

**MEJORAR LA REMOCIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA APLICADAS EN
UN SUELO DE PALMA AFRICANA UTILIZANDO LA TÉCNICA DE
ELECTRORREMEDIACIÓN**

YALENKA VANESSA EBRATTH PARDO

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2019

**MEJORAR LA REMOCIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA APLICADAS EN
UN SUELO DE PALMA AFRICANA UTILIZANDO LA TÉCNICA DE
ELECTROREMEDIACIÓN**

YALENKA VANESSA EBRATTH PARDO

Directora

PhD. Sandra Natalia Correa Torres

Profesora Facultad de Ingeniería Ambiental

Universidad Pontificia Bolivariana

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2019

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bucaramanga, Julio 2019

Tabla de contenido

1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO GENERAL	4
2.1.1. Objetivos específicos.....	4
3. MARCO TEÓRICO.....	5
3.2.1. Nanotecnología.....	5
3.2.2. Nanopartículas.....	6
3.2.3. Nanomateriales.....	6
3.2.4. Nanopartículas de plata.....	7
3.2.5. Síntesis de nanopartículas.....	8
3.3. TÉCNICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS METÁLICAS	11
3.3.1. Espectrofotometría Ultravioleta-visible	11
3.3.2. Microscopía electrónica de barrido (SEM).....	12
3.3.3. Espectroscopia de absorción atómica.	13
3.3.4. Componentes de un espectrofotómetro de absorción atómica.....	13
3.3.5. Descripción de la técnica A.A	14
3.4. EL SUELO	14
3.5. PROPIEDADES DEL SUELO	15

3.5.1. Propiedades físicas	16
3.5.2. Propiedades químicas.	18
3.5.3. Materia orgánica.....	21
3.6. PALMA AFRICANA.....	22
HONGO PRESENTE EN PALMA: <i>Fusarium solani</i>	22
3.7. ELECTORREMEDIACIÓN DE SUELOS	23
4. METODOLOGÍA.....	26
4.1. FASE I. SÍNTESIS DE NANOPARTICULAS DE PLATA.....	27
4.1.1. Identificación de las propiedades físico químicas del suelo.....	27
4.1.2. Síntesis por química verde de nanopartículas de plata	30
4.1.3. Magnetización de nanopartículas de plata.....	32
4.2. FASE II. AUMENTO DE LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS DE ELECTROREMEDIACION.....	33
4.2.1. Diseño de montaje para electrorremediación	33
4.2.2. Determinación de la distancia de electrodos	34
4.2.3. Determinación de los electrodos y voltajes.....	34
4.2.4. Determinación de la concentración de nanopartículas de plata.....	35
4.3. FASE III. ANÁLISIS DE LOS PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE NANOPARTICULAS DE PLATA EN EL SUELO	35
Técnica de digestión de suelo.....	35

4.3.1.	Comparación del porcentaje de remoción de nanopartículas de plata	36
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	38
5.1	FASE I. SÍNTESIS DE NANOPARTICULAS DE PLATA.....	38
5.1.1	Identificación de las propiedades fisicoquímicas del suelo	38
5.1.1.1	Textura del suelo proveniente del cultivo de palma.....	38
5.1.1.2	pH: Medición con potenciómetro en cloruro de potasio (KCl) y agua destilada.	40
5.1.1.3	Conductividad eléctrica en el suelo.	41
5.1.1.4	Humedad gravimétrica del suelo palma africana.....	42
5.1.1.5	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de suelo de Palma.....	43
5.1.2	Síntesis por química verde de nanopartículas de plata	44
5.1.3	Caracterización de nanopartículas de plata mediante SEM:	45
5.2	FASE II. AUMENTO DE LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS DE ELECTROREMEDIACION.....	47
5.2.1.	Determinación de la distancia de electrodos	47
5.2.2.	Selección de los electrodos y voltajes	48
5.2.3.	Determinación de la concentración de nanopartículas de plata.....	51
5.3	FASE III. ANÁLISIS DE LOS PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE NANOPARTICULAS DE PLATA EN EL SUELO	54
6.	CONCLUSIONES.....	57

7. REFERENCIAS.....	58
---------------------	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Escala nanométrica.....	6
Figura 2. Obtención de nanopartículas metálicas	8
Figura 3. Equipo Espectrofotómetro ultravioleta visible DR5000 HACH.....	11
Figura 4. Equipo SEM de la Universidad Pontificia Bolivariana.....	13
Figura 5. Espectroscopia de absorción atómica	14
Figura 6. Horizontes del suelo.....	15
Figura 7. Diagrama textural.	17
Figura 8. Características físicas del hongo Fusarium Solani.....	23
Figura 9. Técnica de electrorremediación	24
Figura 10. Fases metodológicas del proyecto	26
Figura 11. Ubicación geográfica de la finca la aurora zona de muestreo	27
Figura 12. Síntesis por química verde de nanopartículas de plata.....	30
Figura 13. Proceso de magnetización de plata	32
Figura 14. Diseño de montaje para electrorremediación	34
Figura 15. Determinación de nanopartículas de plata con espectrofotometría UV-visible	44
Figura 16. Microscopías electrónicas de barrido de AgNp a 100.000 X	45

Figura 17. Distribución de tamaño AgNp Química Verde	46
--	----

Figura 18. Porcentajes de remoción en pares de electrodos con diferentes voltajes.....	51
--	----

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Síntesis de nanopartículas de arriba hacia abajo.	9
---	---

Tabla 2. Síntesis de nanopartículas de abajo hacia arriba.	9
---	---

Tabla 3. Escala de pH	19
-----------------------------	----

Tabla 4. Clasificación de los resultados de pH en los suelos	19
--	----

Tabla 5. Clasificaciones de los suelos según el valor de pH encontrado	20
--	----

Tabla 6. Pruebas fisicoquímicas que se realizarán al suelo	28
--	----

Tabla 7. Textura del suelo en cultivos de palma, condiciones iniciales (sin AgNp).....	39
--	----

Tabla 8. Textura de suelo en cultivo de palma después del proceso de electrorremediación (con AgNp).....	39
--	----

Tabla 9. Medición de pH en suelo de palma africana, condiciones iniciales (sin AgNp)	40
--	----

Tabla 10. Medición de pH en suelos de palma africana, después del proceso de electrorremediación (con AgNp).....	40
--	----

Tabla 11. Conductividad eléctrica del suelo de palma.	41
--	----

Tabla 12. Humedad gravimétrica de las muestras de suelo, condiciones iniciales (sin AgNp).	42
---	----

Tabla 13. Humedad gravimétrica de las muestras de suelo, después del proceso de electrorremediación (con AgNp).....	42
Tabla 14. Capacidad de Intercambio Catiónico obtenido para un suelo de Palma Africana.	43
Tabla 15. Evaluación del porcentaje de remoción entre las distancias de los electrodos bronce-hierro con concentraciones iniciales de 100 ppm de AgNp a un voltaje de 70 v.	47
Tabla 16. Porcentaje de remoción de AgNp obtenidas con un par de electrodo de Cobre-Bronce a diferentes voltajes	48
Tabla 17. Porcentaje de remoción de AgNp obtenidas con un par de electrodo de Cobre-hierro a diferentes voltajes	49
Tabla 18. Porcentaje de remoción de AgNp obtenidas con un par de electrodo de hierro-Bronce a diferentes voltajes	49
Tabla 19. Análisis del Porcentaje de remoción de AgNp en pares de electrodos con el voltaje más eficiente	50
Tabla 20. Evaluación del porcentaje de remoción de AgNp a una concentración de 400 ppm	52
Tabla 21. Evaluación del porcentaje de remoción de AgNp a una concentración de 500 ppm	53
Tabla 22. Propiedades fisicoquímicas del estudio actual vs previo.....	54
Tabla 23. Porcentajes de remoción de nanopartículas de plata del estudio actual vs previo.....	56

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Mejorar la remoción de nanopartículas de plata aplicadas en un suelo de palma africana utilizando la técnica de electrorremediación

AUTOR(ES): Yalenska Vanessa Ebratth Pardo

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): Sandra Natalia Correa Torres

RESUMEN

En este proyecto de grado desarrollado en los laboratorios de suelos de la universidad pontificia bolivariana, seccional Bucaramanga, se buscó el mejoramiento de remoción de nanopartículas de plata (AgNp) aplicadas en suelo provenientes de palma africana de la finca la Aurora de Puerto Wilches, Santander, donde se analizaron los parámetros fisicoquímicos como pH, Textura, conductividad, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y humedad gravimétrica. Las nanopartículas de plata se desarrollaron a través de la síntesis por química verde, donde se analizó su presencia mediante espectrofotómetro UV- visible y se determinó su tamaño por microscopia electrónica de barrido (SEM) para posteriormente ser magnetizadas y dispuestas en los suelos de palma africana. Para ser removidas a través de la técnica electrorremediación. El tiempo de exposición fue de 7 horas, evaluando parámetros como distancia entre electrodos (5, 10, 15 cm), voltajes (60, 70 y 80 V), morfología y combinación de electrodos (bronce-hierro, bronce-cobre y cobre-hierro), utilizando como electrolitos ácido acético al 5 % y agua destilada. Se desarrolló una metodología para el mejoramiento de los procesos de electrorremediación mediante tres fases la primera para sintetizar las nanopartículas de plata la segunda para determinar la eficiencia de los procesos de electrorremediación y la tercera para analizar los porcentajes de remoción. Los resultados obtenidos en la extracción de nanopartículas de plata se analizaron a través de Espectroscopia de Absorción Atómica, calculando el porcentaje de remoción donde se obtuvo un aumento de 2,56% a comparación al estudio base.

PALABRAS CLAVE:

Electrorremediación, Palma africana, nanopartículas de plata.

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Improve the removal of silver nanoparticles applied to an African palm soil using the electroremediation technique

AUTHOR(S): Yalenska Vanessa Ebratth Pardo

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: Sandra Natalia Correa Torres

ABSTRACT

In this degree project developed in the soil laboratories of the Bolivarian Pontifical University, Bucaramanga section, we sought the improvement of silver nanoparticle removal (AgNp) applied in soil from African palm of the farm Aurora de Puerto Wilches, Santander , where the physicochemical parameters such as pH, texture, conductivity, cation exchange capacity (CIC) and gravimetric humidity were analyzed. The silver nanoparticles were developed through the synthesis by green chemistry, where their presence was analyzed by UV-visible spectrophotometer and their size was determined by scanning electron microscopy (SEM) to later be magnetized and arranged in African palm soils . To be removed through the electroremediation technique. The exposure time was 7 hours, evaluating parameters such as distance between electrodes (5, 10, 15 cm), voltages (60, 70 and 80 V), morphology and combination of electrodes (bronze-iron, bronze-copper and copper- iron), using 5% acetic acid and distilled water as electrolytes. A methodology was developed for the improvement of the electroremediation processes by means of three phases, the first to synthesize the silver nanoparticles, the second to determine the efficiency of the electroremediation processes and the third to analyze the percentages of removal. The results obtained in the extraction of silver nanoparticles were analyzed through Atomic Absorption Spectroscopy, calculating the removal percentage where an increase of 2.56% was obtained compared to the previous study.

KEYWORDS:

Electrorremediation, African palm, silver nanoparticles.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCION

El presente proyecto tiene como objetivo principal Mejorar la remoción de nanopartículas de plata aplicadas en un suelo de palma africana utilizando la técnica de electrorremediación. Debido a la disminución de productividad en el sector palmicultor por la aparición de una especie de hongo del tipo *Fusarium Solani*, la cual genera descomposición en el cogollo de la palma africana, necesaria para la producción de aceite vegetal, afectando la oferta en mercado mundial (Ramírez & Benítez, 2018).

Instituciones como la Universidad Pontificia Bolivariana a trabajado de la mano con el sector palmicultor, logrando grandes avances en el desarrollo de soluciones a través de los últimos años, en especial, investigaciones con nanotecnologías en el sector agropecuario. Del cual se deriva la creación de nanopartículas de plata debido a su efectividad para la inhibición del hongo *Fusarium Solani* y como un sustituto con igual o mayor eficiencia que los plaguicidas, pero con un menor impacto negativo desde el punto ecosistémico, ya que las nanopartículas de plata pueden ser recuperadas a través de la técnica de electrorremediación que permite la reutilización de dichas nanopartículas, generando de igual forma, una baja sustancial en los costos de mitigación y prevención.

La creación de las nanopartículas de plata se da a través de un proceso llamado síntesis por química verde, compuesto esencialmente de extracto vegetal derivado de la palma africana y de una solución stock, que está constituida por nitrato de plata (AgNO_3), donde posteriormente las nanopartículas de plata serán magnetizadas para ser removidas por los procesos de electrorremediación, (Raja & Ramesh, 2015).

La electrorremediación se desarrolla por medio de la creación de campos electromagnéticos a través de electrodos y electrolitos, generando la migración y el retiro de nanopartículas de plata en el suelo de palma africana, permitiendo la reutilización de dichas nanopartículas en nuevos procesos de eliminación de plagas (De la Rosa, Teutli, & Ramírez, 2007).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Mejorar la remoción de nanopartículas de plata aplicadas en un suelo de palma africana utilizando la técnica de electrorremediación

2.1.1. Objetivos específicos.

- Sintetizar nanopartículas de plata como agente antimicótico a partir de extracto vegetal de palma africana.
- Cuantificar el porcentaje de nanopartículas de plata recuperadas mediante la técnica de electrorremediación.
- Aumentar la eficiencia de los procesos de electrorremediación para la recuperación de nanopartículas de plata en suelos de palma africana afectados.

3. MARCO TEÓRICO

Actualmente, la nanotecnología está presente en los ámbitos industriales, de la economía del ser humano, por ende, sus implicaciones se relacionan, directamente, con los impactos ambientales y su remediación. La innovación en la utilización de dichas partículas permite el control y remoción de agentes alteradores del pH y otras características fisicoquímicas del suelo, (ESTIIC, s.f.). Frente a la aplicación anteriormente mencionada, la presente investigación mejorará la remoción de nanopartículas de plata aplicadas en un suelo de palma utilizando la técnica de electrorremediación.

3.2.1. Nanotecnología.

Perteneciente al campo de las ciencias aplicadas, la nanotecnología se dedica a la manipulación de la materia, a nivel de átomos y moléculas. En la actualidad, la nanotecnología tiene un impacto semejante, a los avances del antibiótico, electrónica y polímeros en el siglo XX (Mendoza & Rodríguez, 2007). Concretamente, se reconocen 2 implicaciones de su aplicación:

- *“Modificación extrema de las propiedades de los materiales y generación de otros*
- *Manipulación precisa de ciertos materiales”* (Mendoza & Rodríguez, 2007).

En resumen, se podría definir que la nanotecnología es el diseño, fabricación y aplicación de materiales (nanoestructuras y nanomateriales) a nivel atómico, aplicadas a las relaciones físicas y estructurales de la materia en una escala de $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ como se observa en la figura 1.

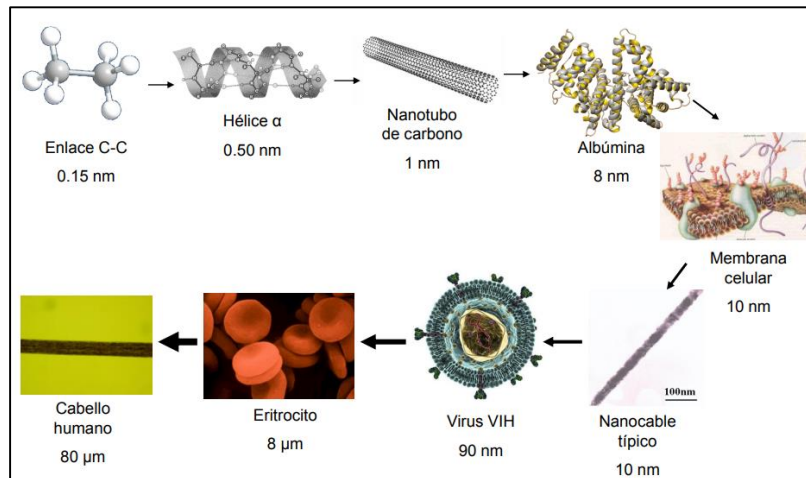


Figura 1. Escala nanométrica

Fuente: (Campos, 2014)

3.2.2. Nanopartículas.

Las nanopartículas son segmentos de material minúsculo de tamaño 1-100 nanómetros, las cuales se clasifican de la siguiente manera:

- **Nanopartículas de origen natural:** se crean a partir de procesos naturales e interacción entre elementos de la naturaleza, es así, por ejemplo, erupciones volcánicas y erosión eólica.
- **Nanopartículas incidentales:** son causadas por la acción del ser humano, derivadas de procesos industriales, vehiculares u hogareños.
- **Nanopartículas artificiales:** son creadas por voluntad en los procesos industriales del ser humano, con el fin de comercializar sus derivados en productos de consumo masivo.

3.2.3. Nanomateriales.

Son materiales con de tamaño inferior a un micrómetro; actualmente su tamaño se considera de 1 a 100 nm (Díaz, 2012). La Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos, EPA, clasificó en 4 grupos a los nanomateriales, dependiendo de su tipo:

a) Basados en carbono.

Están hechos en mayor medida por carbono con una morfología esférica, elíptica o tubular, comúnmente se ocupan para las labores de la electrónica por ser resistentes y ligeras.

b) Basados en metales.

Son nanopartículas de oro, plata óxidos metálicos

c) Dendrímeros.

Se reconocen como polímeros de tamaño nanométrico, comúnmente utilizadas para fármacos. Su morfología demuestra diversos extremos de cadena que se adaptan en la catálisis.

d) Compuestos.

Son combinaciones de nanopartículas de diversos tipos y tamaños (Díaz, 2012).

3.2.4. Nanopartículas de plata.

Como se mencionó anteriormente, las nanopartículas metálicas se han utilizado desde las primeras civilizaciones del hombre, salud, belleza, joyería, fotografía, entre otras, (Ávalos, Haza, & Mateo, 2013). Debido a sus características innatas como su conductividad, se aumentó el uso de las nanopartículas de plata en la industria, según Bourne Search, (citado por Ávalos, Haza y Mateo, 2013, p. 6). Con respecto a los usos en la recuperación de suelos, debido a su impacto antibacteriano, se ha utilizado como fuente para la eliminación de agentes alteradores de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del suelo.

De igual forma según Gutiérrez (2013), debido al tamaño de las nanopartículas de plata, pueden ocupar mayor espacio superficial en relación con el volumen. En ese sentido, las nanopartículas metálicas como al AgNPs se obtienen utilizando, principalmente, alguno de los siguientes dos métodos. El método físico, top down: subdivisión mecánica del metal o el método químico, bottom-up: se realiza mediante la nucleación y el crecimiento de las partículas, a partir de átomos metálicos,

(Gómez, 2014), específicamente se muestra en la figura 2 la obtención de nanopartículas metálicas.

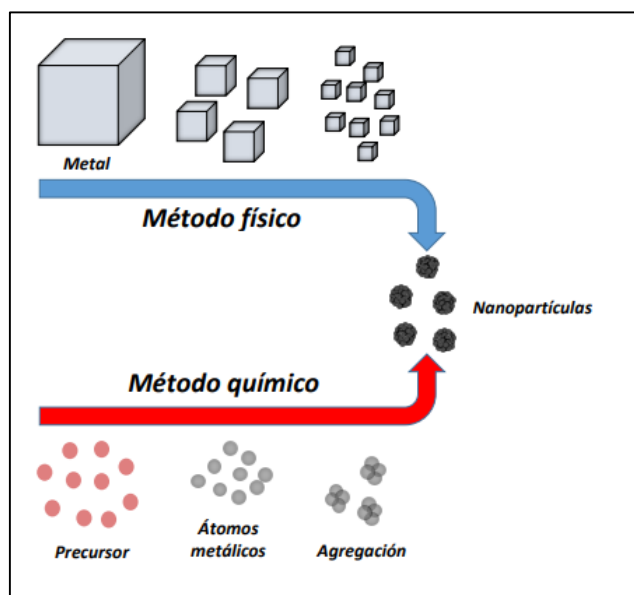


Figura 2. Obtención de nanopartículas metálicas

Fuente: (Gómez, 2014)

3.2.5. Síntesis de nanopartículas

Debido al efecto antimicrobial las nanopartículas de plata han sido utilizadas en diversos aspectos industriales y económicos del ser humano; debido a lo anterior, su influencia en la salud del hombre y en el medio ambiente debe ser controlada para mitigar el impacto negativo sobre dichos aspectos. En la tabla 1 presentan las principales síntesis de nanopartículas y en la tabla 2 se presenta la síntesis de nanopartículas de abajo hacia arriba.

Tabla 1. Síntesis de nanopartículas de arriba hacia abajo.

Método de síntesis	Descripción
Depósito químico en fase vapor	Es la agregación de uno o varios compuestos sensibles o volátiles dentro de una cámara de vacío, la cual expulsará, debido a la presión, el producto final o nanopartículas
Evaporación térmica	Es el proceso mediante el cual el producto se calienta hasta su evaporación dentro de una cámara de vacío en condiciones vigiladas y estándares, luego el vapor es condensado en una cámara fría
Preparación de clusters gaseosos	Se crean vapores metálicos atómicos, a partir del uso de un láser de alta intensidad. El producto es removido, debido a la acción del óxido monocristalino
Implantación de iones	Implanta iones en de una materia en un sólido, alterando las condiciones, estructura y propiedades físico y químicas
Molienda de partículas De tamaño macro o micrométrico	Es la clasificación de partículas nanométricas, después de su evacuación, a través de molinos de alta eficiencia

Fuente: Schmid (citado por Zanella, 2012, p. 76)

Tabla 2. Síntesis de nanopartículas de abajo hacia arriba.

Método de síntesis	Explicación
Reducción fotoquímica y radioquímica	Es la modificación de del sistema químico con la síntesis de nanopartículas metálicas, mediante la relación con energías en altas concentraciones

Irradiación con microondas	Se crean nanopartículas con baja dispersión de tamaño, las microondas que convergen en el proceso calientan el material, a través de cargas eléctricas
Utilización de dendrímeros	Para el proceso se utilizan micelas, emulsiones y dendrímeros a forma de nanorreactores con el fin de sintetizar partículas, al alterar la forma, estructura y naturaleza de los dendrímeros
Síntesis solvotermal	Son diversas técnicas. El material metálico se disuelve en un líquido dentro de un recipiente cerrado a altas temperaturas hasta lograr el punto de ebullición, alcanzando una presión superior a la atmosférica
Método sol-gel	Se fabrican materiales amorfos y policristalinos de forma eficaz y sencilla. Con mayor frecuencia se utiliza para obtener materiales como SiO ₂ , TiO ₂ , ZrO ₂
Método coloidal	Se utiliza un precursor metálico, agente estabilizante y agente reductor. Se debe decir que, el mecanismo de formación de las disoluciones coloidales se genera a partir de la reducción de iones en dos etapas, nucleación y crecimiento. La primera requiere de alta energía de activación, mientras el segundo requiere de menos medida de energía.

Fuente: Schmid (citado por Zanella, 2012, p. 77)

3.2. TÉCNICAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS NANOPARTÍCULAS METÁLICAS

3.2.1. Espectrofotometría Ultravioleta-visible

En primer lugar, se debe decir que es una técnica de análisis en la determinación cuantitativa de las concentraciones de soluciones de iones metálicos y compuestos orgánicos, a través del espectrofotómetro, el cual, utiliza la absorción de radiación electromagnética realizada por las moléculas, partiendo del nivel de concentración presente en el proceso. Las ondas varían entre 200 y 1100 nm; en otras palabras, el instrumento mide la intensidad de la luz que traspasa la muestra, con el fin de comparar las dos intensidades de luz, previa al ingresar a la muestra y posterior a paso a través de la materia, (Castro de Esparza, Litter, & Wong, s.f.). Las partes básicas de un espectrofotómetro se pueden observar en la figura 3 y en la siguiente descripción:

- Fuente de luz: comúnmente es una bombilla incandescente o una lámpara de arco de deuterio
- Soporte para la muestra: es el lugar o ubicación de la muestra en forma de rejilla para separar las diferentes longitudes de la onda lumínica
- Detector: es el receptor de la señal de la luz y su intensidad emitida en la longitud de la onda, transformándola en una emisión eléctrica para su póstumo análisis



Figura 3. Equipo Espectrofotómetro ultravioleta visible DR5000 HACH

Fuente: Autor

3.2.2. Microscopía electrónica de barrido (SEM)

La microscopia electrónica de Barrido por sus siglas en ingles SEM (Scanning Electron Microscopy), es una herramienta para observar y descubrir las características externas de materia orgánica e inorgánica. Además, permite que el observador determine la información morfológica del objetivo analizado, a partir de estos descubrimientos, se apoyan las investigaciones con objetivos de análisis microscópico. Las características del SEM son: Alta resolución, profundidad de campo y visión tridimensional de la muestra, según (Ipohorski & Bozzano, s.f.).

Dentro de sus mecanismos de observación, se pueden destacar el detector de electrones secundarios, el cual funciona para recopilar imágenes de alta resolución, también el detector de electrones retrodispersado que obtiene una visión de la composición y la superficie del objeto analizado y el detector de energía dispersiva para la determinación de los rayos X irradiados por la muestra, con el fin de estimular los análisis de distribución de los elementos presentes en la superficie, (Ipohorski & Bozzano, s.f.).

La formación de la imagen está determinada por la interacción entre el haz electrónico y la muestra. Estas interacciones se identifican de la siguiente manera en la descripción y en la figura 4:

- Ondas electromagnéticas determinadas por los rayos X y catodoluminiscencia
- Relaciones entre e^- con interacciones de e^- reflejados y e^- secundarios, transmitidos y absorbidos.



Figura 4. Equipo SEM de la Universidad Pontificia Bolivariana

Fuente: Autor

3.2.3. Espectroscopia de absorción atómica.

En la técnica Espectroscopia de absorción atómica (A.A), su principal objetivo es absorber la radiación de una longitud de onda. Para tal fin la radiación se absorbe, a través de átomos con niveles de energía como similitud energética a los fotones inmersos en el proceso. En resumen, es un método instrumental analítico, basada en la atomización de la muestra, a través de un quemador, el cual crea una niebla atómica que es expuesta a una energía emitida por una lámpara de cátodo, (Razmilic, 2018). Como se puede observar el equipo en la figura 5

3.2.4. Componentes de un espectrofotómetro de absorción atómica

- Fuente de radiación lineal y específica con una medida exacta para la transición en los átomos del elemento analizado
- Nebulizador, el realiza el proceso de atomización
- Quemador estimula la combustión para la formación de átomos
- Separador de la radiación de longitud de onda y demás residuos de radiaciones, conocido como sistema óptico
- Detector, transforma las señales de intensidad de radiación en señales eléctricas

- Amplificador de la señal eléctrica, con el fin de ser procesada con circuitos y sistemas electrónicos
- Sistema de lectura (Universidad Autónoma de Chihuahua , 2013)

3.2.5. Descripción de la técnica A.A

La absorción atómica en flama aspira en primera instancia a la muestra líquida, utilizando un tubo capilar, a través de un nebulizador, para atomizar la muestra. El rocío resultante es conducido a una flama para continuar con el proceso, y así, absorber la radiación de la fuente de radiación. La irradiación de la lámpara, después se dirige hacia el monocromador, luego, la señal de irradiación electromagnética pasa al amplificador, por último, el sistema de lectura determina las ultimas cualidades de la muestra, (Razmilic, 2018).



Figura 5. Espectroscopia de absorción atómica

Fuente: Autor

3.3. EL SUELO

Los suelos tienen diversos génesis, granulación de roca madre por cambios climáticos, características biológicas, biosfera, relieve, paso del tiempo o estándares físicos de la misma. En otras palabras, el suelo se forma constantemente, la degradación, segregación y acumulación de minerales en la materia orgánica,

conformando el volumen del suelo, (Porta , López, & Roquero De Laburu, 2003). Para su conformación los suelos se subdividen en horizontes o capas paralelas a la superficie con características propias, textura, espesor, color, sucesión y química, determinando, de esta forma, el tipo de suelo, calidad y utilización (Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, 2009). Actualmente reconocen horizontes orgánicos (O), horizontes minerales (A, B, C y R), como se puede observar en la figura 6

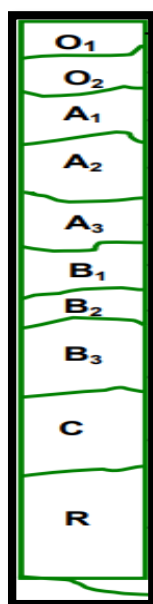


Figura 6. Horizontes del suelo.

Fuente: (Scalone, 2012)

3.4. PROPIEDADES DEL SUELO

Son las características propias del suelo, las cuales comprenden su composición química, estructura física, material orgánico y procedencia geológica. Entre las propiedades físicas están: textura del suelo, color, permeabilidad, porosidad, densidad aparente, densidad real, entre otras. En las propiedades químicas están materia orgánica, intercambio catiónico, y pH, según Porta y López (2003)

3.4.1. Propiedades físicas

Según, Porta y López (2003), con el desarrollo de las actividades agrícolas y comerciales, las propiedades físicas son determinadas, en varios casos, por las condiciones laborales del hombre sobre el suelo.

-Textura del suelo: es determinada por los porcentajes mayoritarios de material orgánico, arcilla, limo y arena, influenciando sus procesos físicos, químicos y biológicos, además, condiciona el tamaño de la superficie, alterando sus capacidades de permeabilidad y fertilidad, (Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, 2009). En este punto se debe decir que, las partículas de arena tienen un tamaño que oscila los 0,05 mm y 2mm, siendo una superficie menos densa y pequeña al compararse con la arcilla y el limo. Lo anterior causa una característica física reconocible, porosidad, permitiendo el movimiento del aire y tierra en los horizontes del suelo.

Cabe señalar que, los limos poseen un tamaño variable entre 0,002 y 0,005mm, permitiendo la liberación de nutrientes, apta para el crecimiento vegetal, debido a su capacidad de almacenamiento de agua; según Gisbert, Ibañez y Moreno (2010), la textura de las partículas de limo se asemeja al polvo, no obstante, no comparten su cualidad de adherencia a otros materiales. En menor medida, las partículas de arcilla alcanzan un tamaño no superior a 0,002, fortaleciendo su capacidad de almacenamiento de agua y retención de minerales. Para conocer los componentes de un suelo, es necesario determinar las características de las partículas de arcilla, puesto que poseen cargas eléctricas negativas en la superficie, reteniendo cationes, por ejemplo, potasio y magnesio, esenciales para el crecimiento vegetal, (Gisbert, Ibañez y Moreno, 2010). Para contextualizar, se observa la figura 7 que describe el diagrama textural.

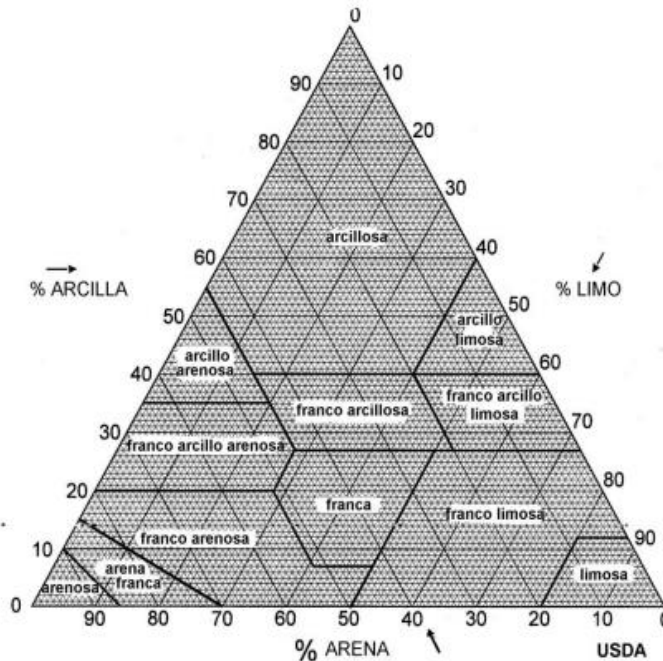


Figura 7. Diagrama textural.

Fuente: (Gisbert, Ibañez, & Héctor, 2010)

-Color: los componentes del suelo determinan su color, al igual que el contenido de agua almacenada, materia orgánica degradada y estado de oxidación de los minerales, (Gisbert, Ibañez, & Héctor, 2010)

-Permeabilidad: es considerada como la capacidad de traspaso del agua y el aire, a través del suelo, determinada por la infiltración o velocidad de traslado de los elementos en consideración con el tipo de suelo, es decir entre más arenoso es el suelo, mayor será su capacidad de infiltración, (Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, 2009).

-Porosidad: son los espacios existentes entre partículas sólidas del suelo, entre los cuales atraviesa el agua y el aire, transmitiendo minerales a los diversos horizontes, contienen entre sus poros, agua y aire. El primero es el componente principal, debido a sus componentes minerales. El segundo, aparece después de la fase gaseosa del primero, (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2013)

-Densidad aparente. Es conocida como la medida de peso en el suelo, (g/cc), también está relacionada con el peso específico de las partículas minerales y orgánicas, también a su porosidad. La naturalidad del suelo en parte está constituida por espacios intersticiales con presencia de agua y aire, variando la densidad aparente (Wooding, 1967). La importancia de esta cualidad, radica en el impacto de los estudios cuantitativos del suelo, como por ejemplo la medición de impactos ambientales, cambios en la humedad, formación de arcilla y acumulación de residuos orgánicos e inorgánicos.

-Densidad real. Está determinado por la densidad de las partículas sólidas presentes en el suelo. Es conocido como el peso de medición del volumen del suelo sólido. También hace referencia a la relación existente entre el volumen y la masa de las partículas del suelo, generalmente esta relación oscila entre 2.65 g/cc (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2013)

3.4.2. Propiedades químicas.

-pH en el suelo: se reconocen 3 estados del pH en el suelo, acidez, neutralidad y alcalinidad (Bárbaro, Karlanian, & Mata, 2013). En primer lugar, la acidez está presente en lugares de gran intensidad de lluvia, debido a la incrementación de actividad lixiviada, provocando el incremento de iones de hidrógeno, H^+ en comparación con la cantidad de oxidrilos, OH^- . Luego, la alcalinidad se puede observar en suelos con un alto grado de saturación de bases, correspondientes a suelos áridos y semiáridos, incrementando, en consecuencia, los iones OH^- sobre los iones H^+ .

En este punto se debe decir, existen factores para cambiar el pH del suelo. El primero, aumento del hidrógeno absorbido, segundo aumento de las bases adsorbidas. A continuación, se observará la tabla 3 que describe las escalas de pH

Tabla 3. Escala de pH

pH del suelo		Acidez/basicidad comparadas con pH 7.0
9.0	básico	100
8.0	básico	10
7.0	neutro	
6.0	ácido	10
5.0	ácido	100
4.0	ácido	1000

Fuente: (Tasistro, 2015)

Cuando se mide el pH en suelos se determina a través de medir las muestras en solución con cloruro de potasio (KCl) y otra muestra diluida en agua donde se determina el rango a través de la tabla 4 y la diferencia de estos respectivamente se determina el Δ pH donde se clasifican teniendo en cuenta la tabla 5

Tabla 4. Clasificación de los resultados de pH en los suelos

pH determinado en agua		pH Determinado en KCl	
Valor	Calificación	Valor	calificación
<3.5	Ultra acido	<4	Extremadamente acido
3.5 - 4.4	Extremadamente acido	4.0 - 4.9	Fuertemente acido
4.5 - 5.0	Muy fuertemente acido	5.0 - 5.9	Moderadamente acido
5.1 - 5.5	Fuertemente acido	6.0 - 6.9	Ligeramente acido
5.6 - 6.0	Moderadamente acido	7.0	Neutro
6.1 – 6.5	Ligeramente acido	7.1 - 8.0	Ligeramente alcalino
6.6 – 7.3	neutro	8.1 - 9.0	Moderadamente alcalino
7.4 – 7.8	ligeramente alcalino	9.1 - 10.0	Fuertemente alcalino
7.9 – 8.4	Moderadamente alcalino	>10.0	Extremadamente alcalino
8.5 - 9.0	Fuertemente alcalino		

>9.0 -	Muy fuertemente alcalino		
--------	--------------------------	--	--

Fuente: Soil Survey División Sslaff (SSDS, 1993) y Fassberder (1982)

Tabla 5. Clasificaciones de los suelos según el valor de pH encontrado

pH	Clasificación del suelo
<4.5	Suelos minerales, predominan las formas de aluminio intercambiables del Al^{3+} , apreciable el contenido y solubilidad de iones como H_3O^+ y de Mn^{2+} y alta probabilidad que se presente toxicidades con ellos; deficiencias de nitrógeno; contenido de bases intercambiables, demás elementos menores y de molibdeno son muy bajos, disponibilidad de fosforo muy baja
4.5 – 5.5	Suelos minerales con formas de aluminio intercambiable $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ y Al^{3+} ; no es significativo el contenido de H_3O^+ y los demás problemas expuestos para los suelos del grupo anterior se presentan con menor intensidad
5.5 – 6.5	Ningún contenido de acidez intercambiable, desaparece la posibilidad de toxicidad con Al^{3+} , H_3O^+ o Mn^{2+} . Mejora en la actividad biológica bacteriana; el suministro de bases, de molibdeno y de fosforo se mejora. Los suelos minerales ácidos, descriptos en los números anteriores, poseen buenas propiedades físicas
6.6 – 7.3	Neutro o casi neutro, adecuada disponibilidad de nutrientes
7.4 – 8.0	Alcalino, exceso de carbonatos libres y solubles. Baja disposición de fosforo, boro, hierro y zinc

>8.0	Exceso de sodio, inhibición del crecimiento vegetal, alto contenido de sodio intercambiable o de carbonato de calcio libre, genera problemas importantes de porosidad y permeabilidad
----------------	---

Fuente: Daniel Jaramillo, 2002

-Conductividad eléctrica: es la capacidad de transporte de corriente eléctrica que posee una solución acuosa. Debido a su relación, la determinación de la conductividad eléctrica, está próxima a la medición de la salinidad de los estadios del suelo, debido a que, los iones Mg^{+2} , K^{+1} , Na^{+1} , H^{+1} y NO^{-3} , SO^{-4} , Cl^{-1} , HCO^{-3} , OH^{-1} están asociados, directamente con la salinidad, (Bárbaro, Karlanian, & Mata, 2013).

-Intercambio catiónico: es la propiedad que posee un sólido para la absorción de cationes, a partir de la fase líquida, con el fin de intercambiar, en igual medida, por cationes diferentes a los iniciales, teniendo en cuenta factores favorables para el proceso como, temperatura, presión, entre otros, (Bárbaro, Karlanian, & Mata, 2013).

3.4.3. Materia orgánica

La materia orgánica es la sección del suelo que incluye residuos vegetales, animales y sustancias propias de los organismos o procesos inmersos en el terreno. Es reconocido que el humus es la fracción más estable, el cual es creado debido a la descomposición de los recursos orgánicos. Lo anterior está directamente relacionado con los procesos químicos e influye en las características físicas del suelo, según (Bornemisza, 1982)

Incidencia de los procesos químicos en la materia orgánica

- Mineralización del suelo, a partir de procesos químicos como la liberación de nitrógeno, fósforo, entre otros

- Estabilización del pH del suelo
- Estimula el intercambio catiónico

3.5. PALMA AFRICANA

La palma africana es conocida como una planta monocotiledónea, perteneciente a la familia *Arecaceae*, su nombre científico es *Elaeis Guineensis Jacq Elaeis*. Entre sus principales características, se destacan su superficie es espinosa, con flores a forma de frutos, además requiere para su subsistencia de condiciones climáticas y de suelos presentes en zonas tropicales. Las características de la planta son las siguientes, según (López J. , 2014)

- Posee 16 pares de cromosoma
- Genera un solo cotiledón, por ende, se clasifica como monocotiledónea
- Produce flores masculinas y femeninas
- Realiza polinización cruzada

HONGO PRESENTE EN PALMA: *Fusarium solani*

La familia *Fusarium* son hongos con filamentos esparcidos por el suelo que rodea la palma, logrando su subsistencia por su capacidad de soportar altas temperaturas. Cuando el hongo está presente, causa a su receptor vegetal daños en el aprovechamiento de nutrientes, (Vargas, 1992). En la figura 8 se presentan las características físicas del hongo *Fusarium Solani*.

Específicamente, el hongo *Fusarium solani* causa pudrición en las yemas, foliares y daños al área meristemática en cocoteros, papaya y palma de aceite africana, además los daños son notables al ser superficiales. Las características físicas del hongo *Fusarium solani* son:

- Aspecto liso y algodonoso
- Color blanco grisáceo o púrpura
- Es ovoide y puede tener tabique
- Su tamaño varía entre 8-16 x 2-4,5 μm

- Poseen puntas afiladas con collaretes definidos (Monzón & Rodríguez, 2012)

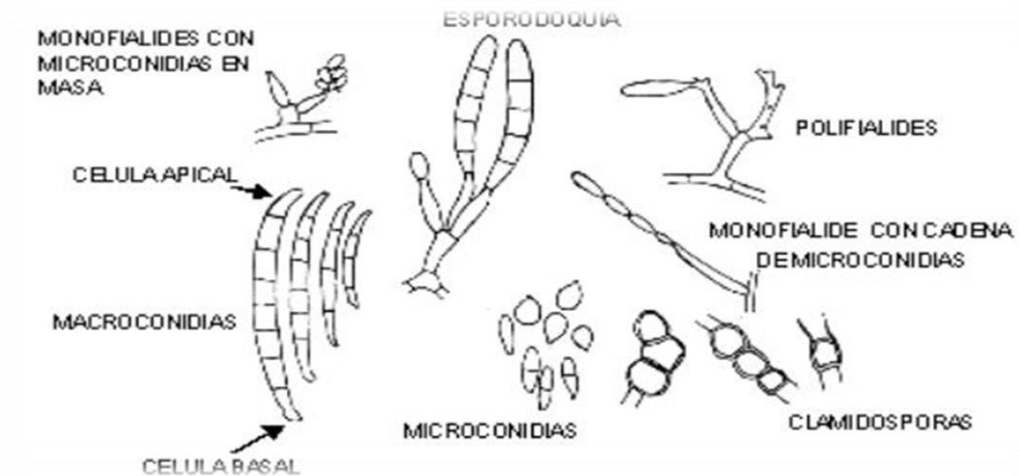


Figura 8. Características físicas del hongo *Fusarium Solani*

Fuente: (Monzón & Rodríguez, 2012)

3.6. ELECTORREMEDIACIÓN DE SUELOS

La electrorremediación es una técnica que se utiliza para recuperar suelos contaminados por metales pesados, a través de un campo eléctrico, estimulado por electrodos, ánodos y cátodos (De la Rosa, Teutli, & Ramírez, 2007). Los electrodos se emplean en las excavaciones del suelo, previa humectación con electrolitos, con el fin de fortalecer el proceso de conducción hacia el campo eléctrico. Los metales se extraen de forma controlada y directa, evitando la dispersión involuntaria a zonas no afectadas del suelo, (De la Rosa, Teutli, & Ramírez, 2007). Durante el proceso, se puede observar que las cargas positivas se dirigen al cátodo, mientras, las negativas se dirigen al ánodo, durante esta última relación se generan protones, debido a la oxidación del agua, mejorando el subproceso de desorción de los cationes del suelo. En la figura 9, se presenta el esquema de la técnica electrorremediación.

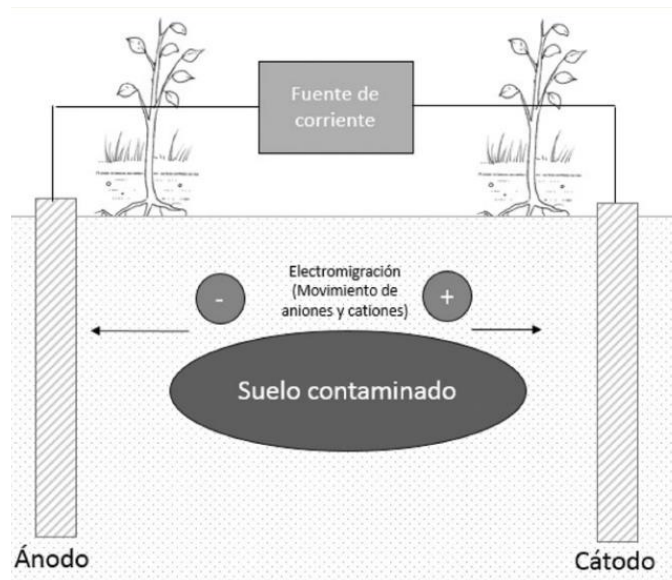


Figura 9. Técnica de electrorremediación

Fuente: (Alvarado, Navarro , Terán, & Vizcarra, 2015)

Existen diferentes tipos de electrorremediación como lo son:

-Electromigración: son los movimientos que realizan los iones hacia el electrodo que posee una carga opuesta

-Electroósmosis: es reconocido como el movimiento del agua en relación con la superficie del suelo, impactada por el campo magnético

-Electrólisis: se define como el movimiento de los iones en consecuencia de los cambios de potencia

-Electroforesis: movimiento de los iones suspendidos

La electrorremediación se utiliza para el tratamiento de suelos contaminados por metales, además se utiliza con mayor frecuencia en suelos con características de permeabilidad hidráulica elevada, (Rodríguez & Vasqués, 2003). Esta técnica presenta ventajas en el bajo consumo de energía, manipulación y control del flujo de agua, contaminantes disueltos y del acopio de los contaminantes en los electrodos. Para eliminar los residuos anteriores, es preciso el uso de resinas de

intercambio iónico, la técnica de bombeo o invirtiendo la polaridad para re disolverlos, según, (González, 2011).

Es preciso decir que la figura 8 representa la técnica de electrorremediación, al señalar la ubicación de los electrodos, no obstante, se define que estos se pueden instalar a la profundidad que desee el investigador, teniendo en cuenta los horizontes del suelo. De igual forma, se observa que el ánodo y cátodo están separados, favoreciendo el campo electromagnético y la atracción de metales pesados, es decir, el proceso de electromigración se condensa en paralelamente entre los polos en un flujo de electrones. (González, 2011).

4. METODOLOGÍA

Para el presente proyecto de grado se desarrolló una metodología para el mejoramiento de los procesos de electrorremediación con nanopartículas de plata teniendo en cuenta el estudio base denominado “Evaluación de la técnica de electrorremediación en el potencial de remoción de nanopartículas de plata, aplicadas a suelos contaminados del sector palmicultor” (Hernandez & Barrera, 2017), este proyecto está constituido por 3 fases específicas, la síntesis de nanopartículas de plata, aumento de la eficiencia de los procesos de electrorremediación y análisis de los porcentajes de remoción de nanopartículas de plata con sus respectivas subactividades (figura 10).



Figura 10. Fases metodológicas del proyecto

Fuente. Autor

4.1. FASE I. SÍNTESIS DE NANOPARTICULAS DE PLATA

4.1.1. Identificación de las propiedades físico químicas del suelo

Inicialmente se obtuvieron muestras de suelo provenientes de la finca la Aurora, productora de aceite de palma africana, ubicada a $7^{\circ} 27' 679''$ N, $-73^{\circ} 667' 18''$ W en el municipio de Puerto Wilches, Santander, como se observa en la figura 11, las cuales fueron analizadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, luego de pasar por el proceso de secado y tamizado.

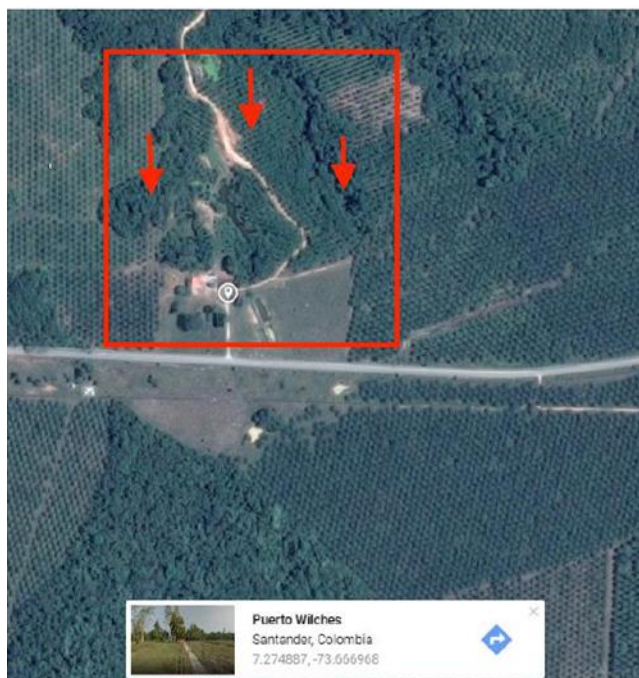


Figura 11. Ubicación geográfica de la finca la aurora zona de muestreo

Fuente: Google Maps

El suelo obtenido se analizó con las propiedades fisicoquímicas analizadas antes del proceso de electrorremediación como condiciones iniciales y después del proceso, para identificar la variabilidad de estas condiciones que influyen en los procesos de recuperación de nanopartículas de plata por electrorremediación, especificadas en la tabla 6

Tabla 6. Pruebas fisicoquímicas que se realizarán al suelo

Propiedad Fisicoquímica	Método	Evidencia
Textura	Método de Bouyoucos ASTM-152H Ecuaciones: $\%arena = \frac{\text{lectura corregida 40 segundos} \times 100}{\text{peso de la muestra}}$ $\%arcilla = \frac{\text{lectura corregida 2 horas} \times 100}{\text{peso de la muestra}}$ $\%limo = 100 - (\% arena + \% arcilla)$	
pH	Medición con potenciómetro en cloruro de potasio (KCl) y agua destilada -NTC 5264 Ecuaciones : $\Delta pH = pH\ KCl - pH\ en\ agua$	
Conductividad eléctrica	Conductímetro -NTC 5596	

Humedad gravimétrica	Humedad gravimétrica 48 horas Después de inundado el suelo. Ecuación: $\%HG = \frac{P.M.H - P.M.C}{P.M.C} * 100$ P.M.H=muestra húmeda p.M.C=muestra seca	
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Cantidad de cationes en miliequivalentes por 100 gramos (meq/100g) de suelo secado al horno a 105°C– NTC 5268 Ecuación: $CIC = (V - B) \times N_{soda} \times \frac{100}{\text{peso muestra}}$ $CIC = (V - B) \times 0,1 \times \frac{100}{5}$ $CIC = 2(V - B)soda$ V = volumen de soda gastada en la muestra B = volumen de soda gastado en el blanco N = normalidad de la soda	

Fuente: Manual de Laboratorio de Análisis de Suelos, Universidad Pontificia Bolivariana 2009, Laboratorio de Análisis Químico de Aguas Residuales, UPB.

4.1.2. Síntesis por química verde de nanopartículas de plata

Para la síntesis de nanopartículas de plata, se realizó el procedimiento de Coprecipitación presente en la figura 12.

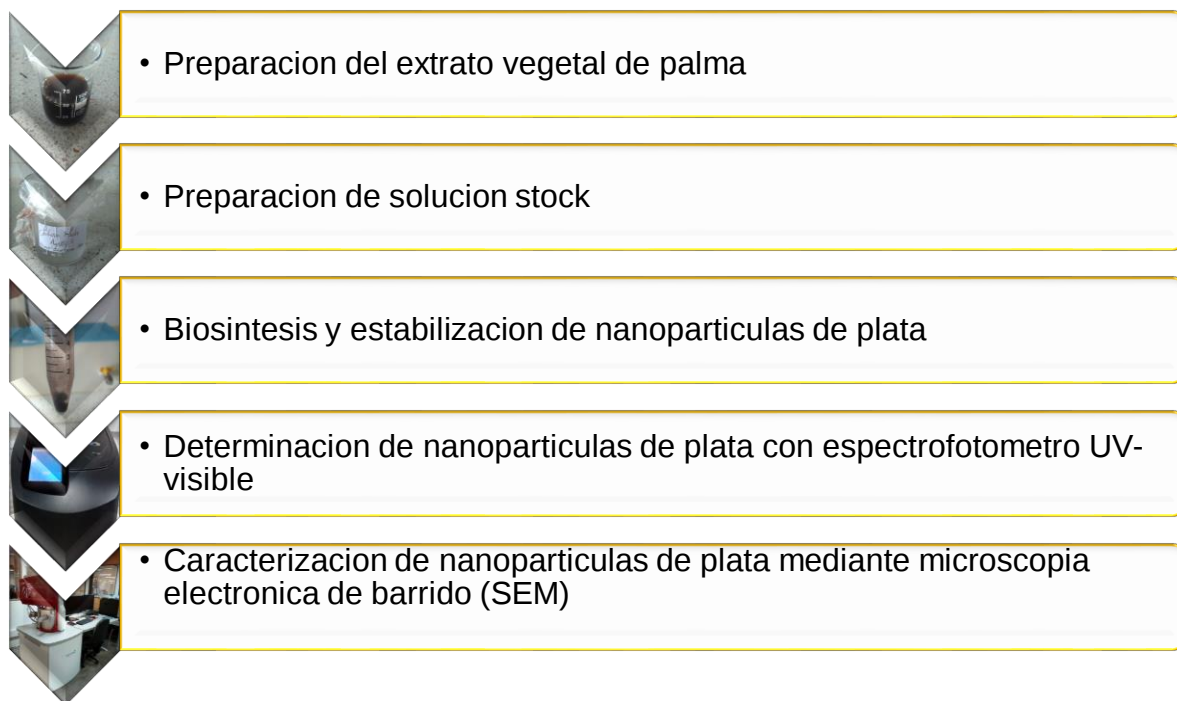


Figura 12. Síntesis por química verde de nanopartículas de plata

Fuente. Autor

Preparación del extracto vegetal de palma africana: En un vaso precipitado de 1000 mL, se calentó a 96°C una solución de 100 g de hoja de palma y agua destilada y se dejó en reposo hasta que alcanzó una temperatura de 60°C; el extracto se filtró y se calentó nuevamente hasta que la solución se evaporó a 200 mL, (Raja & Ramesh, 2015)

Preparación de la solución stock: Se mezclaron 17 g de Nitrato de Plata (AgNO_3) con 100 mL de agua destilada, (Raja & Ramesh, 2015)

síntesis por química verde y estabilización de nanopartículas de plata: Para la creación de nanopartículas se utilizaron 90 mL de agua destilada y 10 mL de solución stock (1M) en un vaso precipitado, mientras se le agregaba 10 mL de estrato vegetal, suministrados gota a gota, luego, se agito magnéticamente a 250 rpm por una hora, (Raja & Ramesh, 2015)

Después, la solución se centrifugo por 10 minutos a 4000 rpm y se eliminó el sobrenadante, posteriormente, se realizó 2 lavados de 5 mL con agua destilada, se centrifugo nuevamente y se repitió el proceso con 2 lavados de etanol, (Raja & Ramesh, 2015)

La solución obtenida se llevó al espectrofotómetro UV para verificar la longitud de onda de las nanopartículas entre el rango óptimo de 350 a 500 nm, según la literatura. Seguidamente, se llevó al microscopio de barrido electrónico (MBE) para determinar su distribución de tamaño y morfología, (Raja & Ramesh, 2015).

En seguida, se determinaron las nanopartículas más indicadas, se extrajo el precipitado secado en el horno a una temperatura de 80 °C hasta que el etanol se evaporo (2 horas) y se lleva a la mufla por 2 horas a 300 °C, (Raja & Ramesh, 2015).

4.1.3. Magnetización de nanopartículas de plata

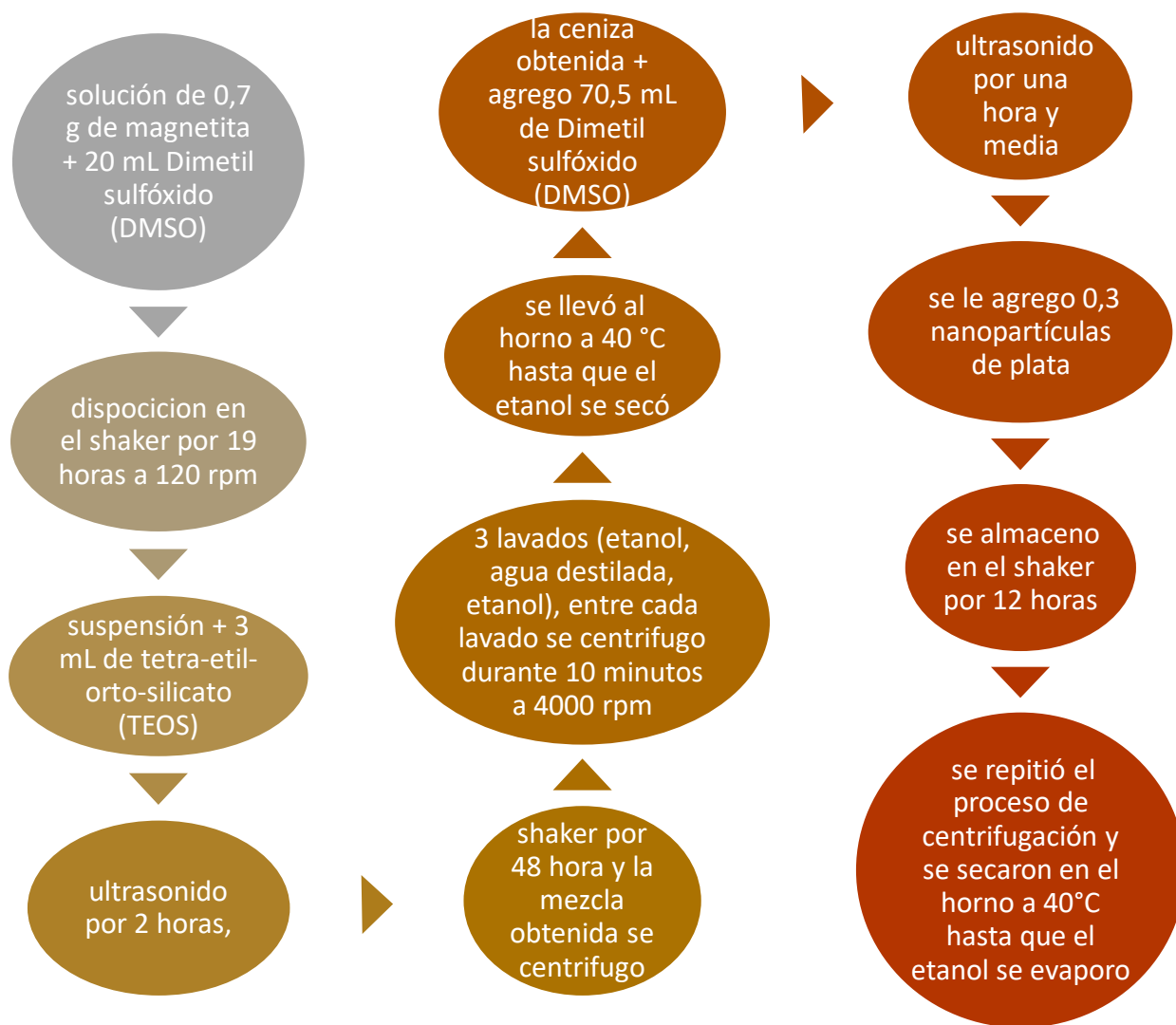


Figura 13. Proceso de magnetización de plata

Fuente. Autor & Monge (2008).

4.2. FASE II. AUMENTO DE LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS DE ELECTROREMEDIACION

4.2.1. Diseño de montaje para electrorremediación

Para el desarrollo del proceso de electrorremediación de nanopartículas de plata se utilizaron reactores de acrílico con las medidas de 20 cm ancho x 10 cm de alto x 10 cm profundidad con una capacidad de almacenamiento de 2 kg de suelo por reactor.

En los reactores se dispusieron una concentración determinada de nanopartículas magnetizadas de plata que se suministraron de forma diluida en 25 mL de agua destilada por aspersión a la primera capa del suelo, dejando un tiempo de reacción entre el suelo y las nanopartículas de plata, que son captadas por el par de electrodos de bronce, cobre o hierro que presentan una forma de lámina con medidas de 8 cm ancho x 15 cm largo x 6 mm, donde se suministraron una determinada cantidad de voltaje durante 7 horas.

Como electrolitos se utilizaron agua destilada y ácido acético al 5% para humedecer el suelo en la figura 14 se puede evidenciar el montaje del proceso de electrorremediación. Para la determinación de la eficiencia de remoción al final de cada prueba se rasparon los electrodos y se analizó el suelo adherido, con Espectroscopia de Absorción Atómica.

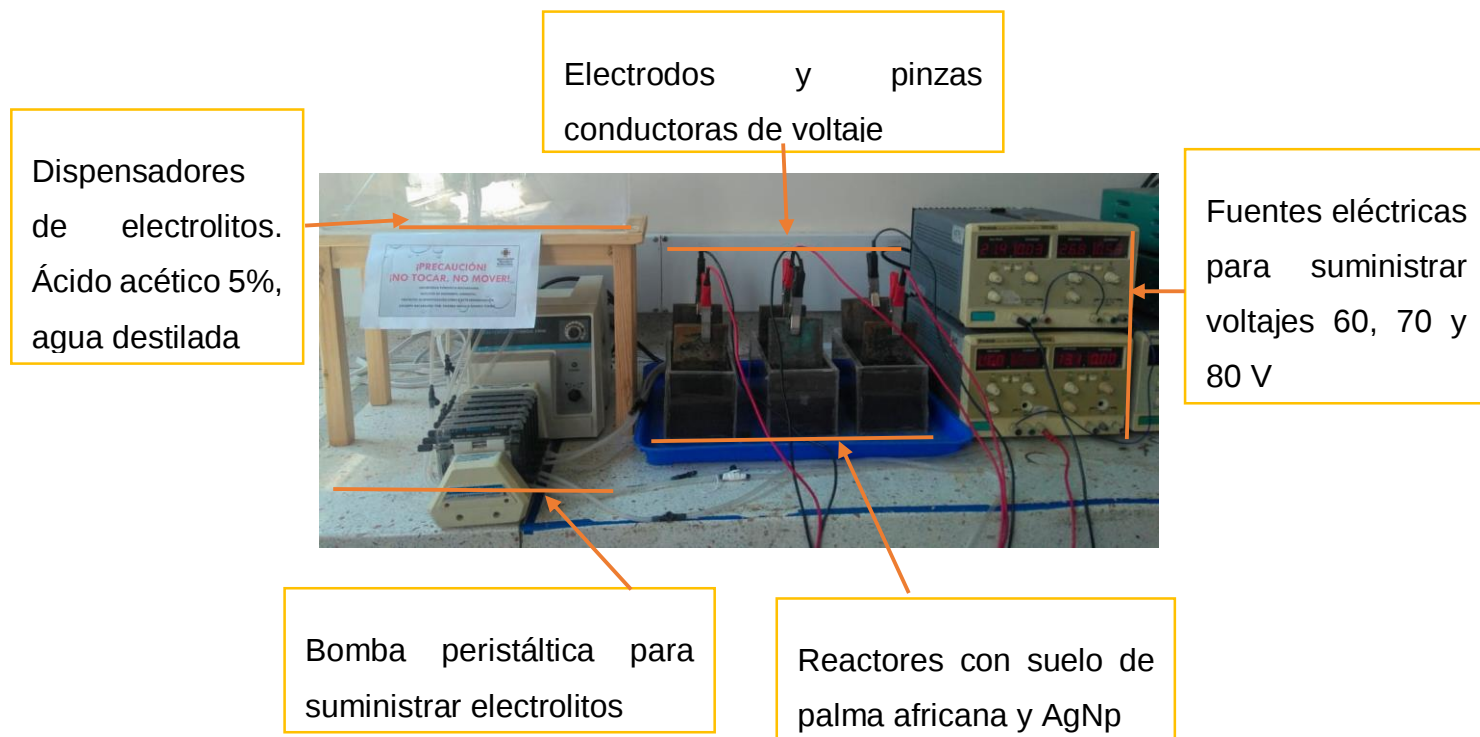


Figura 14. Diseño de montaje para electrorremediación

Fuente. Autor

4.2.2. Determinación de la distancia de electrodos

A partir de los resultados de la investigación previa (Hernández & Barrera, 2017), se utilizaron inicialmente electrodos bronce-hierro con un voltaje de 70 V y una concentración de 100 ppm de nanopartículas de plata. Donde la distancia entre electrodos se varió a 5, 10 y 15 cm para evaluar los resultados de remoción más altos

4.2.3. Determinación de los electrodos y voltajes

Teniendo los resultados anteriores de la mejor distancia, se determinaron el voltaje y combinación de electrodos que presente la remoción más favorable. En los reactores se colocaron muestras de suelo con una concentración de nanopartículas

de plata de 100 ppm con voltajes de 60, 70 y 80 V con una combinación de electrodos de broce-hierro, hierro-cobre, cobre-bronce y hierro-bronce.

4.2.4. Determinación de la concentración de nanopartículas de plata

Determinado el voltaje, la distancia y combinación de electrodos en los procesos anteriores, se determinaron la concentración de nanopartículas de plata más favorables para la remoción en donde se analizaron concentraciones de 400 y 500 ppm, ya que investigaciones previas como “análisis del efecto que ejercen las nanopartículas de plata, sintetizadas a partir de hoja de palma africana, sobre el crecimiento del hongo encontrado en la palma africana, a escala de laboratorio” (Landinez & Martinez, 2017), determinaron que para la inhibición del hongo *Fusarium solani* se necesitaban concentración ente 100 y 500 ppm de nanopartículas de plata.

4.3. FASE III. ANÁLISIS DE LOS PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE NANOPARTICULAS DE PLATA EN EL SUELO

La cantidad de nanopartículas de plata removidas en el suelo en los diferentes procesos anteriores, fueron analizadas por el laboratorio del Centro de Estudios e Investigaciones Ambientales (CEIAM) ubicados en el kilómetro 2 vía El Refugio Sede UIS–Guatiguara Piedecuesta a través de la técnica de Espectroscopía de Absorción Atómica en donde se les realizo un pretratamiento denominado técnica de digestión de suelos

Técnica de digestión de suelo

Después de tomar las diferentes muestras de los procesos anteriores se secaron en el horno a 120 °C por 24 horas y se colocaron en el desecador por 1 hora.

Teniendo un gramo de suelo seco de cada muestra, se le agregaron 10 mL de ácido nítrico y se colocaron a calentar a 95 °C constantemente, se dejaron en reflujo durante 10 minutos donde se le adiciono 5 mL de ácido nítrico concentrado, y se dejó en reflujo por 30 minutos nuevamente, este proceso se replicó 4 veces hasta que quedo un volumen aproximado de 5 mL.

Cuando la muestra se enfrió, se le adiciono 2 mL de agua acidulada con 3 mL de peróxido de hidrógeno al 30 %, la muestra se calentó hasta obtener un volumen aproximado de 5 mL, luego se enfrió y se filtró en una bomba de vacío.

El resultado filtrado se aforo en un balón de 100 mL con agua acidulada, a la cual se le agregaron 10 mL de ácido clorhídrico cada muestra se calentó a 95°C, dejando en reflujo por 15 minutos. La solución se dejó reposar hasta que se enfrió, se filtró y se aforo en un balón de 100 mL con agua acidulada, la cual se analizó a través de Espectroscopia de Absorción Atómica, (Hernández & Barrera, 2017).

4.3.1. Comparación del porcentaje de remoción de nanopartículas de plata

Para obtener la comparación del porcentaje de remoción de AgNp del presente estudio, se compararon la eficiencia de remoción para las variables determinadas para el método de electrorremediación de acuerdo a los resultados del porcentaje obtenido en el estudio base “Evaluación de la técnica de electrorremediación en el potencial de remoción de nanopartículas de plata, aplicadas a suelos contaminados del sector palmicultor” (Hernández & Barrera, 2017). En el estudio base se analizó la capacidad de remoción de nanopartículas de plata en suelos de palma africana provenientes de la finca Aceros del municipio de Puerto Wilches Santander, donde se utilizó una concentración inicial de nanopartículas de 36.75 ppm, teniendo como variables el voltaje de 60, 70 y 80 V y el tiempo de explosión de 24 o 48 horas a una distancia constante de 10 cm, con combinación de electrodos cilíndricos de bronce, cobre y hierro, donde se obtuvo como resultado un porcentaje de remoción de

19.89% con una combinación de electrodos de bronce-hierro a 70 V en un tiempo de exposición de 24 horas.

En el presente proyecto se variaron las concentraciones de nanopartículas de plata con valores más altos de 100, 400 y 500 ppm, la distancia entre electrodos correspondientes a 5, 10 y 15 cm, el tiempo de exposición a 7 horas y forma de los electrodos, donde se espera obtener un mejor porcentaje de remoción calculado a través de los valores de retención como se puede observar en las siguientes ecuaciones.

$$\%retencion = \frac{NpAg\ inicial - extracion\ abs.\ atomica}{NpAg\ inicial} \cdot 100$$

$$\%remocion = 100 - \%retencion$$

5. ANALISIS DE RESULTADOS

En este capítulo, se exponen los resultados obtenidos a través de la metodología planteada, donde se analizaron la fase I: sintonización de nanopartículas de plata, fase II: aumento de la eficiencia de los procesos de electrorremediación y fase III: análisis de los porcentajes de remoción de nanopartículas de plata en el suelo con el objetivo de Mejorar la remoción de nanopartículas de plata aplicadas en un suelo de palma africana utilizando la técnica de electrorremediación

5.1 FASE I. SÍNTESIS DE NANOPARTICULAS DE PLATA

5.1.1 Identificación de las propiedades fisicoquímicas del suelo

Las propiedades fisicoquímicas analizadas en las muestras de suelo se determinaron antes del proceso de electrorremediación como condiciones iniciales y des pues del proceso de electrorremediación, para identificar la variabilidad de estas condiciones que influyen en los procesos de recuperación de nanopartículas de plata por electrorremediación, como propiedades fisicoquímicas se analizaron textura, pH, conductividad eléctrica, humedad gravimétrica y capacidad de intercambio catiónico (CIC).

5.1.1.1 Textura del suelo proveniente del cultivo de palma

El suelo está constituido por partículas de diferentes tamaños como son arena gruesa (2.00 - 0.20) mm, arena fina (0.20-0.002) mm, arcilla (0.02-0.002) mm y limo (menos de 0.002) mm, según el sistema internacional, dependiendo de la cantidad de cada una, se puede determinar el tipo de suelo a través del triángulo de textura.

Los resultados obtenidos en las pruebas de textura por el método de Bouyoucos se pueden evidenciar en la tabla 7 y 8 donde se muestran las condiciones iniciales del suelo y las condiciones del suelo después de los procesos de electrorremediación respectivamente, presentando un suelo donde dominan las arenas catalogándolo

en suelos franco arenoso, con características de permeabilidad alta, lo cual favorece el paso de electrolitos para la saturación del suelo en los procesos de electrorremediación.

Tabla 7. Textura del suelo en cultivos de palma, condiciones iniciales (sin AgNp).

Muestra	% Arena	% Arcilla	% Limo	Tipo de suelo
A	88.44	9.64	21.20	Franco arenoso
B	89.72	9.64	19.92	
C	87.36	9.28	21.92	
Promedio	88.51 ±0.363	9.52 ±1.673	21.01 ±0.472	

Fuente. Autor

Tabla 8. Textura de suelo en cultivo de palma después del proceso de electrorremediación (con AgNp).

Muestra	% Arena	% Arcilla	% Limo	Tipo de suelo
A	86.72	10.64	23.92	Franco arenoso
B	87.72	9.64	21.92	
C	85.72	11.28	25.56	
Promedio	86.72 ±0.355	10.52 ±1.623	23.80 ±0.460	

Fuente. Autor

5.1.1.2 pH: Medición con potenciómetro en cloruro de potasio (KCl) y agua destilada.

Las pruebas realizadas para determinar el pH bajo la Norma NTC 5264 en las muestras de suelo se hicieron a través del potenciómetro, ya que el pH es un factor que interviene en la capacidad de intercambio catiónico dependiendo del tipo de suelo ácido o básico en donde los suelos ácidos predominan los H^+ (Rango de pH: 3.5 – 6.5) y en suelos básicos OH^- (Rango de pH: 7,4 - 9,0). En la tabla 9 y 10 se pueden observar los resultados obtenidos en las diferentes pruebas

Tabla 9. Medición de pH en suelo de palma africana, condiciones iniciales (sin AgNp)

Muestra	ΔpH	H ₂ O	KCl
A	-0.77	4.80	4.03
B	-0.72	4.74	4.02
C	-0.69	4.70	4.01
Promedio y Desviación estándar	-0.73 ± 0.013	4.75	4.02

Fuente. Autor

Tabla 10. Medición de pH en suelos de palma africana, después del proceso de electrorremediación (con AgNp)

Muestra	ΔpH	H ₂ O	KCl
A	-0.24	5.33	5.09
B	-0.18	5.25	5.07
C	-0.18	5.24	5.06
Promedio y Desviación estándar	-0.20 ± 0.012	5.27	5.07

Fuente. Autor

En donde el pH promedio de las condiciones iniciales se determinó a través de la medición del agua que es 4.75 con una desviación estándar de ± 0.0411 y el KCl de 4.02 con una desviación estándar ± 0.0082 respectivamente clasificándolos como muy fuertemente ácido y fuertemente ácido. En los resultados la diferencia entre el pH del agua y del KCl se obtuvo el ΔpH con un valor de -0.73 y una desviación estándar de ± 0.0330 . Determinando la acidez del suelo extremadamente ácido, haciendo referencia a la disminución en cuanto a disponibilidad de nutrientes.

A comparación de los resultados obtenidos después del proceso de electrorremediación donde el Δ pH resultante es de 5.07 con una desviación estándar de ± 0.005 manteniéndose en muy fuertemente ácido, generando una disminución del Δ pH de las condiciones iniciales, debido a la disolución del ácido acético con el agua destilada considerándose un ácido débil ya que su disolución es parcial liberando cationes (H^+) y aniones (CH_3COO). Debido que esta combinación de electrolitos agua destilada y ácido acético se suministró por separado pudo a ver una afectación en la disminución del pH.

Los valores negativos hacen referencia a la carga que tiene la muestra de suelo analizada asíéndola un buen intercambiador de cationes como son los H^+ lo cual dan la acides en el suelo.

5.1.1.3 Conductividad eléctrica en el suelo.

La conductividad eléctrica mide la cantidad de sales iónicas o catiónicas presentes en el suelo de palma africana, los resultados mostrados en la tabla 11 indican unas condiciones iniciales de 0.640 ds/m con una desviación estándar de ± 0.0045 . Después del proceso de electrorremediación se observa un aumento de la conductividad en 1.276 ds/m con una desviación estándar de ± 0.009 donde se puede deber al incremento de cationes (H^+) y aniones (CH_3COO) provenientes de los electrolitos. Clasificándose como suelos no salinos (0-0.98 ds/m) y muy ligeramente salinos (0.98-1.71 ds/m) respectivamente.

Tabla 11. Conductividad eléctrica del suelo de palma.

Muestra	Conductividad eléctrica (ds/m)	
	Condiciones iniciales	Condiciones Después del proceso de electrorremediación
A	0.646	1.275
B	0.636	1.303
C	0.637	1.252

Promedio y Desviación Estándar	0.640 ±0.107	1.276 ±0.009
---------------------------------------	--------------	--------------

Fuente: autor

5.1.1.4 Humedad gravimétrica del suelo palma africana

La humedad gravimétrica es el método más preciso que existe en la actualidad para medir el contenido de humedad del suelo dentro los reactores, esto con el fin de buscar el punto de saturación del suelo, teniendo en cuenta los resultados mostrados a continuación en la tabla 12.

Tabla 12. Humedad gravimétrica de las muestras de suelo, condiciones iniciales (sin AgNp).

Muestra	Suelo seco (g)	Suelo Húmedo (g)	%HG
A	810.75	1100.75	35.77
B	900.80	1240.80	37.74
C	995.82	1305.82	31.13
Promedio y Desviación Estándar	902.45	1215.79	34.88 ±1.131

Fuente. Autor

Tabla 13. Humedad gravimétrica de las muestras de suelo, después del proceso de electrorremediación (con AgNp).

Muestra	Suelo seco (g)	Suelo Húmedo (g)	%HG
A	920.75	1249.75	35.73
B	1000.80	1340.10	33.90
C	1000.82	1335.48	33.43
Promedio y Desviación Estándar	974.12	1308.44	34.35 ±2.148

Fuente. Autor

De acuerdo a los datos de la tabla 10, se logró determinar los porcentajes de humedad gravimétrica, con el fin de dar a conocer la cantidad de electrolitos requerida. En donde estas condiciones son las iniciales en el suelo, dando como

resultado 34.88% con una desviación estándar de $\pm 0.99\%$ donde se pudo determinar que la cantidad de electrolitos requerida para la saturación del suelo es de 310 mL. En la tabla 11 se puede observar los resultados obtenidos de humedad gravimétrica después del proceso de electrorremediación evidenciando que no hubo algún cambio en su porcentaje de humedad gravimétrica ya que los resultados fueron 34.35% con una desviación estándar de ± 2.148 .

5.1.1.5 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) de suelo de Palma

En el CIC se evalúa la suma total de los cationes intercambiables de un suelo, y es la capacidad que presenta el suelo para retener e intercambiar cationes dependiendo de las cantidades de cargas negativas presentes en las arcillas y materia orgánica que podemos refutar con las cargas negativas del pH.

Cuanto mayor es el CIC mayor es la cantidad de cationes que éste puede retener, en la tabla 14 se pueden observar los resultados obtenidos en las pruebas de CIC para un suelo proveniente de cultivo de palma.

Tabla 14. Capacidad de Intercambio Catiónico obtenido para un suelo de Palma Africana.

Muestra	CIC (meq/100 g)	
	Condiciones iniciales	Condiciones después del proceso de electrorremediación
A	5.25	5.6
B	5.00	5.0
C	4.75	5.6
D	5.00	5.6
E	5.20	5.8
Promedio y Desviación Estándar	5.04 $\pm$ 0.039	5.52 $\pm$ 0.061

Fuente: autor

Los resultados de CIC para las condiciones iniciales del suelo fueron de 5.04

meq/100 g con una desviación estándar de ± 0.1841 , al observar los resultados después del proceso de electrorremediación se evidencio un aumento del CIC a 5.52 meq/100 g con una desviación estándar de ± 0.061 debido al aumento de cationes (H^+) por parte de los electrolitos, lo cual al ser menor del rango 10 meq/100 g significa que presenta un CIC bajo, lo cual era de esperarse ya que las muestras analizadas presentan una gran composición de arenas (87.61%) estas no presentan reactividad al intercambio catiónico.

5.1.2 Síntesis por química verde de nanopartículas de plata

Las muestras de nanopartículas sintetizadas por química verde fueron analizadas mediante la técnica de espectrofotometría UV- visible, a través del equipo UV-Visible DR5000 HACH, el cual realizo un barrido 350 a 550nm, por medio de diluciones con agua destilada, que garantizaron que la luz atravesase la muestra y generará una banda de plasmón, lo cual permitió determinar la presencia de nanopartículas, como se puede observar en la figura 15.

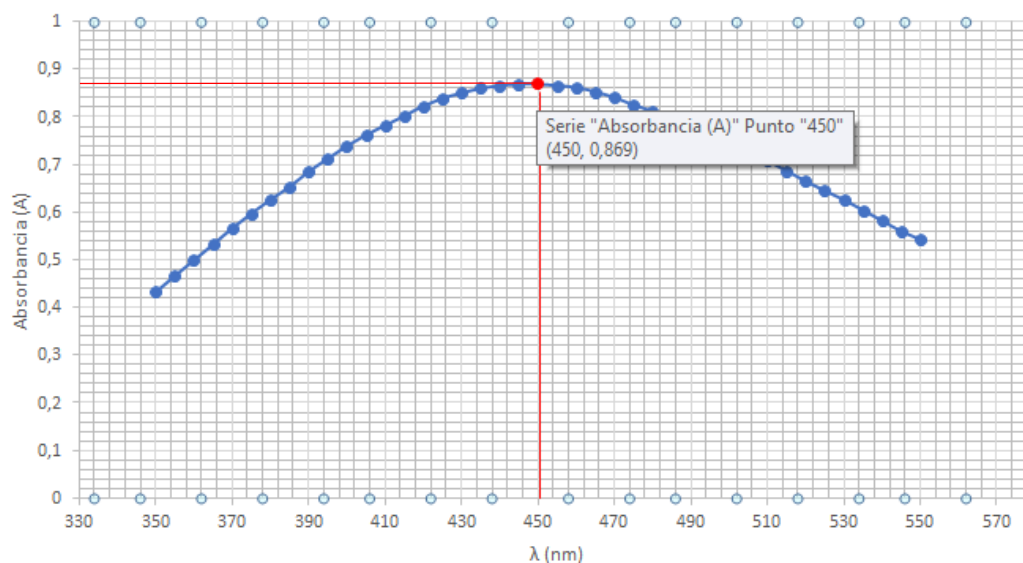


Figura 15. Determinación de nanopartículas de plata con espectrofotometría UV- visible

Fuente. Autor

La técnica de espectrofotometría UV- visible permite evidenciar la presencia de nanopartículas, de acuerdo a las disoluciones coloidales, las cuales presentan un pico centrado de 450 nm de longitud de onda para la plata y una absorbancia de 0.869 A, como se evidencia en la figura 15. Estos resultados permiten analizar las nanopartículas para los procesos de secado y magnetización.

5.1.3 Caracterización de nanopartículas de plata mediante SEM:

Las nanopartículas de plata sintetizadas fueron caracterizadas por su tamaño y morfología como se evidencia en la figura 16, mediante la microscopia electrónica de barrido SEM,

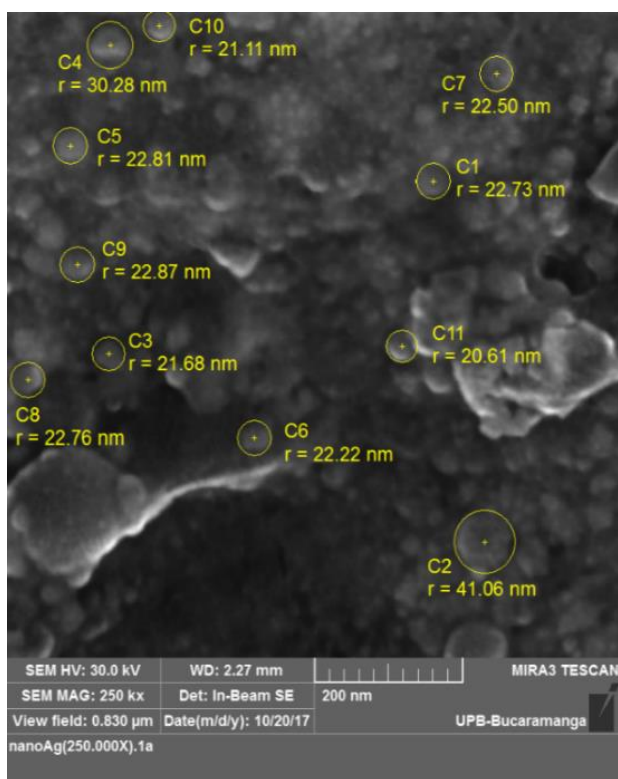


Figura 16. Microscopías electrónicas de barrido de AgNp a 100.000 X

Fuente. Laboratorio SEM

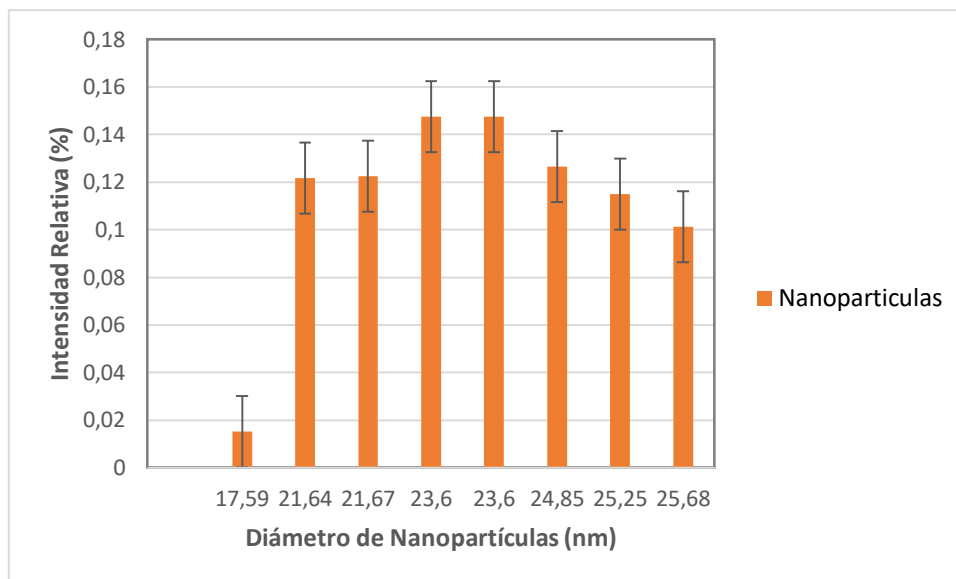


Figura 17. Distribución de tamaño AgNp Química Verde

Fuente. Autor

En el SEM se realizó un barrido de las muestras de nanopartículas con un aumento de 250.000x, un tamaño de 200 nm y cambiando la distancia de aplicación del haz de electrones en valores de: 2.27 nm, las cuales presentaron un diámetro promedio de 23.33 nm con una desviación estándar de ± 2.69 ; lo que significa que los valores de los diámetros obtenidos por el SEM no presentan una gran variabilidad de tamaños como se evidencia en la figura 17.

5.2 FASE II. AUMENTO DE LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS DE ELECTROREMEDIACION

A partir de la absorción atómica se obtuvieron los resultados de la concentración final de nanopartículas, los cuales fueron promediados, como se puede observar en las tablas 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21.

5.2.1. Determinación de la distancia de electrodos

Las distancias entre los electrodos fueron evaluadas con el fin de determinar a qué distancia el campo electromagnético permite una remoción de nanopartículas de plata. En la tabla 15 se establecen los valores promedio de porcentaje de remoción de nanopartículas de plata obtenidas por la técnica de absorción Atómica.

Tabla 15. Evaluación del porcentaje de remoción entre las distancias de los electrodos bronce-hierro con concentraciones iniciales de 100 ppm de AgNp a un voltaje de 70 v.

Distancia entre los electrodos (cm)	Concentración Inicial AgNp en el suelo (mg/Kg)	Concentración final AgNp en el suelo (mg/kg)	% Retención AgNp en el suelo	% Remoción AgNp en el suelo
5	1.25	0.035	97.183	2.816 ± 0.215
10	1.25	0.047	96.426	3.753 ± 0.213
15	1.25	0.013	98.926	1.073 ± 0.219

Fuente. Autor

Los porcentajes de retención de nanopartículas de plata por la técnica electrorremediación, permite calcular los porcentajes de remoción. El porcentaje de remoción favorable es de 3.753% en la distancia de 10 cm con una concentración final de nanopartículas de 0.047 mg/kg y una desviación estándar de ± 0.213 .

5.2.2. Selección de los electrodos y voltajes

Para la sección de los electrodos y voltajes fue necesario determinar la mejor distancia de electrodos, que de acuerdo al análisis realizado en el laboratorio de la Universidad Pontifica Bolivariana en las tres muestras por cada voltaje, se obtuvieron los siguientes resultados para cobre-bronce de 60, 70 y 80 Voltios como se evidencia en la tabla 16.

Tabla 16. Porcentaje de remoción de AgNp obtenidas con un par de electrodo de Cobre-Bronce a diferentes voltajes

Voltajes (V)	Concentración Inicial AgNp en el suelo (mg/Kg)	Concentración final AgNp en el suelo (mg/kg)	% Retención AgNp en el suelo	% Remoción AgNp en el suelo
60	1.25	1.063	14.93	85.07 ± 0.033
70	1.25	0.500	60.00	40.00 ± 0.133
80	1.25	0.467	62.67	37.33 ± 0.138

Fuente. Autor

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 16, el promedio más alto en la concentración final de nanopartículas es de 1.063 mg/kg con una desviación estándar de ± 0.033 , para 60 voltios presentando un porcentaje de remoción de 85.07%.

Para el caso de Hierro-cobre de 60, 70 y 80 Voltios, el promedio más alto en la concentración final es de 0.427 mg/Kg con una desviación estándar de ± 0.145 , para 60 Voltios, presentando un porcentaje de remoción de 34.13%, como se evidencia en la tabla 17.

Tabla 17. Porcentaje de remoción de AgNp obtenidas con un par de electrodo de Cobre-hierro a diferentes voltajes

Voltajes (V)	Concentración Inicial AgNp en el suelo (mg/Kg)	Concentración final AgNp en el suelo (mg/kg)	% Retención AgNp en el suelo	% Remoción AgNp en el suelo
60	1.25	0.427	65.87	34.13 ± 0.145
70	1.25	0.133	89.33	10.67 ± 0.197
80	1.25	0.000	100.00	0.00 ± 0.221

Fuente. Autor

Por último se obtuvieron los resultados para Hierro-Bronce de 60, 70 y 80 Voltios como se evidencia en la tabla 18.

Tabla 18. Porcentaje de remoción de AgNp obtenidas con un par de electrodo de hierro-Bronce a diferentes voltajes

Voltajes (V)	Concentración Inicial AgNp en el suelo (mg/Kg)	Concentración final AgNp en el suelo (mg/kg)	% Retención AgNp en el suelo	% Remoción AgNp en el suelo
60	1.25	0.445	64.40	35.60 ± 0.142
70	1.25	0.167	86.67	13.33 ± 0.191
80	1.25	0.000	100.00	0.00 ± 0.221

Fuente. Autor

Para el par de electrodos Hierro-bronce, se obtiene un porcentaje de remoción de 35.60% con una desviación estándar de ± 0.142 debido a las concentraciones

finales de AgNp que son de 0.445 mg/Kg, a 60 Voltios.

se puede concluir que, al aumentar el voltaje, el proceso de migración de nanopartículas disminuye, como se puede observar en el porcentaje de remoción debido a que al aumentar la cantidad de voltaje se genera un desprendimiento de calor por parte de los electrodos haciendo que los electrolitos presentes en la muestra se evaporen dificultando la migración de las nanopartículas.

A continuación, en la tabla 19 se puede observar que combinación de par de electrodos obtuvieron porcentajes de remoción considerables teniendo en cuenta solo las pruebas de 60 voltios

Tabla 19. Análisis del Porcentaje de remoción de AgNp en pares de electrodos con el voltaje más eficiente

Par de electrodos	Voltaje (V)	Concentración Inicial AgNp en el suelo (mg/Kg)	Concentración final AgNp en el suelo (mg/kg)	% Retención AgNp en el suelo	% Remoción AgNp en el suelo
Cobre (Cu)- Bronce	60	1.25	1.063	14.93	85.07 ± 0.033
Hierro (Fe)- cobre (Cu)	60	1.25	0.426	65.87	34.13 ± 0.146
Hierro (Fe)- Bronce	60	1.25	0.445	64.40	35.60 ± 0.142

Fuente. Autor

El mejor par de electrodos para trabajar será el cobre-bronce a un voltaje de 60 Voltios, ya que presenta un porcentaje de remoción más alto (85.07%), en comparación de los electrodos de hierro-cobre y hierro-bronce con una desviación estándar de ± 0,033. En la figura 18 se puede observar los resultados obtenidos

durante la selección de electrodos y voltajes.

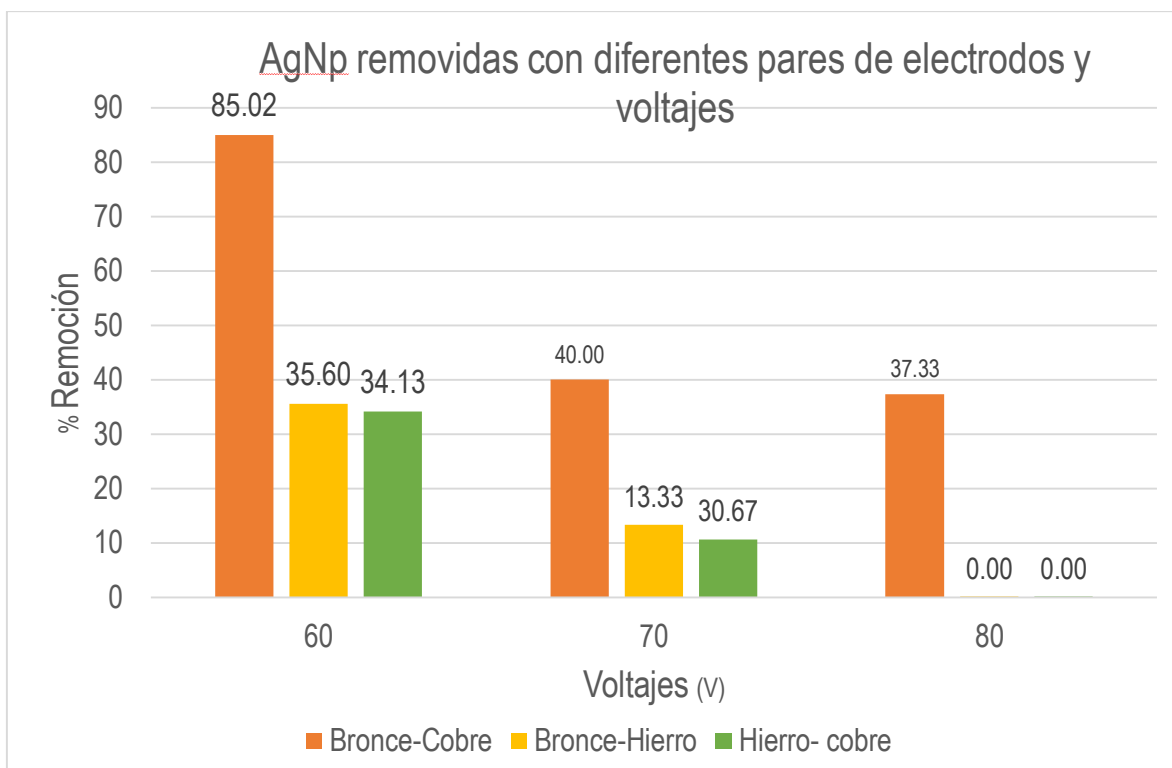


Figura 18. Porcentajes de remoción en pares de electrodos con diferentes voltajes.

Fuente. Autor

5.2.3. Determinación de la concentración de nanopartículas de plata

Determinada la combinación de electrodos y voltajes con mayor eficiencia de remoción, se procedió a analizar las concentraciones de nanopartículas de plata a 400 y 500 ppm, teniendo en cuenta las mejores condiciones obtenidas anteriormente como la distancia (10 cm), el par de electrodos (Cu-bronce) y el voltaje (60 V) para determinar los porcentajes de remoción como se observa en la tabla 20 y 21.

Tabla 20. Evaluación del porcentaje de remoción de AgNp a una concentración de 400 ppm

Código de la muestra	Concentración Inicial AgNp en el suelo (mg/Kg)	Concentración final AgNp en el suelo (mg/kg)	% Retención AgNp en el suelo	% Remoción AgNp en el suelo
Cobre-Bronce 60V 400 ppm 10 cm	5.00	0.00	100.00	0.00
Cobre-Bronce 60V 400 ppm 10 cm	5.00	2.29	54.20	45.80
Cobre-Bronce 60V 400 ppm - 10 cm	5.00	2.20	56.00	44.00
Blanco 3	5.00	0.00	100.00%	0.00
Cobre-Bronce 60V - 10 cm				
Promedio y desviación Estándar	5.00	1.12	77.55	22.45 ± 0,686

Fuente. Autor

Tabla 21. Evaluación del porcentaje de remoción de AgNp a una concentración de 500 ppm

Código de la muestra	Concentración Inicial AgNp en el suelo (mg/Kg)	Concentración final AgNp en el suelo (mg/kg)	% Retención AgNp en el suelo	% Remoción AgNp en el suelo
Cobre-Bronce 60V 500 ppm 10 cm	6.25	1.98	68.32	31.68
Cobre-Bronce 60V 500 ppm 10 cm	6.25	1.70	72.80	27.20
Cobre-Bronce 60V 500 ppm - 10 cm	6.25	0.85	86.40	13.60
Blanco 3 Cobre-Bronce 60V - 10 cm	6.25	0.00	100.00	0.00
Promedio y desviación Estándar	6.25	1.13	81.88	18.12 ± 0,905

Fuente. Autor

Teniendo en cuenta los resultados anteriores en la tabla 20 y 21 se puede observar que el mejor promedio en la remoción de nanopartículas se presenta a 400 parte por millón, con un promedio de concentración final de nanopartículas de 1.12 mg/kg y una desviación estándar de $\pm 0,686$, para obtener un porcentaje de remoción de 22.45%, a diferencia en el de 500 ppm parte por millón, que tiene un promedio de concentración final de nanopartículas de 1.13 mg/kg con una desviación estándar

de ± 0.905 , para obtener un porcentaje de remoción de 18.12%, determinando con otras investigaciones que a menor concentración de nanopartículas, más altos son los porcentajes de remoción.

5.3 FASE III. ANÁLISIS DE LOS PORCENTAJES DE REMOCIÓN DE NANOPARTICULAS DE PLATA EN EL SUELO

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el presente estudio en cuanto a propiedades fisicoquímicas y resultados de electrorremediación, se comparó el porcentaje de remoción con el estudio base denominado “Evaluación de la técnica de electrorremediación en el potencial de remoción de nanopartículas de Plata, aplicadas a suelos contaminados del sector palmicultor” (Hernández & Barrera, 2017), donde las propiedades fisicoquímicas del suelo de palma africana presentan condiciones similares entre ellas, como se pueden observar en la tabla 22.

Tabla 22. Propiedades fisicoquímicas del estudio actual vs previo.

Estudio	Textura	pH	CE (ds/m)	%HG	CIC (meq/100g)
Previo	%Arena= 74.05 %Arcilla= 15.33 %Limo= 10.61 Franco arcillo arena	-1.72 Acido	0.45 No salino baja CE	2.92	9.8 Bajo
Actual	%Arena= 87.61 %Arcilla= 10.02 %Limo= 22.41 Franco arenosos	-0.73 Acido	0.640 No salino bajo CE	34.88	5.04 Bajo

Fuente. Autor

Las distancias determinadas en el proceso de electrorremediación se tuvieron en

cuenta a partir de la distancia del estudio base (Hernández & Barrera, 2017) que eran de 10 cm, para la evaluación en el estudio actual las distancias entre los electrodos se tomaron 5 cm por encima y por debajo del valor base, dando como distancias a evaluar 5, 10 y 15 cm donde el resultado más favorable fue el de 10 cm con un porcentaje de remoción de 3.753%.

Evaluando el par de electrodos a diferentes voltajes en el estudio base (Hernández & Barrera, 2017) los resultados más favorables fueron electrodos de bronce-hierro a un voltaje de 70V durante un tiempo de exposición de 24 horas donde obtuvieron un porcentaje de remoción de 0.19% a comparación del estudio actual que los resultados más favorables fueron los electrodos de cobre-bronce a 60V con un tiempo de exposición de 7 horas con un porcentaje de remoción del 85.07% en donde se puede observar una diferencia en el porcentaje de remoción debido a que en el estudio actual se modificó la morfología de los electrodos a forma laminar para mejorar la superficie de contacto entre las muestras de suelo y los electrodos a diferencia del estudio base (Hernández & Barrera, 2017) que utilizaban electrodos de forma cilíndrica, en cuanto al voltaje se puede determinar que hay mayor remoción de nanopartículas de plata a voltajes bajos, ya que al suministrar los por los electrodos se presenta un desprendimiento de calor ocasionando la evaporación de los electrolitos y dificultando la migración de las nanopartículas de plata.

Ya determinado los parámetros más favorables como la distancia entre los electrodos, pares electrodos y voltajes se calculó el porcentaje de remoción de nanopartículas de plata donde el estudio base (Hernández & Barrera, 2017) presenta una remoción del 19.89% a una concentración de 36.75 ppm de nanopartículas de plata y el estudio actual presenta una remoción de 22.45% a una concentración de 400 ppm de nanopartículas de plata, por la diferencia de concentraciones de AgNp fue necesario calcular el porcentaje de remoción equivalente donde se obtiene 0.060% y 1.122% respectivamente, donde se determinó un porcentaje de mejoramiento del 94.65% como se puede observar en la tabla 23.

Tabla 23. Porcentajes de remoción de nanopartículas de plata del estudio actual vs previo.

Parámetros	Estudio base	% Remoción equivalentes 36.75 ppm estudio base	Estudio actual	% Remoción equivalentes 400 ppm estudio actual
Distancia entre electrodos	10 cm	Constante	10 cm	3.753%.
Par de electrodos y voltajes	Bronce-hierro 70 V	0,19%	Bronce-cobre 60 V	85.07%
% Remoción	19,89 %	0.060%	22.45 %	1.122%
% Mejoramiento	94.65 %			

Fuente. Autor

6. CONCLUSIONES

- La síntesis de nanopartículas de plata se realizó de manera exitosa a través de síntesis por química verde proveniente de las hojas de palma africana. A través del proceso de fotometría UV- visible se evidenciaron la presencia de nanopartículas, las cuales presentan una absorbancia de 0.869 A y una longitud de onda 450 nm donde se encuentran en el rango de barrido de 450 y 550 nm. por medio del equipo SEM del laboratorio de nanociencia y nanotecnología de la Universidad Pontificia Bolivariana-seccional Bucaramanga se identificaron la forma y tamaño de las nanopartículas de plata donde los resultados obtenidos son semiesféricas con un diámetro promedio de 23.33 nm.
- Para el proceso de electrorremediación del suelo de palma africana, se realizó por triplicado en muestras de suelo de 2 Kg donde se utilizaron pares de electrodos de bronce-cobre, bronce-hierro, hierro-cobre a diferentes voltajes de 60, 70, y 80 V durante una exposición de 7 horas a diferentes distancias de 5,10 y 15 cm donde los resultados más favorables se desarrollaron con un par de electrodos de bronce-cobre con un voltaje de exposición de 60 V a una distancia de 10 cm dando como resultado 22.45% de remoción.
- se aumentó la eficiencia de los procesos de electrorremediación para la recuperación de nanopartículas de plata en suelos de palma africana donde se obtuvo 0.060 mg/ Kg de AgNp removidas Equivalentes del estudio base (Hernández & Barrera, 2017) donde se compararon con los resultados del

estudio actual que son 1.122 mg/Kg teniendo como porcentaje de mejoramiento el 94.65%.

7. REFERENCIAS

- Acar, Y., & Alshawabkeh, A. (1996). *Electrokinetic remediation*. London: Geotech.
- Alvarado, J., Navarro, K., Terán, K., & Vizcarra, C. (2015). Electrobiorremediación, una técnica innovadora para la limpieza de suelos contaminados. *Epistemus*, 1-5.
- Arriaga, V. (2016). *Pudrición del cogollo*. México: Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria.
- Ávalos, A., Haza, A., & Mateo, D. (2013). Nanopartículas de plata: aplicaciones y riesgos tóxicos para la salud humana y el medio ambiente. *Revista Complutense de Ciencias*, 1-23.
- Bárbaro, L., Karlanian, M., & Mata, D. (2013). *Importancia del pH y la conductividad eléctrica en los sustratos para las plantas*. Buenos Aires.
- Bornemisza, E. (1982). *Introducción a la química de suelos*. Texas: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.
- Campos, E. (2014). *Características y aplicaciones de los nanomateriales*. Sevilla: Avanzare.
- Castro de Esparza, M., Litter, M., & Wong, M. (s.f.). Método de espectrofotométricos UV-VIS. En M. Castro de Esparza, M. Litter, & M. Wong, *Método de espectrofotométricos UV-VIS* (págs. 43-64).
- Cespede, C. M. (2015). *evaluacion del efecto toxico de las nanoparticulas de plata en las propiedades fisico-quimicas y microbiologicas de un suelo arcilloso*. bucaramanga: universidad Pontificia Bolibariana .

- Chen, X., & Schluesener, H. (2008). Nanosilver: a nanoproduct in medical application. *Toxicol Lett*, 1-12.
- De la Rosa, D., Teutli, M., & Ramírez, M. (2007). Electrorremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo. *Int. Contam. Ambient*, 129-138.
- Díaz, F. (2012). *Introducción a los nanomateriales* . Cuautitlán Izcalli, México: Facultad de estudios superiores Cuautitlán.
- ESTIIC. (s.f.). *Aplicaciones industriales de la nanotecnología*. Madrid: Universidad de Oviedo.
- Gisbert, J., Ibañez, S., & Héctor, M. (2010). *La textura de un suelo*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- Gómez, F. (2014). *Nanopartículas metálicas y sus aplicaciones*. Bogotá: Universidad de la Sabana.
- González, E. (2011). Conceptos y estrategias de biorremediación. *Ingeniería ambiental*, 20-29.
- Hernández, E., & Barrera, J. (2017). *Evaluación de la técnica electrorremediación en el potencial de remoción de nanopartículas de plata, aplicadas a suelos contaminados del sector palmicultor*. Piedecuesta: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2013). *Propiedades de los suelos*. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Ipohorski, M., & Bozzano, P. (s.f.). Microscopía electrónica de barrido en la caracterización de materiales. *Ciencia e investigación tomo 63*, 43-53.
- Landinez, M. F., & Martinez, A. V. (2017). *análisis del efecto que ejercen las nanopartículas de plata, sintetizadas a partir de hoja de palma africana, sobre*

el crecimiento del hongo encontrado en la palma africana, a escala de laboratorio. Bucaramanga: universidad Pontificia Bolibariana.

López, H., López, C., & Múzquiz, E. (2016). *Nanopartículas: Aplicaciones actuales y futuras en la industria alimentaria.* México: Universidad Autónoma de Coahuila.

López, J. (2014). *Caracterización fisiológica y morfológica de palmas de aceite .* Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Mendoza, G., & Rodríguez, J. (2007). La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. *Perfiles Latinoamericanos*, 161-186.

Monzón, A., & Rodríguez, J. (2012). *Infecciones causadas por el género Fusarium.* Control Calidad SEIMC.

Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación. (2009). *Guía para la descripción de suelos.* Roma: Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación.

Porta , J., López, M., & Roquero De Laburu, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente.* España: Mundi Prensa.

Raja, S., & Ramesh, V. (2015). *green biosynthesis of silver nanoparticles using calliandra haematocephala leaf extrack, their antibacterial activity anad hydrogen peroxide sesing capability.* Karnataka, India: Production and hosting by Elsevier.

Ramírez , M., & Benítez, E. (28 de octubre de 2018). *Plaga del mes.* Obtenido de Pudrición del Cogollo: https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/pudriccion_del_cogollo

Ramírez, M., & Benítez, E. (11 de 09 de 2018). *Croplifela.* Obtenido de croplife Latino América: <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/pudricion-del-cogollo>

- Razmilic, B. (27 de octubre de 2018). *Espectroscopia de absorción atómica*.
Obtenido de FAO: www.fao.org
- Rodríguez, J., & Vasqués, M. (2003). Evaluación de la electrorremediación de andisoles contaminados, mediante el análisis de las soluciones de lavado. *Revista de la facultad de ciencias Pontificia Bolivariana*, 75-80.
- Scalone, M. (2012). *Morfología de los suelos*. México: Instituto de Agrimensura.
- Tasistro, A. (2015). *Acidez del suelo*. México: International Plant Nutrition Institute.
- Universidad Autónoma de Chihuahua . (2013). *Espectrometría de absorción atómica* . Chihuahua, México: Facultad de Ciencias Químicas.
- Vargas, M. (1992). Fusarium solani: agente causal del complejo pudrición del cogollo. *Revista Palmas volumen 13*, 59-67.
- Wooding, G. (1967). *Los suelos: su origen, constitución y clasificación*. Omega.
- Zanella, R. (2012). Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. *Mundo nano* , 69-81.