se logró observar en otros procesos ya realizados con anterioridad por ejemplo el realizado por (Kim, Kim, & Kim, 2005), donde el pH del suelo que estaban tratando cercano al ánodo, en el transcurso del proceso se comportó bajo, el cual después de un mes de remediación arrojó un pH alrededor de 3.5, demostrando así que el proceso de remoción se lleva a cabo en gran parte en el lado del cátodo, logrando apreciarlo en nuestro proyecto como y de igual forma en los diferentes procesos que se han hecho con anterioridad por otros investigadores.

Respecto a la eficiencia del tratamiento es importante recalcar la naturaleza del suelo, el cual fue llevado a estudio, siendo en este caso un tipo de suelo arcilloso por lo tanto estos ofrecen mayor superficie de contacto, por lo que los metales y sustancias iónicas pueden ser adsorbidos con mayor facilidad en sus superficies (Emenike, Jayanthi, Agamuthu, & Fauziah, 2018). A diferencia de los suelos arenosos que debe existir un horizonte impermeable debajo del suelo contaminado, el cual impedirá que el electrolito drene a estratos más profundos para que así haya una mejor remoción (Pazos Currás, Cameselle Fernandez, & Sanroman Braga, 2007), esto se logró evidenciar en el proceso realizado por (García Hernández, Vargas Ramirez, & Reyes Cruz, 2011) ya que el suelo tratado fue de naturaleza arenosa evitando que el proceso se llevara a cabo de una forma más eficiente, donde al final del tratamiento arrojó que el porcentaje de remoción dio solamente un 12 % de eficiencia.

(Alcivar Perez, 2018). Nos menciona en su artículo que la distancia es la que influye en la disminución de la concentración del plomo en las muestras ya que es inversamente proporcional a mayor distancia, menor concentración de plomo en las muestras contaminadas, por lo cual al tener una distancia de 15 cm entre electrodos y una fuente constante de 40V obtuvieron un 99,9 % de eficiencia, donde al compararlo con nuestro proyecto logramos apreciar esto ya que al tener una distancia similar a la que ellos utilizaron y una fuente de 30V nuestros resultados también fueron satisfactorios en cuanto a la eficiencia esperada, dando fe a lo que ellos ya habían mencionado.

Cabe mencionar que en el proceso de electro-descontaminación influyen muchos factores que hacen que el porcentaje de eficiencia aumente o disminuya, entre estos puede estar el reactivo que se utilice como electrolito y también el material con el que está elaborado el electrodo, ya que esto dependerá del investigador, de cuáles son los que va a utilizar, para que sea mayor el porcentaje de remoción en el proceso a realizar.

6. Conclusiones

Se logra apreciar la efectividad del proceso de electro-descontaminación logrando extraer en gran proporción el plomo en cada una de las muestras, demostrando que es una tecnología que ayuda a la restauración de los suelos contaminados con metales pesados y es de fácil acceso debido al bajo costo de los reactivos utilizados.

El efecto del campo magnético externo en el proceso de electro-descontaminación genera que la eficiencia aumente en gran proporción logrando que la muestra contaminada con 100 ppm de plomo pase de un 41,6 % de eficiencia a un 71,5%. Por lo tanto, comparada con la muestra inicial llega a un porcentaje de eficiencia del 93% y, de igual forma con la muestra de 200 ppm el porcentaje de efectividad aumenta considerablemente. Esto se logró apreciar gracias al análisis de espectrofotometría de absorción atómica (AAS).

De igual forma que al análisis por (AAS), por medio de la espectrofotometría ultravioleta / visible (UV- Vis) se logró apreciar un aumento en la eficiencia de la extracción del plomo en cada una de las muestras tratadas, evidenciándose el efecto del campo magnético en la electro-remediación de las muestras con plomo.

Se logra inferir que el campo magnético externo aplicado orientado con las líneas de campo en la misma dirección que las líneas de campo eléctrico producido entre los electrodos, mejora notablemente el tratamiento del suelo, permitiendo que los iones del metal pesado (Pb) migren hacia la zona donde están dirigidas dichas líneas de campo, ayudando a una mejor extracción del contaminante.

7. Recomendaciones

Al momento de realizar el proceso de electro-descontaminación se recomienda estar pendiente del electrolito ya que durante el transcurso va subiendo el nivel de pH en el lado del cátodo pudiendo afectar la continuidad del mismo, donde lo más viable es cambiar el electrolito en ambos lados para que no haya algún tipo de contraindicación que afecte el proceso.

En cuanto a los dos análisis que se realizaron para la determinación de la concentración del plomo en las muestras, el de espectrofotometría de absorción atómica es más recomendable a comparación que el de espectrofotometría ultravioleta / visible ya que este último no es el más sensible habiendo muchos factores que pueden interferir con los resultados, además de que resulta tediosa en la medición cuando se trata de metales pesados.

Referentes bibliográficos.

Alcántara, M., Gómez, J., Pazos, M., & Sanromán, M. (2011). *Electrokinetic Remediation Of Lead And Phenanthrene Polluted Soils*. Vigo, ESPAÑA: ELSEIVER.

Ait Ahmed, O., Derriche, Z., Kameche, M., Bahmani, A., Souli, H., & Dubujet, P. (2015).

Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. elsevier, 37-48.

Alcivar Perez, E. E. (2018). *Evaluación De La Técnica De Electrorremediación Para La*

Recuperación De Suelos Contaminados Con Metales Pesados (Cd, Ni, Pb). Riobamba,

Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.

Carbonell, M., Flórez, M., Martínez, E., & Álvarez, J. (julio - diciembre de 2017). *Aportaciones*

Sobre El Campo Magnético: Historia E Influencia En Sistemas Biológicos. *Rev.*

Intropica, 12(2), 143 - 159.

Congreso de la republica de Colombia. (2015). *Proyecto de Ley n° 148*. Bogota, Colombia.

De la Rosa Perez, D., Teutli León, M. M., & Ramirez Islas, M. (2007). *Electrorremediación de*

suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo. Puebla, Mexico.

Emenike, C. U., Jayanthi, B., Agamuthu, p., & Fauziah, S. H. (2018). *Biotransformation and*

removal of heavy metals: a review of phytoremediation and microbial remediation

assessment on contaminated soil. *Envirometal Reviews*. Canadian Science Publishing,

156-168.

Faiqun Ni'am, M., Othman, F., Sohaili, J., & Fauzia, Z. (2006). Combined Magnetic Field and

Electrocoagulation for Suspended Solid Removal from Wastewater. *Proceedings of the*

- 1st International Conference on Natural Resources Engineering y Technology 2006*, (págs. 384-393). Putrajaya.
- Fansheng, M., Lingli, L., Juling, W., & Yeyao, W. (2013). Effect of pH Control at the Catode for the Electrokinetic Remediation Efficiency. *Third International Conference on Intelligent System Design and Engineering Applications*, 646-650.
- Fernandez, A. R. (s.f.). *Contaminacion De Suelos Por Metales Pesados*. Infoagro.(2005) Madrid, España
- Garcia Hernández, L., Vargas Ramirez, M., & Reyes Cruz, V. (2011). *Electrorremediación de suelos arenosos contaminados por Pb, Cd y As provenientes de*. Hidalgo, Mexico: Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales.
- Kim, S. O., Kim, W. S., & Kim, K. W. (2005). *Evaluation of electrokinetic remediation of arsenic contaminated soils*. Environmental Geochemistry and health.
- Lenntech & Purificación del Aire Holding B.V. (2007). *Propiedades químicas del plomo- Efectos sobre la salud del plomo - efectos ambientales del plomo*. Lenntech.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2013). *Politica Nacional para la gestion integral ambiental del suelo (GIAS)*. Bogota, Colombia.
- Muñoz Guerrero, M. N., & O'Farril Delis, G. (2018). *Pinturas del hogar con plomo: un riesgo silencioso para*. Colombia: Minsalud.
- Ng, Y.-S., Gupta, B. S., & Hashim, M. A. (2016). *Remediation of Pb/Cr co-contaminated soil using electrokinetic process and approaching electrode technique*. *Environmental Science and Pollution Research*, 546-555.

OMS. (2019). *Intoxicacion por plomo y salud*.

OMS. (2020). *Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas*. Obtenido de https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/gaelp/es/

Oyarzun, R., Higuera, P., & Lillo, J. (2011). *Mineria Ambiental Una Introduccion A Los Impactos Y Su Remediacion*. Madrid, España: GEMM.

Pazos Currás, M. M., Cameselle Fernandez, C., & Sanroman Braga, A. (2007). *Aplicacion de tecnicas electrocineticas en el tratamiento de suelos contaminados*. Vigo. España: Universidad de Vigo.

Pazos, M., Sanroman, M., & Camellese, C. (2006). *Improvement in electrokinetic remediation of heavy metal spiked kaolin with the polarity exchange technique*. España: Chemosphere.

Sidoli O'Connor, C., Lepp, N. W., Edwards, R., & Sunderland, G. (2003). The Combined Use of Electrokinetic Remediation and Phytoremediation to Decontaminate Metal-Polluted Soils: A Laboratory-Scale Feasibility Study. *Environmental Monitoring and Assessment* volume 84, 141-158.

Wuana, R. A., & Okieimen, F. E. (de 2011). *Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation*. Obtenido de Hindawi: <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2011/402647/>