



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA



TESIS EN

***SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA USANDO COMO  
AGENTES REDUCTORES EXTRACTOS DE HOJAS DE MORINGA OLEÍFERA Y  
EUCALIPTO***

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIATURA EN ELECTRÓNICA

PRESENTA

ANAYELI MARTINEZ BENITEZ

ASESORES

DR. RICHARD TORREALBA MELÉNDEZ

M.C. LIDIA MELENDEZ BALBUENA (FCQ-BUAP)

H. PUEBLA DE ZARAGOZA, PUE.

DICIEMBRE DE 2023

# DEDICATORIA

---

Quiero en este apartado, agradecer y dedicar en primera estancia a mi tío Tomás Martínez Méndez, por siempre alentarme a continuar con mis estudios y aún que no está conmigo, quiero hacer mención ya que gracias a él pude cumplir una de las tantas metas que tengo por cumplir. De igual manera quiero agradecer a mis padres, Basilisa Benítez Bautista y Cirilo Martínez Florencio, por las noches de desvelo, por el apoyo económico y por todo lo que hicieron para que yo estudiara una carrera, por no limitarme, por nunca dejar que sus problemas me afectaran y alentarme a seguir con mis sueños; y aún que fue difícil para ellos verme ir a vivir a una ciudad, donde no tenía nada, me apoyaron y me dejaron volar. También hago mención y agradezco a mis hermanos, Jorge Reynaldo, Tomas, Lizbeth, Lucia y Moisés Orlando, por alentarme a estudiar mi carrera y en el camino de esta darme lecciones de vida, por los consejos y las veces que me vieron mal y no dejaron que abandonara mis estudios, por los momentos difíciles que juntos superamos y ser un pilar en mi vida. Gracias a mi tía Inez Benítez, que fue como una madre para mí, brindándome su apoyo a pesar de la distancia y a mi pareja por no dejar de creer en mí y ser mi hombro y apoyo en esta última etapa de mi carrera.

Agradecida con la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y la Facultad Ciencias de la Electrónica, por hacerme parte de ellos, logrando formar una estudiante, comprometida, eficiente que siempre busca la superación profesional y ética. Agradezco al Dr. Richard Torrealba Meléndez y la Ma. Lidia Meléndez Balbuena por la orientación y la oportunidad de desarrollar mi tema, así como la estancia que tuve a lo largo de mi carrera, por la clases y conocimientos brindados.

Agradezco de igual manera a mis amigos en especial con aquellos que tuve la dicha de compartir momentos de diversión, de días y noches de desvelo, los que fueron mis compañeros de trabajo durante mi vida universitaria, por los conocimientos que me dieron, así como el apoyo y el entusiasmo con el que permanecimos durante la carrera, todos con un solo objetivo, ser Licenciados y culminar esta etapa universitaria.

Gracias a todos por estar ahí y apoyarme siempre. Los sacrificios y consejos permanecerán en mí cómo grandes recuerdos.

# CONTENIDO

---

<b>LISTA DE IMÁGENES</b> .....	6
<b>LISTA DE ESQUEMAS</b> .....	10
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	10
<b>RESUMEN</b> .....	11
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	14
<b>OBJETIVOS</b> .....	15
<i>Objetivo general</i> .....	15
<i>Objetivos específicos</i> .....	15
<b>ESTRUCTURA DE DOCUMENTO</b> .....	16
<b>CAPITULO 1 ANTECEDENTES</b> .....	17
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	17
<b>1.1. NANOPARTÍCULAS</b> .....	17
<b>1.2. NANOPARTÍCULAS METÁLICAS</b> .....	27
<b>1.3. NANOPARTÍCULAS DE PLATA</b> .....	32
1.3.1. PROPIEDADES DE LA PLATA.....	32
1.3.2. PROPIEDADES ÓPTICAS.....	33
1.3.3. MÉTODOS DE SÍNTESIS DE NANOPARTICULAS.....	36
1.3.4. EXTRACTOS.....	40
<b>1.3.4.1. Fenoles</b> .....	41
<b>1.3.4.2. Flavonoides</b> .....	42
1.3.5. EUCALIPTO.....	45
1.3.6. MORINGA.....	47
<b>CAPITULO 2. METODOLOGÍA</b> .....	50
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	50
<b>2.1. METODOLOGÍA</b> .....	50
<b>2.2. DIAGRAMA DE BLOQUES</b> .....	52
2.2.1. DIAGRAMA A BLOQUES PARA LA OBTENCIÓN DE EXTRACTOS.....	54
2.2.2. DIAGRAMA A BLOQUES PARA LA OBTENCIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA	55
<b>2.3. SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA</b> .....	56

2.3.1.	NANOPARTICULAS DE PLATA CON EXTRACTO DE MORINGA .....	56
2.3.1.1.	Cálculos estequiométricos.....	56
2.3.1.2.	Preparación nanopartículas de plata.....	57
2.3.2.	NANOPARTICULAS DE PLATA CON EXTRACTO DE EUCALIPTO .....	58
2.3.2.1.	Cálculos estequiométricos.....	58
2.3.2.2.	Preparación nanopartículas de plata.....	59
<b>CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>60</b>
<b>INTRODDUCION .....</b>		<b>60</b>
<b>3.1.</b>	<b>Nanopartículas de plata AgNPs preparadas con el extracto de Moringa.....</b>	<b>60</b>
3.1.1.	NANOPARTICULAS DE CON EXTRACTO DE MORINGA A DIFERENTE PHs ...	63
3.1.2.	CARACTERIZACIÓN POR EL COLOR.....	64
3.1.3.	CARACTERIZACIÓN POR ESPECTROSCOPIA UV-VIS.....	65
3.1.4.	CARACTERIZACIÓN POR MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA .....	67
<b>3.2.</b>	<b>Nanopartículas de plata AgNPs preparadas con el extracto de Eucalipto .....</b>	<b>70</b>
3.2.1.	NANOPARTICULAS DE CON EXTRACTO DE EUCALIPTO A DIFERENTE PHs	72
3.2.2.	CARACTERIZACIÓN POR EL COLOR.....	73
3.2.3.	CARACTERIZACIÓN POR ESPECTROSCOPIA UV-VIS.....	74
3.2.4.	CARACTERIZACIÓN POR MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA .....	76
<b>3.3.</b>	<b>CARACTERIZACION EN VNA .....</b>	<b>79</b>
3.3.1.	NANOPARTÍCULAS CON EXTRACTO DE MORINGA.....	81
3.3.2.	NANOPARTICULAS CON EXTRACTO DE EUCALIPTO.....	86
3.3.3.	COMPARACION DE AMBOS EXTRACTOS.....	90
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>95</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>		<b>97</b>

# LISTA DE IMÁGENES

---

<i>Imagen 1.1. Caracterización de efecto Tyndall y movimiento Browniano, en una solución de nanopartículas comparada con agua.....</i>	<i>18</i>
<i>Imagen 1.2. Tamaño y forma de nanopartículas.....</i>	<i>19</i>
<i>Imagen 1.3. Funcionamiento de espectrometría UV-visible.....</i>	<i>21</i>
<i>Imagen 1.4. Funcionamiento de espectroscopia de infrarrojo (FTIR).....</i>	<i>21</i>
<i>Imagen 1.5. Funcionamiento de microscopia electrónica de barrido.....</i>	<i>23</i>
<i>Imagen 1.6. Funcionamiento de la microscopia TEM.....</i>	<i>24</i>
<i>Imagen 1.7. Microscopio de fuerza atómica.....</i>	<i>26</i>
<i>Imagen 1.8. Plasmón de resonancia en la superficie.....</i>	<i>28</i>
<i>Imagen 1.9. Luz generada por el plasmón en un campo eléctrico.....</i>	<i>29</i>
<i>Imagen 1.10. Espectros UV-visible de las disoluciones de nanopartículas de plata de diferente color, tamaño y forma. (Cornejo, 2016)......</i>	<i>30</i>
<i>Imagen 1.11 Plasmón de resonancia reportados para nanopartículas esféricas de plata de diferentes tamaños. Majles, 2009, Ibarra, 2014)......</i>	<i>31</i>
<i>Imagen 1.12. Tamaño de nanopartículas y la influencia que el tamaño tiene sobre ellas en el color.....</i>	<i>32</i>
<i>Imagen 1.13. Plasmón de resonancia reportados para nanopartículas esféricas de plata de diferentes tamaños. Majles, 2009, Ibarra, 2014)......</i>	<i>34</i>
<i>Imagen 1.14. Plasmón de resonancia de nanopartículas de plata y oro con diferentes morfologías (Sona,2023)......</i>	<i>35</i>
<i>Imagen 1.15. Métodos de síntesis de nanopartículas.....</i>	<i>38</i>
<i>Imagen 1.16. Síntesis biológica por medio del método de reducción de nanopartículas de plata (Ag).....</i>	<i>39</i>
<i>Imagen1.17. Formas de representar la estructura química del fenol, compuesto fenólico más simple.....</i>	<i>41</i>
<i>Imagen 1.18. Síntesis de nanopartículas a partir de fenoles.....</i>	<i>41</i>
<i>Imagen 1.19. Síntesis de nanopartículas a partir de flavonoides.....</i>	<i>42</i>
<i>Imagen 1.20. Estructura química del Rutósido y la del heterósido.....</i>	<i>47</i>
<i>Imagen 1.21. Propiedades medicinales de la moringa.....</i>	<i>48</i>

<i>Imagen 3.1. Resultado esperado de prueba Tyndall en NPs de Ag con extracto de moringa</i>	61
<i>Imagen 3.2. Resultado de prueba de efecto Tyndall con moringa a una concentración de 10mL</i>	61
<i>Imagen 3.3. Efecto Tyndall con una concentración de 15mL de AgNO<sub>3</sub></i>	61
<i>Imagen 3.4. Espectroscopia UV-vis de las nanopartículas de plata obtenidas con extracto de moringa</i>	62
<i>Imagen 3.5 Nanopartículas obtenidas a diferentes pH con extracto de moringa</i>	64
<i>Imagen 3.6. Efecto Tyndall en nanopartículas de moringa con pH =7,8 Y 9 (respectivamente) y 10 mL de AgNO<sub>3</sub></i>	65
<i>Imagen 3.7. Espectrometría UV-vis de las nanopartículas de moringa a pH=7, 8 y 9</i>	66
<i>Imagen 3.8. Topografía de AFM a diferentes escalas de escaneo de, en modo “shaded” de las nanopartículas preparadas con el extracto de Moringa.</i>	68
<i>Imagen 3.9 Pequeñas partículas semiesféricas de tamaño alrededor de 80 y 90 nm.</i>	69
<i>Imagen 3.10. Resultado esperado de prueba Tyndall en NPs de Ag con extracto de eucalipto.</i>	70
<i>Imagen 3.11. Resultado de prueba de efecto Tyndall con eucalipto a una concentración de 10mL</i>	70
<i>Imagen 3.12. Efecto Tyndall en una muestra con 15 mL de nitrato de plata</i>	71
<i>Imagen 3.13 Espectroscopia UV-vis de las nanopartículas de plata obtenidas con extracto de moringa</i>	71
<i>Imagen 3.14 Nanopartículas de plata a diferentes pH, con una concentración de 10mL de AgNO<sub>3</sub>.</i>	72
<i>Imagen 3.15. Caracterización de efecto Tyndall con las muestras a diferentes pH. La prueba fue realizada 24hrs después de la síntesis</i>	73
<i>Imagen 3.16. Espectrometría UV-vis a diferentes pH, con las nanopartículas de eucalipto obtenidas</i>	74
<i>Imagen 3.17. Caracterización por microscopia de fuerza atómica a diferentes distancias de las nanopartículas de eucalipto</i>	77
<i>Imagen 3.18. Caracterización AFM para observar el tamaño y el rango en el que se encuentran</i>	78

<i>Imagen 3.19 Agregados nanométricos de menor tamaño .....</i>	<i>78</i>
<i>Imagen 3.20a. Configuración de la técnica de sonda coaxial abierta para medidas dieléctricas en la solución de Nps. (Ambrosio. R et al. 2018) .....</i>	<i>80</i>
<i>Imagen 3.20b. Medición de las muestras de NPs de Ag por medio de "sonda coaxial de extremo abierto" .....</i>	<i>81</i>
<i>Imagen 3.21a. Variación dieléctrica del extracto de Moringa .....</i>	<i>82</i>
<i>Imagen 3.21b Acercamiento del extracto de Moringa de la variación dieléctrica .....</i>	<i>82</i>
<i>Imagen 3.22a. Factor de pérdida de NPs de plata con extracto de Moringa a diferente concentración .....</i>	<i>83</i>
<i>Imagen 3.22b. Acercamiento del factor de pérdida de NPs de plata con extracto de Moringa .....</i>	<i>84</i>
<i>Imagen 3.23a. Tangente de pérdida para NPs de plata con extracto de Moringa a diferente concentración .....</i>	<i>85</i>
<i>Imagen 3.23b. Acercamiento de la tangente de pérdida para NPs de plata con extracto de Moringa .....</i>	<i>85</i>
<i>Imagen 3.24a. Constante dieléctrica con extracto de Eucalipto .....</i>	<i>86</i>
<i>Imagen 3.24b Acercamiento de la contante dieléctrica a diferente concentración del extracto de Eucalipto .....</i>	<i>86</i>
<i>Imagen 3.25a. Factor de pérdida de NPs de plata con extracto de Eucalipto a diferente concentración .....</i>	<i>87</i>
<i>Imagen.3.25b. Acercamiento del factor de pérdida de NPs de plata con extracto de Eucalipto a diferente concentración .....</i>	<i>88</i>
<i>Imagen 3.26a. Tangente de pérdida para NPs de plata con extracto de Eucalipto a diferente concentración .....</i>	<i>89</i>
<i>Imagen 3.26b. Acercamiento de la tangente de pérdida para NPs de plata con extracto de Eucalipto a diferente concentración .....</i>	<i>89</i>
<i>Imagen 3.27a. Comparación de la contante dieléctrica de ambos extractos .....</i>	<i>90</i>
<i>Imagen 3.27b. Acercamiento de la comparación de la contante dieléctrica de ambos extractos .....</i>	<i>91</i>
<i>Imagen 3.28a. Comparación del factor de pérdida de Eucalipto y Moringa en referencia con el agua .....</i>	<i>92</i>

*Imagen 3.28b. Acercamiento del factor de pérdida de Eucalipto y Moringa en referencia con el agua..... 92*

*Imagen 3.29a Comparación de la Tangente de Pérdida (TP) de Eucalipto y Moringa ..... 93*

*Imagen 3.29b. Acercamiento de la Tangente de Pérdida (TP) de Eucalipto y Moringa ..... 94*

# LISTA DE ESQUEMAS

---

<i>Esquema 1.1. Métodos de síntesis físicos, químicos y biológicos. ....</i>	<i>36</i>
<i>Esquema 2.1 Pasos para la realización de nanopartículas de plata (Ag) a diferentes pHs. .....</i>	<i>55</i>
<i>Esquema 2.2 Procedimiento para la obtención de extractos naturales.....</i>	<i>54</i>
<i>Esquema 2.3 Procedimiento para la obtención de nanopartículas a partir del método de reducción.....</i>	<i>55</i>

# LISTA DE TABLAS

---

<i>Tabla 1 Nanopartículas usando extractos vegetales que contienen polifenoles.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 2. Resultados obtenidos de las nanopartículas de plata, con síntesis por medio de reducción biológica con moringa.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 3 Tabla de los resultados recabados a diferentes pH con extracto de eucalipto a una concentración de 10mL de AgNO<sub>3</sub>.....</i>	<i>75</i>

# RESUMEN

---

En el siguiente trabajo se realizó una investigación acerca de las nanopartículas sintetizadas por medio de extractos naturales, esto para poder observar sus propiedades químicas, físicas y electrónicas, dado que a lo largo de nuestra generación se han dado grandes avances en el área tecnológica, dando como resultado el nacimiento de la nanotecnología y la biotecnología, las cuales son dos tecnologías revolucionarias que nos hacen cada vez tener más conciencia a cerca de nuestro entorno y cuidar nuestro ambiente.

Este trabajo busca enfocar las nanopartículas reducidas por medio de extractos naturales al área de electrónica, sobre todo en el área de comunicaciones, para el desarrollo de antenas, teniendo como consecuente un material el cual sea amigable con el ambiente, así como la facilidad de su manufactura y la obtención un material más económico, que pueda adaptarse a las necesidades requeridas.

El proceso del trabajo fue llevado a cabo en dos áreas importantes de la ciencia... química y electrónica. La manufactura de nanopartículas fue desarrollada en el laboratorio de química inorgánica, ya que en este se contaba con el material necesario para poder realizar la síntesis de las nanopartículas de plata, así como su caracterización química, esta caracterización nos dará información química y morfológica de las sustancias obtenidas. Por otro lado, en el laboratorio de microondas RF se llevó a cabo la caracterización de las nanopartículas para conocer sus permitividad y frecuencia, verificando si estas son adecuadas para su aplicación en un nuevo material en el cual se podrán diseñar antenas en frecuencias de microondas.

# INTRODUCCIÓN

---

Hoy en día el área de nanotecnología ha llamado la atención entre la comunidad científica debido a sus interesantes aplicaciones en los campos de la ciencia y tecnología, lo que ha propiciado el interés en la síntesis de nuevos materiales en dimensiones nanométricas, tamaño en el cual los materiales mejoran sus propiedades y hacen que se proyecten como una alternativa prometedora para dar solución a problemas en el campo tecnológico y científico.

En el área de la nanotecnología, las nanopartículas de plata son de gran interés por su efecto desinfectante y sus propiedades antimicrobianas, siendo empleadas ampliamente en medicina para el control de infecciones, así como en el campo de la electrónica donde pueden aplicadas como biosensores, en bio-computadoras, luces led, termómetros, y usos en aparatos de medicina como en la detección de cáncer. Desde la antigüedad la plata ha sido considerada un metal precioso, se ha empleado para la elaboración de múltiples objetos como en joyería, monedas y diversos utensilios. En salud, la plata también ha sido de gran interés por su efecto desinfectante y sus propiedades antimicrobianas (Monge, 2008; Morones, 2013). Debido a sus características importantes de la plata, se ha optado por estudiar sus propiedades de este material en tamaño nanométrico, ya que a esta escala la plata presenta propiedades electrónicas y ópticas interesantes.

Actualmente la síntesis de nanopartículas de plata se lleva a cabo por diferentes métodos como químicos y físicos, siendo los más utilizados los métodos químicos como el de la reducción química, sin embargo, por este método se emplean como agentes reductores de la plata reactivos químicos que son tóxicos para el ambiente, esta ampliación progresiva de la contaminación del ambiente ha propiciado que la tanto como la comunidad científica y ambiental tome conciencia y dirija sus esfuerzos hacia la búsqueda de nuevos métodos para la síntesis de nanopartículas con metodologías limpias que no propicien los problemas de contaminación ambiental. Por este motivo se ha considerado que la síntesis biológica es una de las alternativas limpias, la cual es no tóxica y amigable con el ambiente, siendo comparada

satisfactoriamente con las propiedades de las nanopartículas sintetizadas por los otros métodos químicos tradicionales (Galindo,2019)

Por lo que en este trabajo de investigación se presentan los resultados obtenidos de la obtención de nanopartículas de plata a través de un método biológico aplicando como agentes reductores extractos de plantas, específicamente los extractos de hojas de Eucaliptus y Moringa oleífera.

Las nanopartículas preparadas por este método fueron caracterizadas por su color y mediante los espectros de plasmón obtenidos en la región visible por Espectroscopia UV-Vis. Mediante el análisis por Microscopía de Fuerza Atómica (FAM) se obtuvo la morfología y la distribución de los diferentes tamaños obtenidos de las nanopartículas de plata. De igual forma se realizó una prueba en el laboratorio de microondas con ayuda de un VNA (*Analizado de Redes Vectoriales*) el cual nos ayudara a saber si es posible la expansión del campo de las nanopartículas en el área de microondas, así como el rango de radiofrecuencias.

# JUSTIFICACIÓN

---

La síntesis de nanopartículas puede llevarse a cabo por métodos químicos, físicos o por métodos biológicos. Los métodos químicos y físicos son ampliamente empleados, sin embargo, los métodos químicos utilizados para la síntesis de nanopartículas son tóxicos y perjudiciales para el ambiente, los organismos vivos y la salud humana (Thakkar et al., 2010; Narayanan et al., 2010). La síntesis biológica ha sido empleada como una nueva elección para la obtención de partículas de plata a nano-escala, como resultado de la necesidad de utilizar métodos de síntesis más amigables con el ambiente. Esta nueva dirección de biosíntesis implica usar microorganismos como bacterias, hojas, levaduras, hongos o extractos vegetales para reducir iones metálicos de plata y formar nanopartículas metálicas, este método se considera dentro de la química verde debido a que la síntesis y purificación de nanopartículas metálicas es económicamente costeable, simple, conveniente y ambientalmente seguro, por lo que en los últimos años los grupos de investigación en esta área se han enfocado hacia el uso de sustancias como extractos vegetales.

Las nanopartículas son capaces de absorber energía en de la radiación electromagnética para posteriormente emitir esa energía en forma de radiación electromagnética en una longitud de onda diferente. Las nanopartículas, dependiendo de su tamaño tendrán una longitud de onda y esto provocara un cambio de color en la sustancia. El tamaño de la longitud de onda dependerá de la síntesis, el material de partida, temperatura, etc.

En este trabajo de tesis se centrará en la síntesis de nanopartículas de plata por el método de reducción química usando como reductores extractos acuosos de eucalipto y moringa. Vegetales de alta disponibilidad y bajo costo, contiene en su estructura química polifenoles con propiedades antioxidantes.

# OBJETIVOS

---

## *Objetivo general*

Sintetizar y caracterizar nanopartículas de plata preparadas con extractos acuosos de eucalipto y moringa para su aplicación en electrónica de microondas.

## *Objetivos específicos*

- Realizar la síntesis de nanopartículas de plata (Ag) por reducción química utilizando extractos vegetales
- Determinar la formación de las nanopartículas de plata a través de la técnica espectroscópica de UV-vis, técnica basada en la presencia de la banda plasmón de resonancia.
- A través del escaneo de las de las nanopartículas con la microscopía de fuerza atómica (AFM) por sus siglas en ingles *atomic force microscopy*, a partir de imágenes topográficas 3D obtener información acerca de la distribución, tamaño y forma de las nanopartículas de plata
- Caracterizar nanopartículas de plata preparadas con los extractos de eucalipto y moringa mediante la obtención de su conductividad en frecuencias de microondas
- Estudiar el efecto de las nanopartículas en el rango de frecuencias de microondas

# ESTRUCTURA DE DOCUMENTO

---

El trabajo comienza con una tabla de contenido, seguido de las tablas de imágenes, lista de esquemas y lista de tablas, donde se en numeraron los elementos utilizados en la investigación.

Este está conformado por un resumen el cual muestra los que se trabajó al redor de 6 meses y como es que se trabajó el tema de investigación. De igual forma cuenta con una justificación y objetivos; en la justificación se documenta el porqué de la investigación y las bases que se tienen para llevar a cabo el desarrollo de la investigación. El apartado siguiente son los objetivos, donde se divide en dos partes fundamentales, que son objetivo general y objetivos específicos, donde se explican y determinan los objetivos a lograr durante el desarrollo del trabajo.

El desarrollo del trabajo esta dividido en 3 capítulos. El primer capítulo llamado ANTECEDENTES en él se denota toda la revisión bibliográfica que se recabo para llevar a cabo el proyecto, así como información que nos será útil para la comprensión y entendimiento del tema. Posteriormente se continua con el capítulo 2 titulado METODOLOGIA, en él se describe los métodos y técnicas que se utilizaron para poder lograr los objetivos planteados en un principio del trabajo. Por último, tenemos el capítulo 3 llamado RESULTADOS Y DISCUSION, en este tercer capítulo se recabaron todos los resultados obtenidos, resultado de la experimentación planteada en la metodología, así como un análisis de estos.

De igual forma el trabajo tiene el apartado de CONCLUSIONES, donde se hizo un razonamiento acerca de los resultados obtenidos, como el trabajo de investigación puede continuar en un futuro, recabando la información obtenida y como nos puede ayudar para obtener un trabajo de mayor rango. Para finalizar con el trabajo, se tiene la sección de REEFERENCIAS, donde se recabaron todas las fuentes que fueron utilizadas para el desarrollo del proyecto, así como la comprensión de este, son referencias en las que el trabajo se basó y cuáles fueron las bases de las cuales se partió.

# CAPITULO 1

## ANTECEDENTES

---

### INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos prioritarios de la nanotecnología es sintetizar pequeñas estructuras de tamaño manométrico para el diseño de nuevos materiales avanzados, nano dispositivos de alto rendimiento y miniaturización de dispositivos electrónicos.

Las nanopartículas de materiales inorgánicos poseen propiedades únicas que las hacen atractivas para diversas aplicaciones debido a su tamaño reducido y características particulares esto debido a sus propiedades electrónicas, magnéticas, catalíticas y ópticas El control de las condiciones de síntesis es crucial para garantizar la reproducibilidad y la calidad de las nanopartículas producidas. Factores como la temperatura, la presión, la concentración de reactivos y otros parámetros de síntesis pueden influir en la morfología, tamaño y estabilización de las nanopartículas. Este control preciso es fundamental para garantizar que las nanopartículas cumplan con los requisitos específicos para su aplicación prevista.

#### 1.1. NANOPARTÍCULAS

Para calificar en la categoría "nanomaterial", al menos una de las tres dimensiones del material debe estar en un rango aproximadamente del orden de 100 nm notablemente, sin embargo, este es el rango de distancias sobre las que más importante se producen interacciones coloidales. Dependiendo el tamaño del nanomaterial será la longitud de onda de la luz emitida.

El tamaño de la longitud de onda dependerá desde su síntesis, del material de partida, así como el control de la temperatura, presión, disolventes.

Los coloides son fluidos que contienen partículas poliatómicas compactas en suspensión en un disolvente líquido. (Witten, T.2010).

Las propiedades que debe cubrir el coloide para ser considerada una nanopartícula deben ser los siguientes.

## PROPIEDADES

Para que una partícula se pueda considerar nano, debe cumplir con las siguientes características o propiedades, cuando se tratan de soluciones coloidales de nanopartículas.

- Tamaño de las nanopartículas coloidales está en un rango de 1-1000nm
- Apariencia homogénea y a través del microscopio heterogénea
- Las partículas que contienen pueden sedimentar después de mucho tiempo
- Presentan efecto Tyndall
- Presentan movimiento Browniano
- Pueden presentar el fenómeno de floculación y adsorción.

En la imagen 1.1 se pueden observar las propiedades de efecto Tyndall y movimiento Browniano y como es que están se presentan las nanopartículas. Como se puede observar, cuando hay existencia de nanopartículas la luz del láser es dispersada a través de la sustancia, en caso contrario a cuando no existen nanopartículas que puedan dispersar esta. De igual forma otra característica importante es el movimiento Browniano el cual no puede ser observado a simple vista sin embargo este movimiento se puede ver simulado en la imagen, la cual nos muestra cómo es que este movimiento sucede.

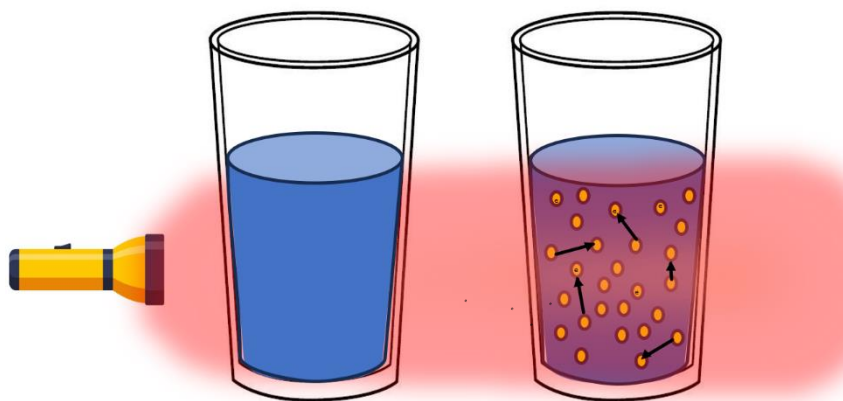


Imagen 1.1. Caracterización de efecto Tyndall y movimiento Browniano, en una solución de nanopartículas comparada con agua

Existen diferentes tipos de nanopartículas las cuales se dividen según del material que estén compuestas:

- Composites: cuando se combinan con nanopartículas o materiales grandes.
- Metálicas:
  1. Nanopartículas de oro y plata
  2. Puntos cuánticos: son cristales nanométricos hechos de materiales semiconductores. Son fluorescentes (absorben luz y luego la emiten.)
- De base de carbón: estos tienen forma esférica, elipsoidal o tubular.
  1. Peso reducido.
  2. Mayor dureza.
  3. Tienen gran elasticidad.

Las nanopartículas tienen una forma la cual es una característica muy importante ya que esta igual influye en sus posibles aplicaciones, ya sea en el área de medicina, tecnología o química. Dentro de las formas, podemos encontrar nanopartículas con forma esférica, cilíndricas, barras, cubos, estrellas, entre otras. La forma que adquiera la nanopartícula dependerá de la composición de esta. En la imagen 1.2 se pueden observar algunas de las formas que estas pueden tener.

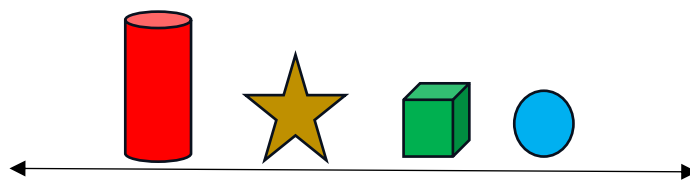


Imagen 1.2. Tamaño y forma de nanopartículas.

Como ya se estudió en este apartado las nanopartículas, tienen propiedades y características que las hacen únicas, sin embargo muchas de estas características no se pueden ver por el ojo humano, es por esto que a partir de diferentes pruebas, las cuales son indispensables para saber de la existencia de las, es por esto que es importante conocer sus propiedades morfológicas, físicas y químicas, dado que dependiendo de características como tamaño, forma, estructura, color, pueden variar las propiedades de estas.

Las técnicas para la caracterización de nanopartículas más utilizadas son espectroscopia UV-visible, transformación de Fourier infrarrojo (FT-IR) espectroscopia, microscopia electrónica de barrido (SEM), microscopia electrónica de transmisión (TEM), microscopia de fuerza atómica (AFM), entre otros.

### 1. Espectroscopia UV-visible

Esta técnica, que utiliza longitudes de onda de luz en un rango de 200-700 nm, es comúnmente empleada para la caracterización de nanopartículas de óxido metálico. Se fundamenta en la adsorción de radiación electromagnética por parte de analitos en la zona ultravioleta y visible del espectro. Cuando la radiación de esta zona incide sobre un compuesto, el compuesto la absorbe, provocando que un electrón realice un salto a un nivel de energía superior. En otras palabras, la molécula pasa a un estado de excitación de mayor energía. Como se puede observar en la imagen 1.3.

La absorción de radiación en determinadas longitudes de onda se representa gráficamente mediante la variación de la absorbancia en la longitud de onda  $\lambda$ . Esta representación nos proporciona información crucial sobre la composición y estructura de las nanopartículas. Esto debido a la resonancia de plasmón superficial, sin embargo, este tema es abordado en el apartado 1.2. NANOPARTICULAS METALICAS, donde se podrá ver más a detalle cómo es que este se desarrolla en esta prueba.

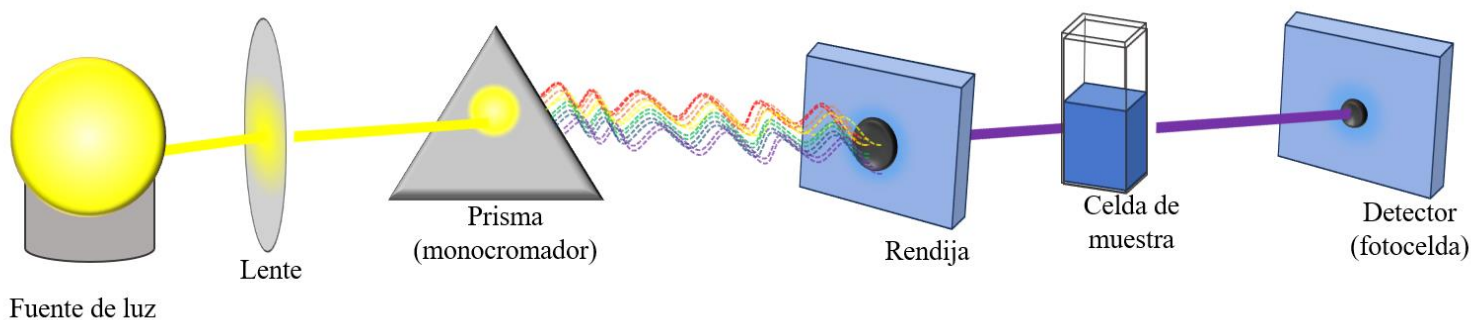


Imagen 1.3. Funcionamiento de espectrometría UV-visible

## 2. Espectroscopía de infrarrojo de transformada de Fourier (FTIR)

Los compuestos absorben radiación electromagnética con longitudes de onda inferiores a las de la luz visible. La absorción ocurre cuando la energía del haz es igual a la de un enlace orgánico, como se ilustra en la imagen 1.4. El espectro infrarrojo (IR) abarca un rango de longitud de onda de  $4000$  a  $6000\text{ cm}^{-1}$ , y se emplea esta caracterización para obtener información detallada sobre la estructura molecular de los compuestos.

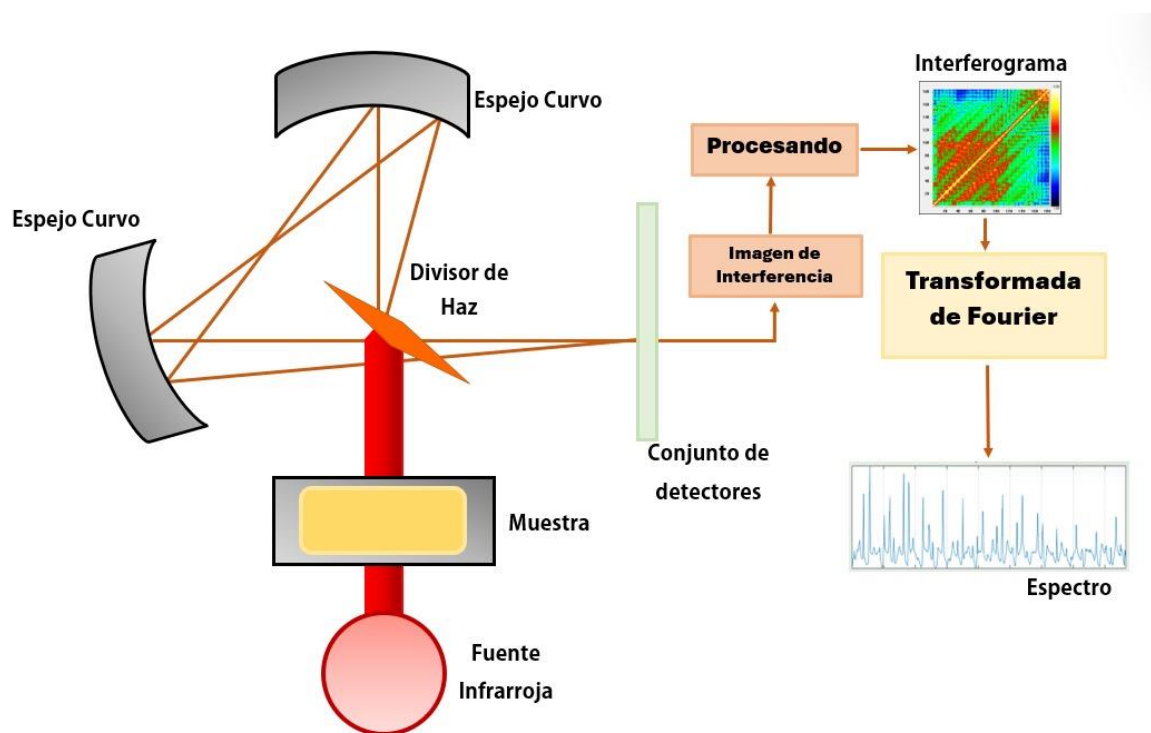


Imagen 1.4. Funcionamiento de espectroscopia de infrarrojo (FTIR)

El uso principal de la espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) en la caracterización de nanopartículas metálicas es la detección de especies químicas enlazadas a la superficie. (Baker et al.- 2004). Esta técnica permite monitorear reacciones que ocurren en la superficie de las nanopartículas y proporciona información valiosa sobre los grupos químicos presentes en la interfaz nanopartícula-entorno, tales como O-H, C=O, C-O Y N-H (Ma y Phillips, 2002), la espectroscopía FTIR es útil para caracterizar grupos funcionales orgánicos (por ejemplo, carbonilos, hidroxilos) unidos a la superficie de nanopartículas (Basiuk y Basiuk, 2015)

### 3. Microscopia electrónica de barrido (SEM)

Para este método se utiliza un microscopio electrónico, cuyo funcionamiento se basa en escanear la muestra con un haz que debe estar muy concentrado. Estos haces se producen calentando un filamento que sirve como cátodo, generalmente hecho de tungsteno o tungsteno. Esto crea una nube de electrones que es acelerada por un potencial eléctrico en el sistema de vacío.

Como se muestra en la Figura 1.5, se puede obtener una imagen de la superficie de la muestra en un microscopio electrónico de barrido. La desviación del haz de electrones requerida para el escaneo se logra mediante el campo magnético generado por la corriente que pasa a través de la bobina; cabe señalar que esta corriente es proporcional al potencial de aceleración.

Si la muestra no es metálica, se cargará durante la interacción con el haz de electrones. Para evitar este inconveniente, la muestra se cubre con una lámina metálica. Gracias a la interacción del haz de electrones con los átomos más cercanos a la superficie de la muestra, estos últimos emiten los llamados electrones secundarios con una energía de sólo unas pocas decenas de electronvoltios. Además, algunos de los electrones del haz que chocan con los átomos de la muestra se reflejan y estos electrones se denominan electrones retrodispersados. Tanto los electrones secundarios como los electrones retrodispersados cambian su intensidad de emisión dependiendo del ángulo entre el haz de electrones y la superficie de la muestra, lo que permite que el sensor lea la topografía de la muestra.

Los electrones secundarios pueden visualizar la forma tridimensional de la muestra, mientras que los electrones retrodispersados representan un estado diferente de la composición química de la muestra. (Osorio, 2011).

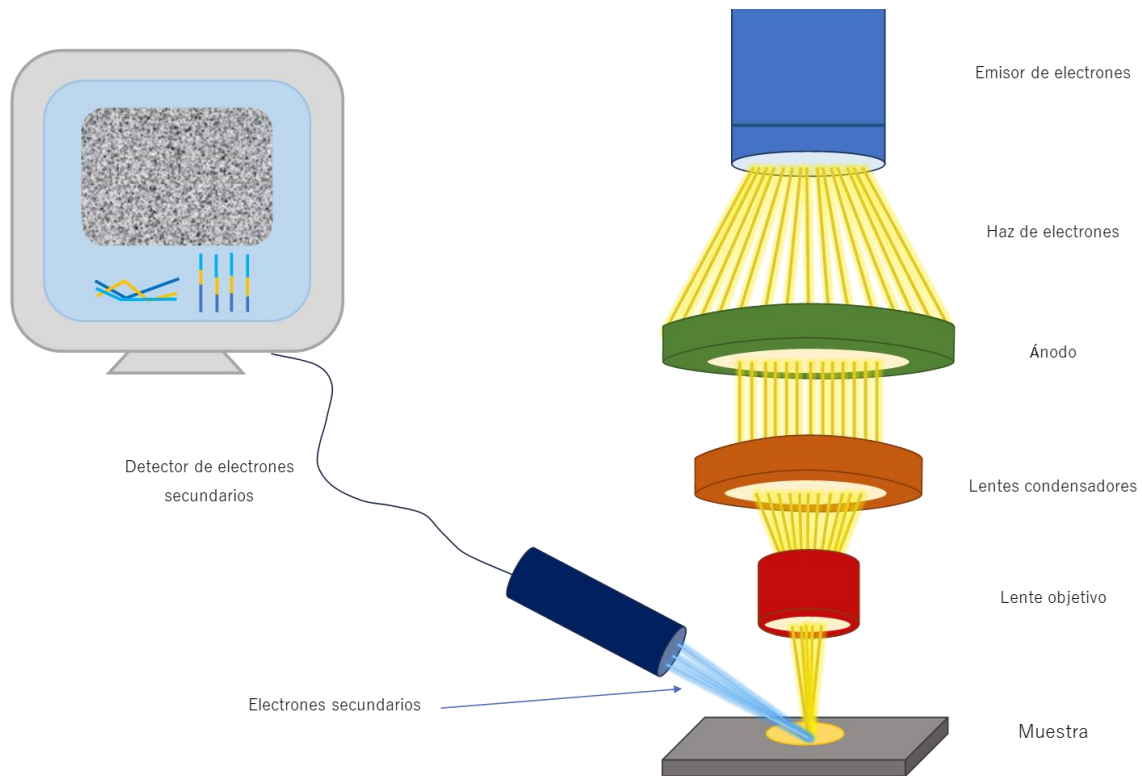


Imagen 1.5. Funcionamiento de microscopía electrónica de barrido

#### 4. Microscopía electrónica de transmisión (TEM)

La microscopía electrónica de transmisión (TEM) es un método que emplea un haz de electrones para atravesar un espécimen extremadamente delgado, interactuando con él durante su paso. La formación de imágenes en un TEM se puede entender mediante un diagrama óptico del haz de electrones, como se ilustra en la imagen 1.6. Los TEM ofrecen imágenes con una resolución considerablemente superior a la de los microscopios de luz visible (VLM), gracias a la menor longitud de onda de Broglie de los electrones. Estos electrones posibilitan la observación de detalles más finos, superando en varios miles de veces la resolución más alta alcanzada por un VLM. No obstante, la amplificación lograda

en una imagen TEM contrasta con la absorción de electrones por parte del material, la cual está principalmente influenciada por el grosor o la composición del mismo.

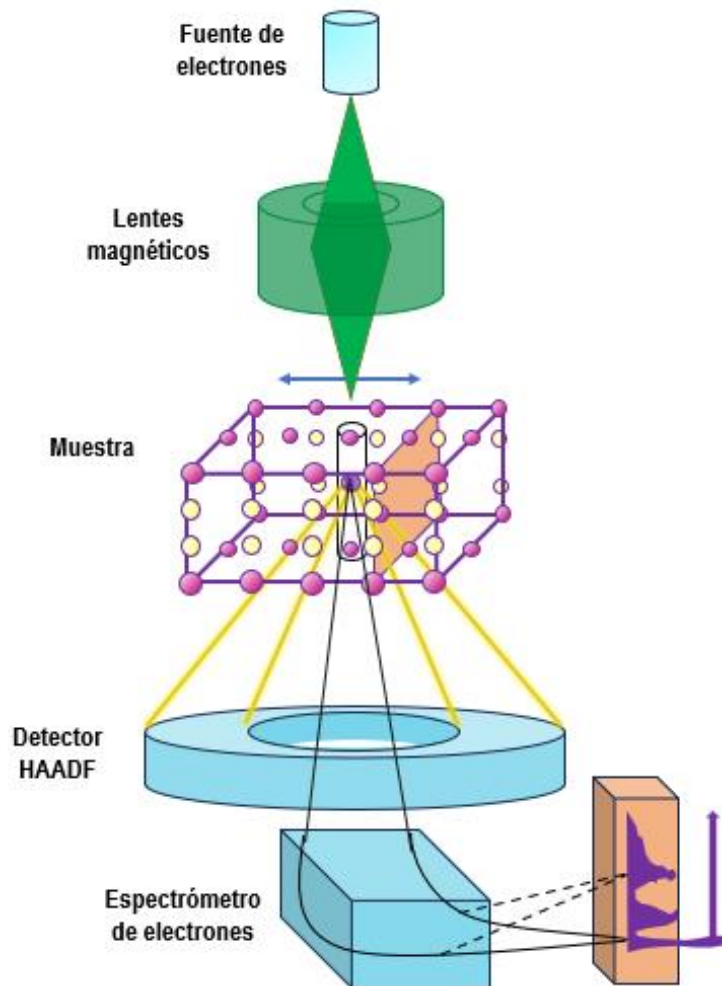


Imagen 1.6. Funcionamiento de la microscopía TEM

Estos son algunos puntos por destacar de la microscopía TEM

- **Haz de electrones:** En lugar de utilizar luz visible, los TEM emplean un haz de electrones. Dado que los electrones tienen una longitud de onda mucho más corta que la luz visible, permiten una mayor resolución en las imágenes.
- **Formación de imágenes:** La formación de imágenes en un TEM se basa en la interacción de los electrones con el espécimen. Cuando el haz de electrones pasa a través del espécimen, algunos electrones se dispersan, y otros atraviesan el espécimen. La información sobre la estructura del espécimen se recopila mediante detectores especializados.

- **Resolución:** La resolución de un TEM es significativamente mayor que la de los microscopios de luz visible. La resolución se define como la capacidad para distinguir dos puntos cercanos entre sí, y en el caso de los TEM, esto se logra gracias a la corta longitud de onda de los electrones.
- **Grosor del espécimen:** La muestra que se analiza en un TEM debe ser extremadamente delgada, típicamente en el rango de unos pocos nanómetros. Esto es necesario para permitir que los electrones atraviesen la muestra y se puedan recopilar datos para la formación de imágenes.
- **Contraste:** La imagen resultante en un TEM puede mostrar contrastes significativos debido a las variaciones en la absorción de electrones por parte del material. Diferentes partes de la muestra pueden absorber electrones de manera diferente, lo que se refleja en la imagen final.
- **Preparación de muestra:** La preparación para un TEM es un proceso crítico a veces implica recubrimientos con sustancias específicas para mejorar el contraste.

En resumen, la microscopía electrónica de transmisión es un mecanismo poderoso a fin de estudiar estructuras a nivel microscópico con una resolución excepcionalmente alta, pero su aplicación requiere técnicas de preparación de muestra cuidadosas y un entendimiento avanzado de la física de los electrones.

## 5. Microscopia de Fuerza Atómica (AFM)

Esta técnica nos permite ver la morfología y medir las nanopartículas. De igual forma nos da información acerca de sus características mecánicas.

El microscopio de fuerza atómica (AFM, por sus siglas en inglés) fue inventado por Binnig, Quate y Gerber en 1986. A diferencia de los microscopios electrónicos, el AFM funciona según el principio de interacción mecánica en lugar de electrónica entre la punta y la superficie de la muestra. Cuando la punta se acerca a la superficie, experimenta fuerzas de atracción de Van der Waals a distancias de unas pocas decenas de nanómetros (Atsushi, 1386).

La punta se siente débilmente atraída por la muestra, y cuando se acerca lo suficiente, la interacción cambia a un estado repulsivo debido al potencial de Lennard-Jones, donde la

punta repele fuertemente la superficie. Midiendo la fuerza de tracción o empuje mediante un sistema de resorte, que refleja la interacción de la punta con la superficie de la muestra, se puede crear un mapa de contorno de la superficie de la muestra en función de su altura. Este método permite obtener imágenes detalladas de estructuras a escala nanométrica (Atsushi, 1386).

En la imagen 1.7 podemos observar un diagrama de un AFM y como es que en la punta es montada una microplaca, en la que se hace incidir un láser, de esta manera cada vez que la punta sube o baja debido a la interacción con la superficie analizara, donde la microplaca refleja la desviación del láser a un fotodetector y es interpretado por el software del instrumento, generando una imagen.

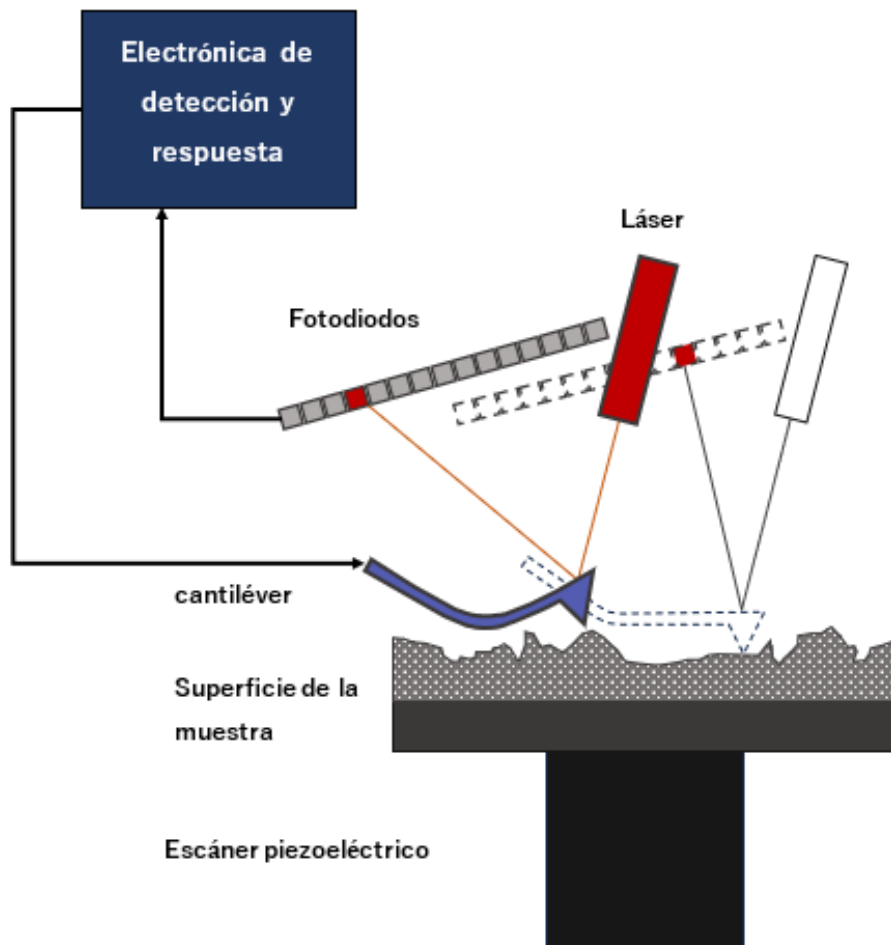


Imagen 1.7. microscopio de fuerza atómica.

El microscopio funciona de las siguientes maneras:

- **Modo de contacto:** La punta de la sonda hace contacto directo con la superficie de la muestra y la desviación de la punta se mantiene constante mientras se escanea la muestra. Este método proporciona una imagen topográfica detallada de la superficie al medir las fuerzas interatómicas entre la punta y la muestra. El modo de contacto puede ejercer presión sobre la muestra y, en algunos casos, causar daño a la misma, por lo que a veces se prefieren modos de operación sin contacto o de contacto intermitente en determinadas aplicaciones.
- **Modo de no-contacto:** La punta está a cierta distancia de la muestra, mientras que el voladizo está sintonizado cerca de su frecuencia de resonancia para que vibre cerca de la superficie de la muestra, por lo que la interacción entre la punta y la muestra es diferente.
- **Modo intermitente (tapping mode):** La superficie de la muestra se escanea mientras el voladizo vibra a una frecuencia cercana a su frecuencia de resonancia. La amplitud de estas vibraciones se ve afectada por la interacción entre la punta y la superficie. Las imágenes topográficas se obtienen debido a estas diferencias de amplitud o fase. Este modo es más suave en la punta que el modo táctil (Aguilar, 2021).

## 1.2. NANOPARTÍCULAS METÁLICAS

“Las nanopartículas son uno de los materiales que reflejan un interés excesivo debido a sus propiedades que las convierten en excelentes candidatas por numerosas áreas como la medicina, biología, bioingeniería y mucho más. Plata cobre, oro, magnesio, titanio ha sido utilizado como nanopartículas contra diferentes especies de Microbios.” (Gong et al., 2007; Ahmad et al., 2006; Aldujaili and Banoon, 2020).

Los diferentes metales que han sido estudiados presentan propiedades y características ópticas, químicas, electrónicas y físicas, sin embargo, los dos metales más estudiados en síntesis de materiales son el oro y la plata, ambos presentan una estabilidad química, que favorece a mantener la mayoría de sus características y algunas de estas características suelen ser mejoradas al pasar a ser nanopartículas.

Las nanopartículas de metales como el oro, la plata y el cobre están atrayendo actualmente la atención de la comunidad científica porque representan propiedades interesantes como propiedades optoelectrónicas, térmicas, magnéticas y su alta capacidad catalítica, así como sus diversas aplicaciones en medicina y medicina. tecnología Tienen propiedades diferentes a los materiales a escala macroscópica, por lo que un material que es semiconductor a escala macro adquiere propiedades superconductoras en su forma nanométrica, también se diferencian en propiedades mecánicas, adquiriendo las propiedades de un material más resistente al calor. Las modificaciones que toleran temperaturas más altas, debido a que los bactericidas son más efectivos, también mejoran sus propiedades magnéticas, ópticas y catalíticas (Duncan, 2011; Xiaohua, 2010).

Entre las propiedades más destacadas de las nanopartículas metálicas se encuentran sus propiedades ópticas como una característica de gran importancia ya que el estudio de estas permite inferir su formación, así como su forma y tamaño. Las propiedades ópticas de las nano partículas metálicas dependen de su morfología y de su tamaño. Por ejemplo, el oro en macro escala refleja una luz amarilla, en forma de películas delgadas se ve azul y en forma de nanopartículas aproximadamente de 3 nm este color azul cambia a naranja. Estos efectos son el resultado de la interacción de la luz con la superficie de la nanopartícula originando una resonancia que se le conoce como el *plasmón de resonancia en la superficie* (Cornejo, 2015). Como se puede observar en la imagen 1.8 los electrones y protones de la nanopartícula se desplazan según su carga provocando una producción de luz en la superficie de la nanopartícula, el color que la nanopartícula produzca dependerá los materiales con la que esta fueron realizados. Sin embargo, esta igual puede depender de la concentración de la sustancia.

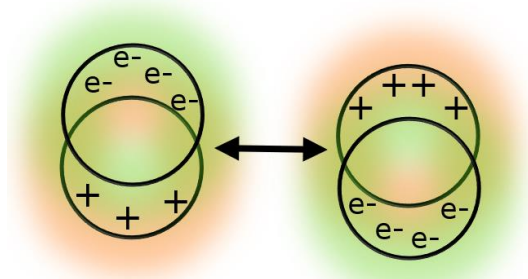


Imagen 1.8. Plasmón de resonancia en la superficie

La aparición de *plasmón de resonancia de superficie* es una consecuencia del pequeño tamaño de las partículas de la formación de nano-caras cristalinas bien definidas y la mayoría de sus átomos están en la superficie. Así los electrones de la superficie interactúan con la radiación electromagnética, la interacción es fuertemente dependiente de su naturaleza, tamaño, forma y cristalinidad y de las condiciones físicas y químicas del medio circundante alrededor de las mismas. Los metales poseen gran cantidad de electrones que no se encuentran ligados al núcleo atómico del mismo, de tal forma que se pueden mover libremente dentro del material metálico formando una especie de plasma.

Cuando la luz incide sobre los electrones que se encuentran en la superficie de las nanopartículas metálicas, la luz es absorbida por ellos y se genera una excitación colectiva de los electrones libres produciendo una vibración de la nube de electrones en forma de oscilaciones, a este fenómeno se le denomina plasmón de resonancia. Este fenómeno es el responsable del color que caracteriza las nanopartículas de plata, oro y cobre. (Kelly et al., 2003).

En la imagen 1.9 se puede observar como las nanopartículas suelen interactuar cuando existe un campo electromagnético, el cual provoca la vibración entre ellas a este fenómeno se conoce como “excitación” teniendo como consecuencia el color que produce, es por eso por lo que la imagen muestra una oscilación esto por la producción de una nube de electrones a causa de la excitación de electrones libres provocada por las nanopartículas y la reacción que tienen al existir un campo eléctrico.

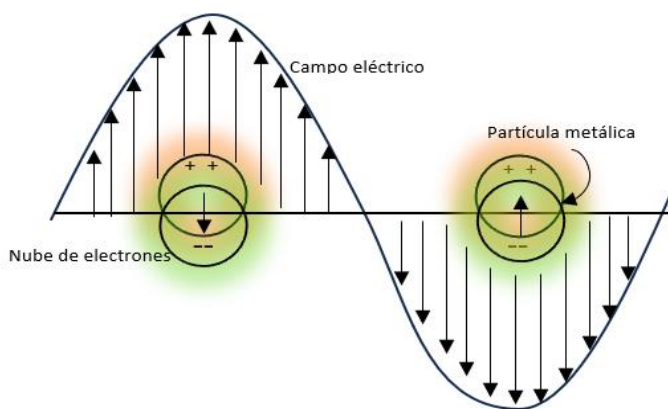


Imagen 1.9. Luz generada por el plasmón en un campo eléctrico

La energía de la luz para generar el fenómeno del plasmón en una nanopartícula metálica es analizada por espectroscopía de UV-VIS, por la aparición de una banda en el rango de la luz visible (300-700 nm) es el resultado del plasmón de resonancia, esta banda depende del metal estudiado de la morfología de la nanopartícula y de su tamaño. (García, 2011). Este fenómeno puede observarse en la imagen 1.10.

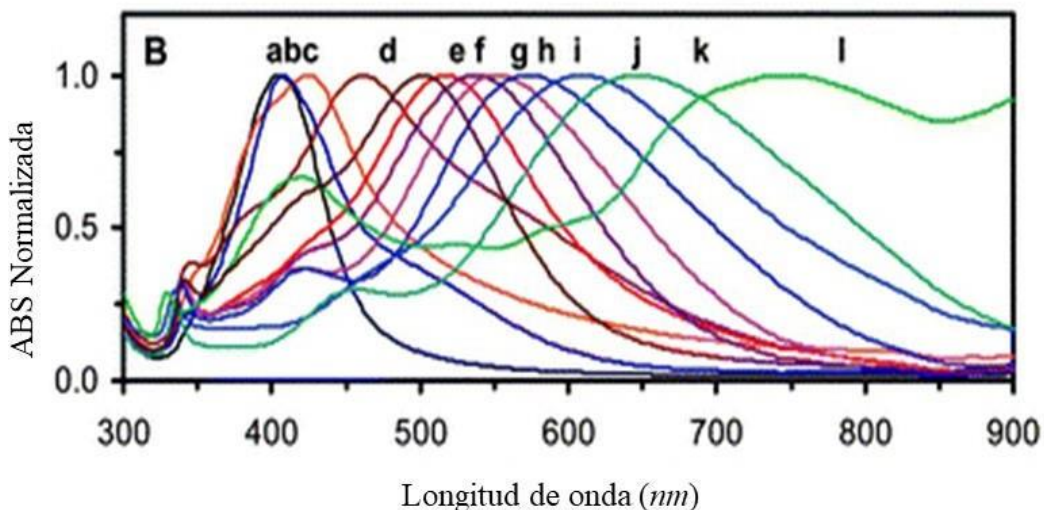


Imagen 1.10. Espectros UV-visible de las disoluciones de nanopartículas de plata de diferente color, tamaño y forma. (Cornejo, 2016).

Cuando se tienen nanopartículas metálicas, se obtienen espectros dependiendo del tamaño y morfología, ya que se ha observado que éstas influyen en la forma y posición de la banda de plasmón, es por esto por lo que la mayoría de los metales como cobre, oro y plata suelen tener la frecuencia de su banda de plasmón en una región visible, esto se ve reflejado en los colores que adquieren estas nanopartículas, ya que los colores que adquieren suelen ser muy intensos

La posición de la banda depende del material de la nanopartícula, así para cada metal se espera una posición de ella en el espectro de UV-VIS, efecto que permite identificarlas, así para las nanopartículas esféricas de plata la banda del plasmón (pico de absorbancia) aparece alrededor de 350 y 400 nm (Murray y Barnes, 2007). La posición de la banda proporciona información importante con respecto a las propiedades características de las nanopartículas,

como su forma y tamaño, así como también si las muestras obtenidas son polidispersas o monodispersas.

En la imagen 1.11 se aprecia espectros del plasmón de nanopartículas esféricas de diferentes tamaños, banda que aparece alrededor de los 300 nm y 400 nm en la región visible, a medida que el pico de absorbancia se desplaza a la izquierda a menores longitudes de onda indica que se trata de nanopartículas de menor tamaño, si la banda se desplaza a la derecha a mayores longitudes de onda se trata de nanopartículas de mayor tamaño. El ancho de la banda proporciona información sobre si la muestra es monodispersa (de tamaños similares), la apariencia de la banda es angosta y si aparece una banda más ancha indica que la muestra es polidispersa (tamaños muy diferentes) (Majles, 2009, Ibarra, 2014).

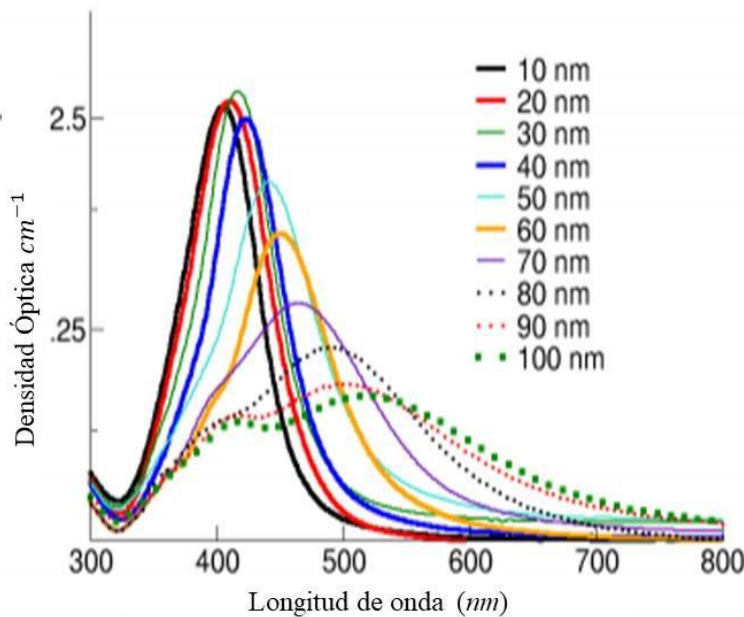


Imagen 1.11 Plasmón de resonancia reportados para nanopartículas esféricas de plata de diferentes tamaños. Majles, 2009, Ibarra, 2014).

## 1.3. NANOPARTÍCULAS DE PLATA

### 1.3.1. PROPIEDADES DE LA PLATA

La plata (Ag) es un metal noble, él cual tiene un lugar en la tabla periódica como un metal de transición, esta presenta una conductividad eléctrica de  $63 \times 10^6$  S/m. En la reflexión la plata tiene un espectro visible con un factor de luz blanca de 92-97%, de igual manera la plata no refleja de manera correcta la radiación ultravioleta.

Hoy en día la plata tiene diversas aplicaciones dentro del sector automotriz como interruptores eléctricos para el encendido de motor, uso de ventanas eléctricas. De igual forma suele ser utilizada en el motor como un cojinete gracias a la alta resistencia que esta presenta al calor aumentando el rendimiento y longevidad del motor.

En electrónica puede ser utilizada en computadoras, circuitos impresos, microondas, pantallas, teclados de ordenador, entre otros. La aplicación de la plata en los diferentes ámbitos en gracias a la alta duración en ciclos de encendido y apagado, también se debe a la conducción eléctrica y térmica que esta presenta, tanto como lo costeable que esta puede llegar a ser. La plata ha sido utilizada como joyería, aplicaciones eléctricas, fabricación de instrumentos, de igual forma la plata ha tenido un gran impacto en las aplicaciones ópticas, dado que esta ha sido utilizada en la fotografía, como aditivos en la fabricación de vidrios gracias a las tonalidades amarillas que esta generaba. La plata como nanopartícula ha sido utilizada en la antigüedad como colorante de cerámica y vidriería, algunos ejemplos se pueden ver en los vidrios de algunas iglesias y la copa de Licurgo la cual después de realizarle una microscopia esta presento nanopartículas de otro u plata con tamaños de entre 50 y 100nm.

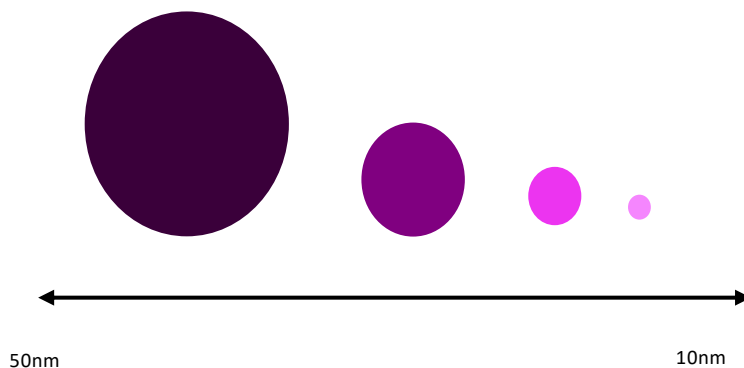


Imagen 1.12. Tamaño de nanopartículas y la influencia que el tamaño tiene sobre ellas en el color.

Los colores que adquieren las nanopartículas dependerán del tamaño ya que, por ejemplo, las nanopartículas de oro se pueden presentar en color violeta tenue, dado que el tamaño de la nanopartícula es poca de igual forma se va oscureciendo o tomando colores más oscuros si la nanopartícula crece aún más, como se puede observar en la imagen 1.12.

Actualmente las nanopartículas de plata tienen un futuro comprometedor, en el área de biotecnología y electrónica dado que no se necesitan procesos elaborados y tampoco de un mantenimiento. Hoy en día el campo de mayor desarrollo es la medicina en el diagnóstico de enfermedades como el cáncer, aterosclerosis, entre otras. No obstante, las características que obtenga las nanopartículas de plata dependerán de la forma, el efecto en la carga, la composición, la morfología. Una vez obtenidas las características finales de las nanopartículas dependerá el uso que se le dé.

### 1.3.2. PROPIEDADES ÓPTICAS

Las nanopartículas se componen de pequeñas "partículas primarias" con una alta relación volumen-superficie. La presencia de una gran cantidad de átomos en su superficie es responsable de diversas propiedades (electrónicas, ópticas, eléctricas, magnéticas, químicas, biológicas y mecánicas) que difieren de los materiales a macroescala. La forma de las nanopartículas es una característica crucial para tener en cuenta, especialmente en aplicaciones potenciales dentro del campo de la nanotecnología. Según su forma, las nanopartículas pueden ser cilíndricas, con forma de barra, esféricas o con forma de plaquetas.

Las propiedades físicas de estas nanopartículas están intrínsecamente relacionadas con su tamaño y composición química (Pérez et al., 2005).

Las propiedades ópticas dependerán de la frecuencia de resonancia la cual dependerá de la morfología, la composición de las nanopartículas, concentración, temperatura, entre otras.

Las propiedades ópticas que se llegan a presentar las nanopartículas de plata se deben

- La longitud de onda que estas pueden llegar a tener.
- Por la interacción de luz que incide con la conducción de electrones libres

- Por fluorescencia que es "el proceso de fotoluminiscencia en el que los átomos o moléculas se excitan mediante la absorción de radiación electromagnética. Las moléculas excitadas se relajan hacia el estado fundamental, liberando el exceso de energía en forma de fotones". (Bosco, M., 2007)

En la imagen 1.13 se aprecia espectros del plasmón de nanopartículas esféricas de plata de diferentes tamaños, banda que aparece alrededor de los 300 nm y 400 nm en la región visible, a medida que el pico de absorbancia se desplaza a la izquierda a menores longitudes de onda indica que se trata de nanopartículas de menor tamaño, si la banda se desplaza a la derecha a mayores longitudes de onda se trata de nanopartículas de mayor tamaño. El ancho de la banda proporciona información sobre si la muestra es mona-dispersa (de tamaños similares), la apariencia de la banda es angosta y si aparece una banda más ancha indica que la muestra es poli-dispersa (tamaños muy diferentes) (Majles, 2009, Ibarra, 2014).

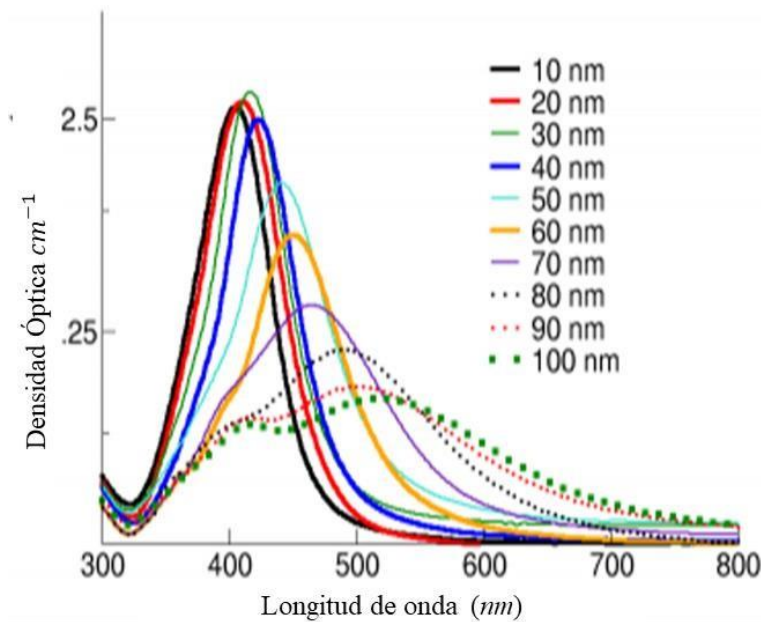
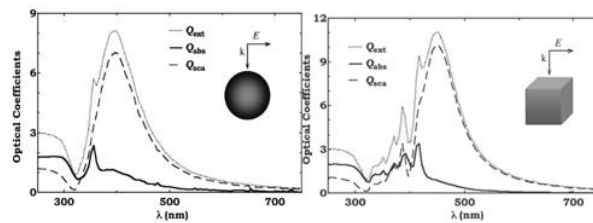


Imagen 1.13. Plasmón de resonancia reportados para nanopartículas esféricas de plata de diferentes tamaños. Majles, 2009, Ibarra, 2014).

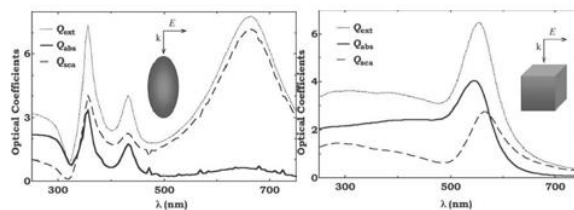
Actualmente las nanopartículas de plata tienen un futuro prometedor, en el área de biotecnología y electrónica dado que no se necesitan procesos elaborados y tampoco de un mantenimiento. Hoy en día el campo de mayor desarrollo es la medicina en el diagnóstico de

enfermedades como el cáncer, aterosclerosis, entre otras. No obstante, las características que obtenga las nanopartículas de plata dependerán de la forma, el efecto en la carga, la composición, la morfología. Una vez obtenidas las características finales de las nanopartículas dependerá el uso que se le dé.

Sosa y sus colegas llevaron a cabo un estudio que se centró en las características fundamentales de los espectros ópticos de nanopartículas metálicas con variados tamaños, morfologías y materiales. Su investigación demostró la capacidad de distinguir entre nanopartículas basándose en sus propiedades ópticas. El enfoque principal se centró en mostrar cómo los picos principales en los espectros ópticos pueden estar asociados con la forma y el tamaño específicos de las nanopartículas. La imagen 1.14 en el estudio ilustra los plasmones de resonancia de nanopartículas de plata y oro con morfologías diversas (Sosa, 2003).



a) Nanopartículas de plata



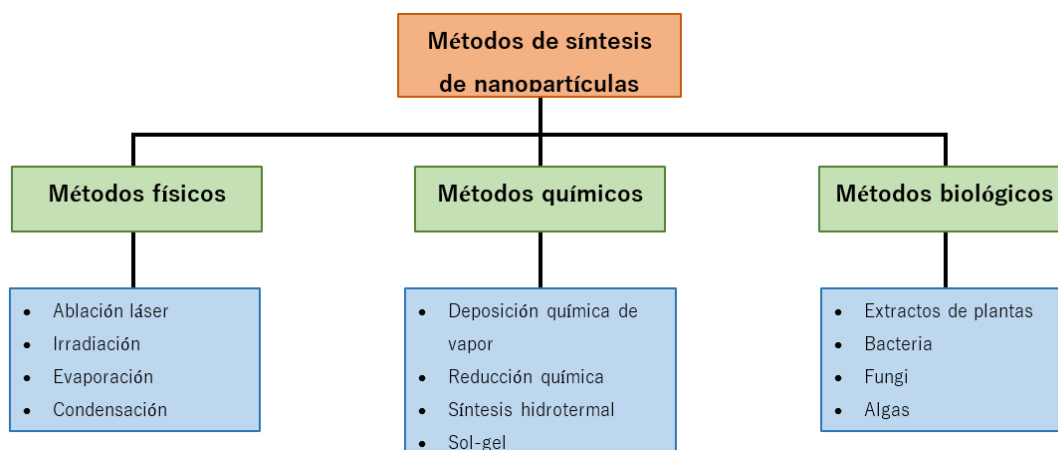
b) Nanopartículas de oro

Imagen 1.14. Plasmón de resonancia de nanopartículas de plata y oro con diferentes morfologías (Sosa,2023).

### 1.3.3. MÉTODOS DE SÍNTESIS DE NANOPARTICULAS

Actualmente avanza el desarrollo de técnicas para sintetizar y caracterizar materiales a escala nanométrica, así como las posibilidades de ampliar sus aplicaciones en campos como la medicina, la electrónica, la química y la ingeniería. Por eso, en los últimos años, los investigadores han mostrado interés en la producción de nuevos materiales nanométricos, porque las tecnologías requieren reducir al máximo el tamaño de los componentes que utilizan, que tengan ciertas propiedades que sean aplicables y realicen alguna función útil, por tanto, la síntesis de nanopartículas es uno de los principales objetivos de la nanotecnología. (Daniel y Astruc, 2004).

Existen dos métodos importantes, los implican procesos de fabricación descendentes y ascendentes, estas dos técnicas se pueden llevar a cabo por medio de diferentes técnicas, las técnicas que se utilicen dependerán de los nanomateriales que se buscan adquirir por lo cual los métodos de fabricación pueden ser físicos, químicos o biológicos, Los métodos de síntesis son mayormente conocidos en inglés como *top-down* y *button up*. Estos dos métodos derivan técnicas diferentes como se muestra en el esquema 1.1 pero ambos procesos nos llevan al mismo resultado algunas de las técnicas que se utilizan según en método elegido son más difíciles que otras sin embargo ambas suelen ser efectivas, ya que son capaces de conservar y mejorar la mayoría de las características. Cada método adquiere nanopartículas diferentes por lo que la elección del método es importante para lograr el correcto desarrollo de las nanopartículas.



Esquema 1.1. Métodos de síntesis físicos, químicos y biológicos.

Los métodos para la síntesis de nanopartículas metálicas se pueden observar en la imagen 1.15 donde se encuentran agrupados en dos categorías, *top-down* «de arriba hacia abajo» y las *bottom-up* «de abajo hacia arriba». La primera consiste en la división de bloques sólidos en porciones cada vez más pequeñas hasta llegar a partículas de escala nanométricas. Este enfoque puede involucrar la molienda o el desgaste, métodos químicos. Otro enfoque, conocido como enfoque "ascendente". o "de abajo hacia arriba" implica la síntesis de nanopartículas por condensación de unidades atómicas o moleculares. Este enfoque se utiliza ampliamente en la síntesis de nanopartículas y se basa en el uso de pequeñas unidades, ya sean átomos o moléculas, derivadas de un precursor. Estas unidades se añaden de forma controlada, dando como resultado partículas de tamaño nanométrico. Este proceso de combinación de unidades permite la formación de nanopartículas con propiedades específicas y controladas. (átomos, moléculas) (Ponce, 2011). La síntesis bottom-up ha dado lugar al desarrollo de varios métodos químicos que implican la reducción en solución de metales para obtener nanopartículas metálicas. Estos métodos suelen implicar la obtención de átomos metálicos en estado de oxidación cero a partir de iones metálicos. Entre los métodos de reducción en solución más utilizados se encuentran la reducción química o electroquímica de sales metálicas, la descomposición térmica, la sonoquímica de precursores moleculares, la reducción por microondas y la reducción y desplazamiento de ligantes de un compuesto organometálico, siendo la reducción química de sales metálicas en solución particularmente ampliamente empleada para la síntesis de nanopartículas metálicas.

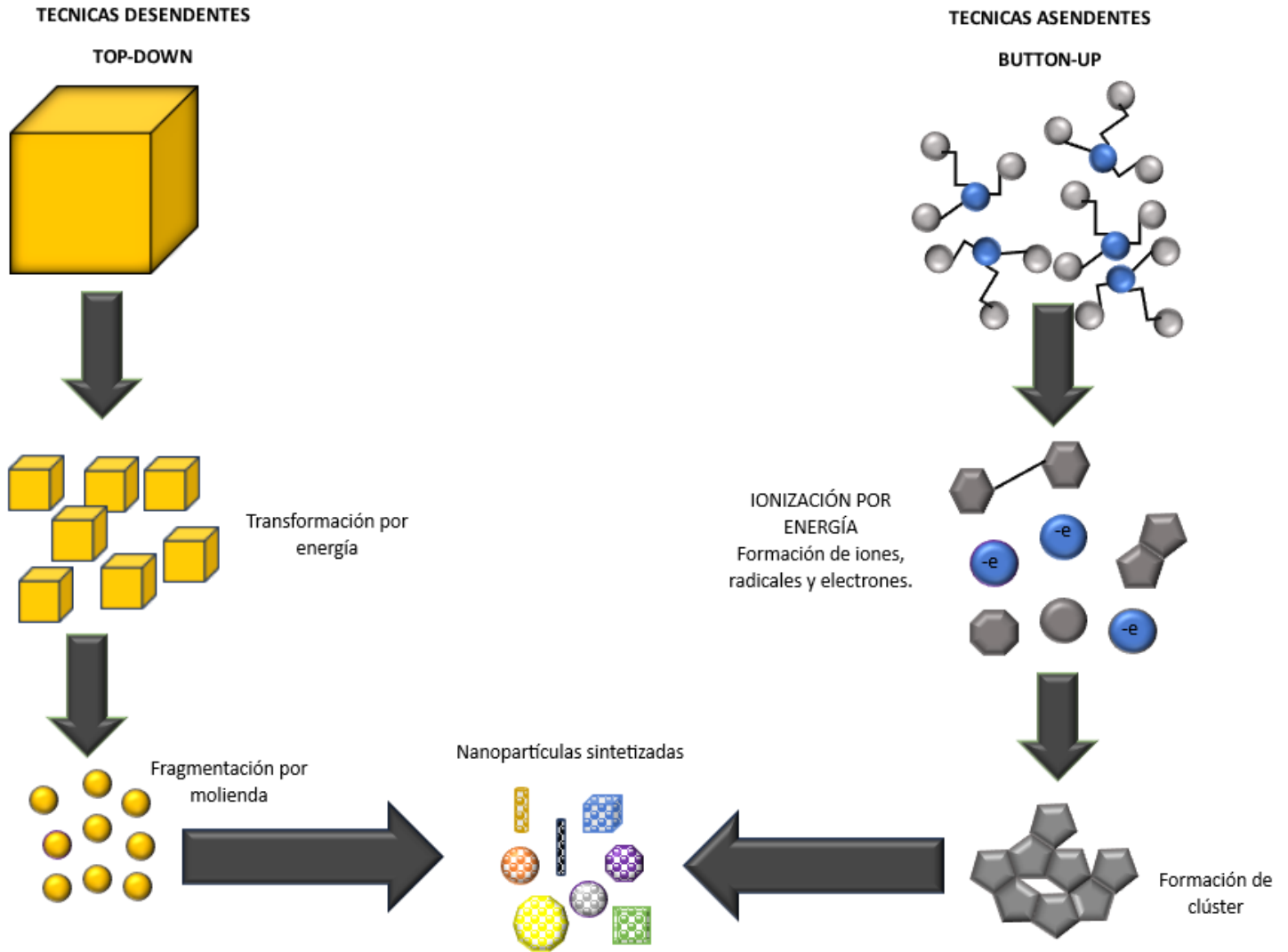


Imagen 1.15. Métodos de síntesis de nanopartículas.

La síntesis de nanopartículas en disolución desde un punto de vista químico requiere de métodos que permitan tener un control preciso sobre la forma y tamaño de las nanopartículas, para así lograr obtener un conjunto de partículas monodispersas, de tamaños semejantes y formas. Es necesario contar con un precursor metálico que nos proporcione los iones metálicos, un agente reductor de los iones metálicos y un agente estabilizante que garantice que la partícula no se desarrolle demasiado.

El proceso de formación de las nanopartículas por el mecanismo de reducción de iones consiste en dos etapas: nucleación y crecimiento. La forma y el tamaño depende de estas dos etapas que están sujetas a las condiciones de síntesis que pueden ser controladas, condiciones como la temperatura, concentración, pH, poder del agente reductor, solvente, etc.,

La figura 1.16 presenta las etapas del mecanismo de nucleación y crecimiento de nanopartículas a partir de proceso de reducción química.

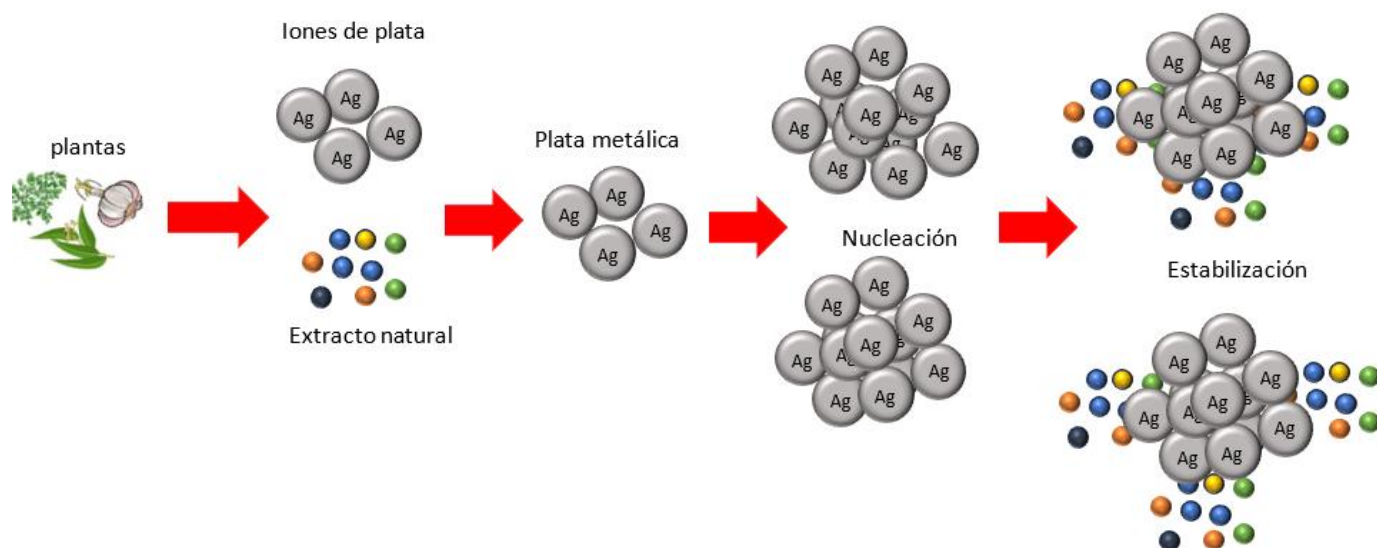


Imagen 1.16. Síntesis biológica por medio del método de reducción de nanopartículas de plata (Ag)

En la síntesis de nanopartículas metálicas el proceso de nucleación contempla la interacción de diversos factores como la diferencia entre los potenciales redox de la sal metálica y el agente reductor, y condiciones como la temperatura, solvente empleado la velocidad de adición e incluso la velocidad de agitación. Comúnmente por este método de reacción química los agentes reductores empleados son sustancias químicas de elevado costo y tóxicos para el ambiente por lo que con la finalidad de buscar síntesis que sean más amigables para el medio ha surgido la síntesis biológica también conocida como biosíntesis la cual es observada continuamente debido a la gran necesidad de métodos de síntesis amigables.

#### 1.3.4. EXTRACTOS

Hoy en día es importante recalcar la importancia que tienen los avances tecnológicos en nuestra sociedad, ya que actualmente estos han formado parte de nuestro día a día, estos avances han hecho que nuestra vida sea más fácil y nos han brindado una gran accesibilidad a la red y con ello conectividad con personas alrededor del mundo, sin embargo, estas ventajas vienen con consecuencias una de ellas es la gran contaminación que se produce. El hecho de que nosotros estemos conectados constantemente a la tecnología nos ha permitido querer tener más. Hasta ahora los avances tecnológicos exigen más y con ello que los equipos sean más pequeños, esto para permitirnos una mejor manipulación, que sean más portátiles y ligeros, esto claro, sin perder su eficiencia y rapidez por lo que esto nos ha dado acceso a una siguiente fase para la tecnología... la nanotecnología y sus diferentes variantes. Por lo ya mencionado, las nanopartículas han generado gran revuelo en la actualidad esto por sus múltiples aplicaciones en el área científica.

Actualmente la producción de nanopartículas es importante para el avance tecnológico, ya que son un gran auge de investigación en el área de medicina, electrónica, óptica y química, no obstante, la producción de estas cada vez es más requerida y con esto vienen diferentes consecuencias, ya que la fabricación de nanopartículas tiene consecuencias tanto para la salud y el medio, por lo que se ha optado por una alternativa, conocida como química verde, que se basa en la obtención de nanopartículas metálicas por medio de extractos de plantas. Los extractos naturales contienen metabolitos secundarios, los cuales incluye flavonoides, alcaloides, terpenoides, compuestos fenólicos, polisacáridos, aminoácidos y proteínas, estos compuestos ayudan a reducir los iones metálicos de sales, permitiendo de esta forma la formación de nanopartículas.

Las plantas son organismos autótrofos, bioquímicamente adicionales a los metabolitos primarios, los cuales son necesarios para la vida de los organismos ya que están involucrados en el crecimiento, desarrollo y reproducción de organismos, algunos ejemplos son el etanol, ácido láctico y algunos aminoácidos. Sintetizan metabolitos secundarios, también conocidos como productos naturales, que no son esenciales para el crecimiento de las plantas, pero son compuestos que ayudan en procesos adaptativos, defensa contra depredadores o patógenos, interacciones ecológicas, simbiosis, transporte de metales y competencia, entre otros. Los

metabolitos secundarios se clasifican en cuatro categorías según la “British Nutrition Foundation”: terpenoides, fenoles, compuestos de nitrógeno y compuestos de sulfuro (Meraet al., 2019; E. Ahmedet al, 2017)

### 1.3.4.1. Fenoles

Los fenoles son metabolitos secundarios, los cuales contienen un grupo hidroxilo (-OH) unido a un hidrocarburo aromático como se puede observar en la imagen 1.17. En plantas, el término habitualmente utilizado es polifenol, estos pueden tener más de un anillo fenólico y no contienen grupos basados en un nitrógeno.

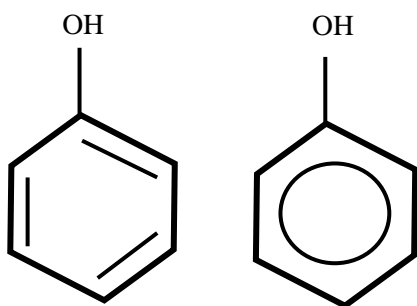


Imagen1.17. Formas de representar la estructura química del fenol, compuesto fenólico más simple

En el caso de las nanopartículas de plata, para la producción de nanopartículas de plata se utiliza el nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ), el ácido gálico el cual es un polifenol que algunos extractos contienen, este provoca la de reducción de iones de plata. Después de la reducción, se oxida a su forma quinona y el grupo carboxilo ( $\text{C}=\text{O}$ ) presente en la forma oxidada se coordina con la superficie de las nanopartículas, provocando la estabilización de estas, esto se puede ver en la imagen 1.18.

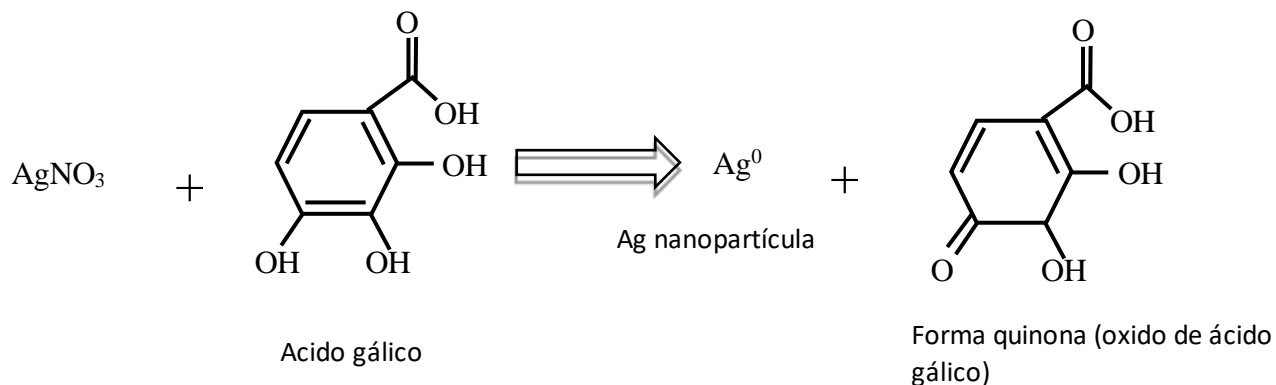


Imagen 1.18. Síntesis de nanopartículas a partir de fenoles.

### 1.3.4.2. Flavonoides

Son sustancias fenólicas hidroxiladas sintetizadas por las plantas en respuesta a infecciones microbianas. La estructura química es una estructura de propanofenilo con quince átomos de carbono en el núcleo primario: dos anillos de seis miembros conectados por tres unidades de carbono que pueden ser parte de un tercer anillo. Además, dos anillos de benceno, los cuales están unidos a través de un tercer anillo de pireno heterocíclico que contiene oxígeno (Figuroa y Zepeda, 2023). Los flavonoides tienen grupos de hidroxilo y carbonilo los cuales pueden unir los iones metálicos. De igual forma tienen una propiedad antioxidante la cual está relacionada con su capacidad para ceder electrones y átomos de hidrogeno.

Un ejemplo de flavonoide es la quercetina, este es un pigmento el cual le da el color a las plantas y de igual forma se puede encontrar en diferentes frutas, así mismo este contiene grupos hidroxilo los cuales se han utilizado para para reducir iones de plata ( $\text{Ag}$ ) como se muestra en la imagen 1.19, esto da como consecuencia la formación de intermediarios complejos, seguido de una oxidación por separación de hidrogeno, formando un hidrato.

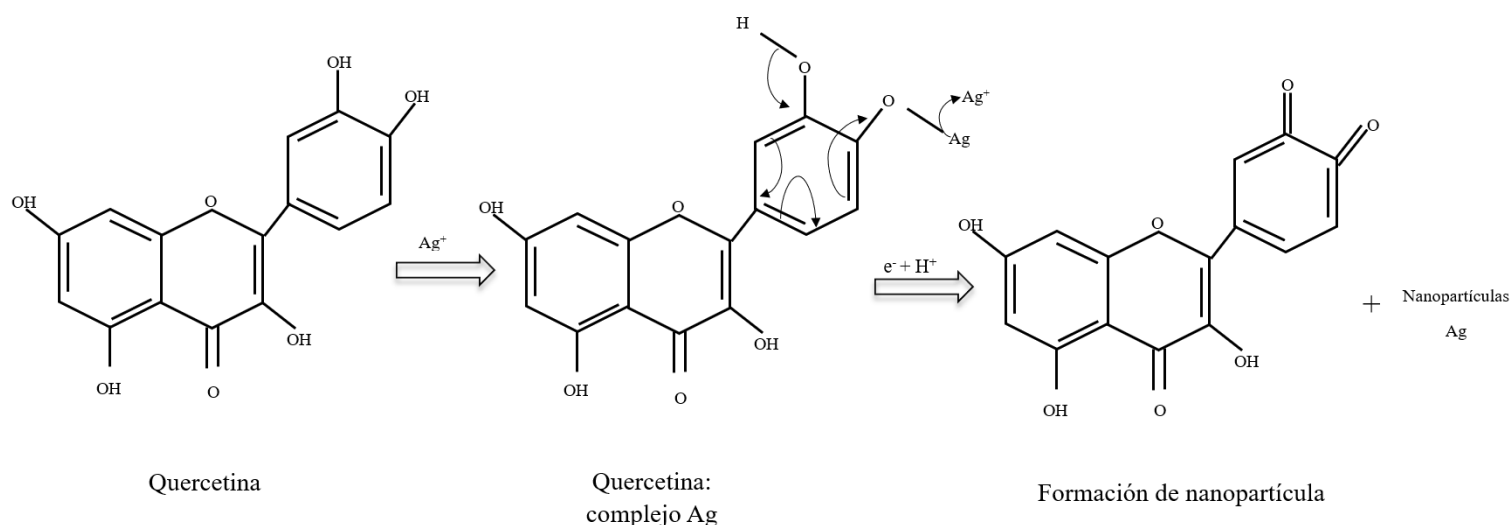


Imagen 1.19. Síntesis de nanopartículas a partir de flavonoides

La síntesis de nanopartículas se realiza mezclando extractos de plantas, las cuales tienen sales precursoras de metales, en las cuales se puede modificar su pH, temperatura y concentración, estas condiciones afectan la formación de las nanopartículas, dado que el tipo de extracto que se utilice y la concentración que este tenga afecta el tamaño y morfología de las nanopartículas, mientras que la temperatura y pH afecta el proceso de aglomeración (Figuroa y Zepeda, 2023).

Para la síntesis de nanopartículas metálicas se necesitan de dos componentes, el primero una solución metálica y un extracto acuoso con alto contenido de polifenoles, pues estos son los principales participantes en la reducción química, estabilización y formación de nanopartículas estables (Huang et al., 2007). Los extractos vegetales que se han usado como agentes reductores investigados los podemos observar en la tabla 1.

<b>Planta</b>	<b>NPs verdes</b>	<b>Tamaño (nm)</b>	<b>Moléculas involucradas en la reducción</b>
<i>Acalypha indica</i>	Ag	20-30	Quercetina
<i>Apiin</i>	Ag	39	---
<i>Alternanthera sessilis</i>	Ag	40	Grupo carboxilo
<i>Andrographis paniculata</i>	Ag	67-88	Alcaloides y flavonoides
<i>Cinnamon zeylanicum</i>	Ag	45	---
<i>Mentha piperita</i>	Au	150	Mentol
<i>H. canadensis</i>	Ag	113	Fenoles
<i>Jatropha curcas</i>	Ag	10-20	---
<i>Euphorbia prostrata</i>	Ag	52	polifenoles
<i>Caria papaya</i>	Ag	15	Hidroxil flavonas, catequinas
<i>Justicia spicigera</i>	Ag, Cu Ag-Cu	32-46	---
<i>Cassia fistula</i>	Au	55-98	Grupo hidroxilo
<i>Citrullus colocynthis</i>	Ag	5-70	Polifenoles
<i>Medicago Sativa</i>	Fe	2-10	---
<i>Green Tea</i>	nZVI	20-40	---
<i>Iresine herbstii</i>	Ag	44-64	Compuestos fenólicos
<i>Camellia sinensis</i>	nZVI	5-15	---
<i>Tinospora cordifolia</i>	Ag	34	Compuestos fenólicos
<i>Terminalia chebula</i>	Ag	25	---
<i>Melia azedarach</i>	Ag	78	Ácido tánico, polifenoles
<i>Phyllanthus niruri</i>	TiO <sub>2</sub>	32	Grupos carboxílicos
<i>Trigonella-foenum graecum</i>	Au	15-25	Flavonoides

--- Molécula no identificada

Tabla 1 Nanopartículas usando extractos vegetales que contienen polifenoles (Santos,A et al, 2020)

Actualmente existen múltiples investigaciones, con diferentes extractos sin embargo, para esta investigación se tomaron en cuenta 2.

Las nanopartículas son partículas coloidales sólidas con un diámetro que oscila entre 1 y 1000 nm. Para la síntesis de nanomateriales con diversas formas y dimensiones, se han empleado ampliamente dos enfoques distintos: el método de abajo hacia arriba y de arriba hacia abajo. La nanotecnología se considera una de las disciplinas científicas más relevantes en la actualidad, con un impacto evidente en diversas tecnologías en los últimos años. Las nanopartículas se distinguen de los materiales macroscópicos por sus propiedades singulares, como el punto de fusión y la velocidad de interacción con otros materiales.

Actualmente, la investigación en nanotecnología está experimentando un rápido crecimiento debido a su amplia aplicabilidad en diversos campos, como la agricultura, la automoción, el cuidado corporal (pasta de dientes, cosméticos), la electrónica, el medio ambiente, los alimentos, la medicina, los electrodomésticos, el petróleo, la impresión, los textiles, entre otros (Chaerunisaa A, Susilawati Y, 2020).

#### 1.3.5. EUCALIPTO

*Eucalyptus globulus*, comúnmente conocido como eucalipto azul, pertenece a la familia Myrtaceae. Esta especie se encuentra en diversas partes del mundo y se destaca por sus múltiples aplicaciones, especialmente en el ámbito medicinal y terapéutico. Los eucaliptos son una especie de árboles o arbustos originarios de Australia, abarcando más de 700 especies. Sus hojas se caracterizan por ser ovaladas en su etapa joven y alargadas cuando alcanzan la madurez, exhibiendo un tono verde grisáceo. Algunas especies destacadas incluyen *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus melliodora*. Estos árboles se han distribuido por diversas partes del mundo y son conocidos por su rápido crecimiento. Su versatilidad los hace comunes en plantaciones forestales para la industria papelera, maderera y la obtención de productos químicos, además de su aprecio ornamental.

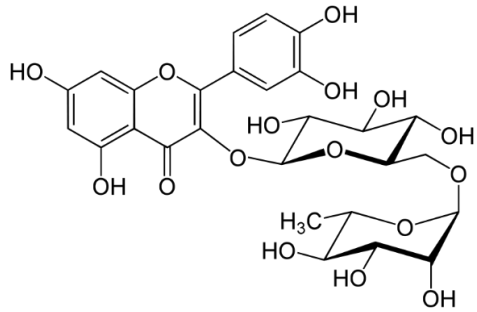
Las hojas de esta planta contienen principalmente compuestos orgánicos polifenólicos. El término "polifenoles" o "compuestos fenólicos" abarca una amplia variedad de sustancias heterogéneas que se caracterizan por tener en su estructura uno o varios anillos aromáticos

con uno o más grupos hidroxilo como sustituyentes. Según la clasificación de Harborne y Simmonds (1964), los compuestos fenólicos naturales tienen su propia estructura.

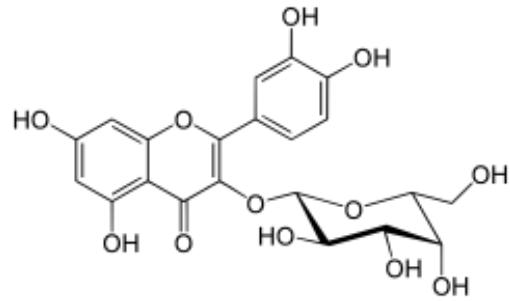
- C6, fenoles simples.
- C6 - C1, ácidos, aldehídos benzoicos y alcoholes bencílicos.
- C6 - C2, acetofenonas y alcoholes fenilacéticos.
- C6 - C3, ácidos cinámicos y compuestos relacionados: cumarinas, isocumarinas y cromonas.
- C6 - C3 - C6, flavonoides.

Se ha demostrado que los compuestos fenólicos que se encuentran en las plantas, como los flavonoides y otros polifenoles, desempeñan un papel importante en el sistema de defensa de la planta contra las infecciones. Se ha descubierto que estos compuestos afectan varios pasos de la estrategia de defensa, incluida la muerte y necrosis de la célula huésped, la acumulación de toxinas, la modificación de la pared celular y la síntesis de antibióticos específicos. Estas acciones contribuyen a la capacidad de la planta para resistir y defenderse contra patógenos y otros organismos invasores (Neira, I .2015, pp.9).

Los eucaliptos tienen una composición rica en diversos componentes, siendo uno de los más destacados el aceite esencial 1,8-cineol, también conocido como eucalipto. Además, contienen principalmente terpenos, así como una variedad de heterociclos oxigenados, compuestos fenólicos, ácidos fenólicos y flavonoides, entre los cuales se encuentran el rutósido y el hiperósido. La cera epicuticular de los eucaliptos ha revelado la presencia de flavonas mutiladas, como se informó en un estudio de Conde et al. (1996). La estructura química del flavonoide rutósido e hiperósido muestra grupos OH- enlazados a anillos aromáticos, sugiriendo su potencial actividad como antioxidantes. La figura 1.20 muestra la estructura química de uno de sus componentes, el flavonoide conocido como rutósido y el hiperósido.



Rutósido



heterósido

Imagen 1.20. Estructura química del Rutósido y la del heterósido

### 1.3.6. MORINGA

Moringa oleífera (*M. oleífera*) es una planta tropical que prospera fácilmente en regiones tropicales como Indonesia. Conocida como el "árbol milagroso", esta planta es excepcionalmente rica en nutrientes, destacando en el ámbito de la salud. La abundancia de nutrientes se distribuye en todas las partes de la planta, desde las hojas, la corteza, las flores, los frutos (vainas) hasta las raíces, siendo ampliamente utilizadas con propósitos medicinales.

Uno de los componentes más sobresalientes de la planta *M. oleífera* es su contenido antioxidante, especialmente concentrado en las hojas, que albergan la mayor cantidad de antioxidantes. Las pruebas fitoquímicas revelan la presencia de taninos, esteroides, triterpenoides, flavonoides, saponinas, antarquionas y alcaloides, todos ellos con propiedades antioxidantes. Según investigaciones, las hojas frescas de *M. oleífera* poseen un poder antioxidante siete veces mayor que la vitamina C. Este hallazgo resalta la potencial importancia de *M. oleífera* como una valiosa fuente de antioxidantes beneficiosos para la salud como se observa en la imagen 1.21.



Imagen 1.21. Propiedades medicinales de la moringa

Las propiedades antioxidantes de *M. oleífera* se ven resaltadas por uno de sus derivados de los flavonoides, específicamente la quercetina, que exhibe un poder antioxidante de 4-5 veces superior al de la vitamina C y la vitamina del extracto de *M. oleífera*, además de ser una planta comestible, encuentra aplicación en la medicina herbaria. Esta planta, rica en nutrientes, desempeña diversas funciones en el cuerpo, siendo destacada la importancia de los polisacáridos en su acción, conocidos como *M. oleífera* Polisacáridos (MOP). Actualmente, se considera más seguro el uso de antioxidantes naturales obtenidos de extractos de plantas. No obstante, la solubilidad reducida en agua de estos extractos puede limitar su biodisponibilidad.

Las nanopartículas pueden componerse de diversos materiales, como metales, óxidos metálicos, materiales semiconductores, polímeros, materiales de carbono y moléculas orgánicas. Debido a sus propiedades únicas, las nanopartículas de metales y óxidos metálicos son de gran importancia y poseen aplicaciones potenciales en los campos de la nanotecnología y la nanociencia. Las características físicas que influyen en las propiedades químicas, físicas, eléctricas y ópticas de los materiales nanoscópicos incluyen el tamaño, la forma y la morfología de la superficie.

El objetivo de este trabajo es llevar a cabo una revisión sobre la síntesis verde de nanopartículas (NPs) de metales y óxidos metálicos, así como su aplicación en el ámbito de las comunicaciones. Con un enfoque especial en las aplicaciones biomédicas y electrónicas, el estudio se ha concentrado en la planta medicinal, que presenta cierta actividad electrónica que la hace adecuada para su utilización en biosensores. No obstante, hasta el momento, no se ha realizado una revisión exhaustiva sobre el trabajo específico llevado a cabo por la planta en este contexto.

Las nanopartículas de metal/óxido metálico sintetizadas a través de enfoques sostenibles han generado un gran interés en diversas áreas, como la óptica, la electrónica, la biomedicina y la electroquímica. Esto contrasta con las rutas convencionales, las cuales están siendo examinadas críticamente en la actualidad debido a la necesidad de utilizar productos químicos agresivos y no sostenibles en su proceso de producción.

Por ende, la revisión se ha adentrado en la síntesis de nanopartículas y óxidos metálicos utilizando extractos de diferentes partes de la planta Moringa Oleífera. El propósito es obtener una comprensión detallada del efecto de las propiedades electrónicas de la planta en la síntesis y aplicaciones de estas nanopartículas.

Las nanopartículas se sintetizaron por primera vez reduciendo los iones de plata presentes en una solución de nitrato de plata mediante un extracto acuoso de M. oleífera. Se ha comprobado que estas nanopartículas de plata (Ag-NP) poseen una significativa actividad anticancerígena. Esto se debe a su capacidad para interrumpir selectivamente la cadena respiratoria mitocondrial, generando especies reactivas de oxígeno (ROS) y provocando la detención del trifosfato de adenosina (ATP), lo cual resulta en daño al ácido nucleico.

Se han sintetizado diversos metales y nanopartículas de óxidos metálicos, incluyendo plata (Ag), oro (Au), óxido de magnesio (MgO), óxido de zinc (ZnO) y óxido de hierro (FeO), mediante el uso de extracto de hoja de Moringa oleífera (M. oleífera).

Recientemente, se descubrió que la incorporación de Ag-NP en el extracto de plantas aumentaba tanto los compuestos fenólicos totales como los flavonoides totales. Como resultado, la eficiencia antioxidante y antimicrobiana de las Ag-NP cargadas con extracto aumentó y superó la del extracto de planta solo o la de AgNO<sub>3</sub>.

# CAPITULO 2. METODOLOGÍA

---

## INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analizará y se llevará a cabo la metodología para poder llegar a los objetivos antes planteados. Para llevar un correcto desarrollo de metodología que se desarrolló un diagrama a bloque el cual será mostrado en el apartado 2.2 de este capítulo, este esquema nos describirá el desarrollo de la síntesis que se llevó a cabo para la obtención de las nanopartículas, de igual manera se referirá una serie de pasos, los cuales fueron descritos según como se llevaron a cabo para la obtención de las sustancias tanto de eucalipto como de moringa. También podremos observar los cálculos estequiométricos que fueron realizados para el desarrollo de la síntesis.

Este capítulo se podrán ver representaciones e imágenes de las sustancias de moringa y eucalipto obtenidas, y las pruebas que se realizaron para la comprobación de que las nanopartículas fueron realizadas.

### 2.1. METODOLOGÍA

La presente investigación va referida a la *síntesis y caracterización de nanopartículas de plata con extractos naturales*, esta comenzará por una revisión bibliográfica acerca de los métodos de síntesis de nanopartículas de plata y de la aplicación que tienen en el área de microondas. Posteriormente, se realizó un análisis de los métodos de síntesis más relevantes, buscando la implementación del adecuado respecto a los objetivos planteados. Elegido el método, se trabajó en el laboratorio de química inorgánica de la facultad de ciencias químicas donde se realizaron diferentes muestras en placas y muestras líquidas, utilizando las nanopartículas preparadas con los extractos de moringa y eucalipto; así como el uso de un polímero el cual permitirá su manipulación y que de esta forma sean utilizadas en el desarrollo en frecuencias de microondas.

Obtenidas las muestras, se aplicarán pruebas de Efecto Tyndall, espectrometría UV-VIS y AFM (*atomic force microscopy*), de esta forma se verificará la obtención de nanopartículas por medio de extractos naturales. Las pruebas por realizar se basan en lo siguiente:

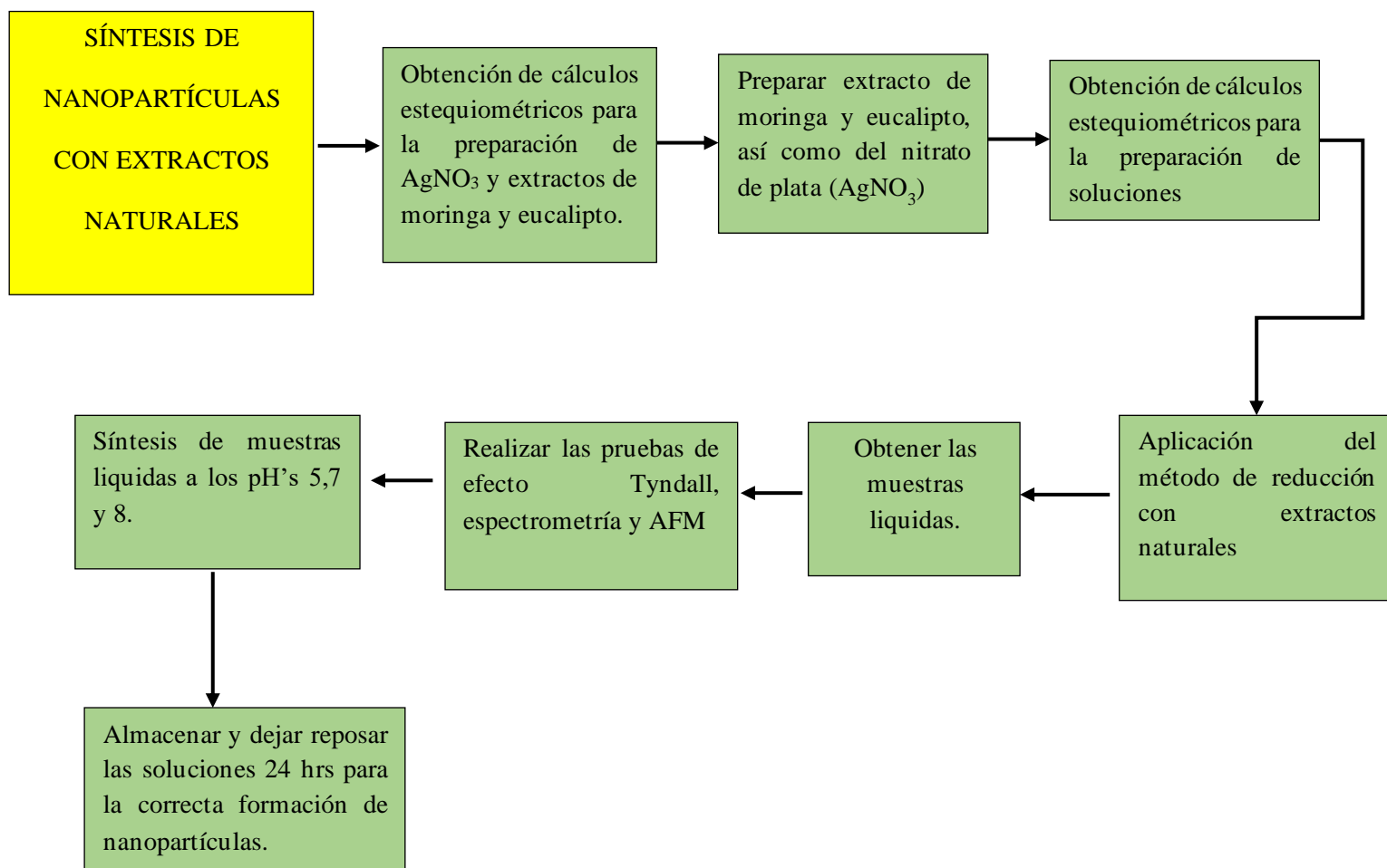
- ✚ Efecto Tyndall: Esta prueba consiste en hacer pasar un rayo de luz (láser) a través de la muestra, ya que al tratarse de una muestra coloidal esta debe ser capaz de dispersar la luz. Esto se debe a que las nanopartículas son lo suficientemente grandes, provocando de esta manera el efecto Tyndall.

- ✚ Espectrometría UV-VIS

Posteriormente se obtendrán las propiedades dieléctricas de las nanopartículas para obtener su conductividad en frecuencias de microondas usando la técnica de sonda coaxial abierta en el laboratorio de Caracterización de Sistemas Basados en Microondas de la FCE-BUAP. Una vez finalizada, todos los datos serán recabados y analizados con ayuda de un programa ya desarrollado en el software de Matlab, buscando comparar y analizar los resultados obtenidos.

## 2.2. DIAGRAMA DE BLOQUES

El diagrama a bloques que se muestra a continuación muestra los pasos que se llevarán a cabo para la obtención de nanopartículas de plata por medio del método de reducción con extractos de moringa y eucalipto. Este es un diagrama general de los pasos que serán llevados a cabo para poder lograr los objetivos del trabajo.



Esquema 2.1 Pasos para la realización de nanopartículas de plata (Ag) a diferentes pHs

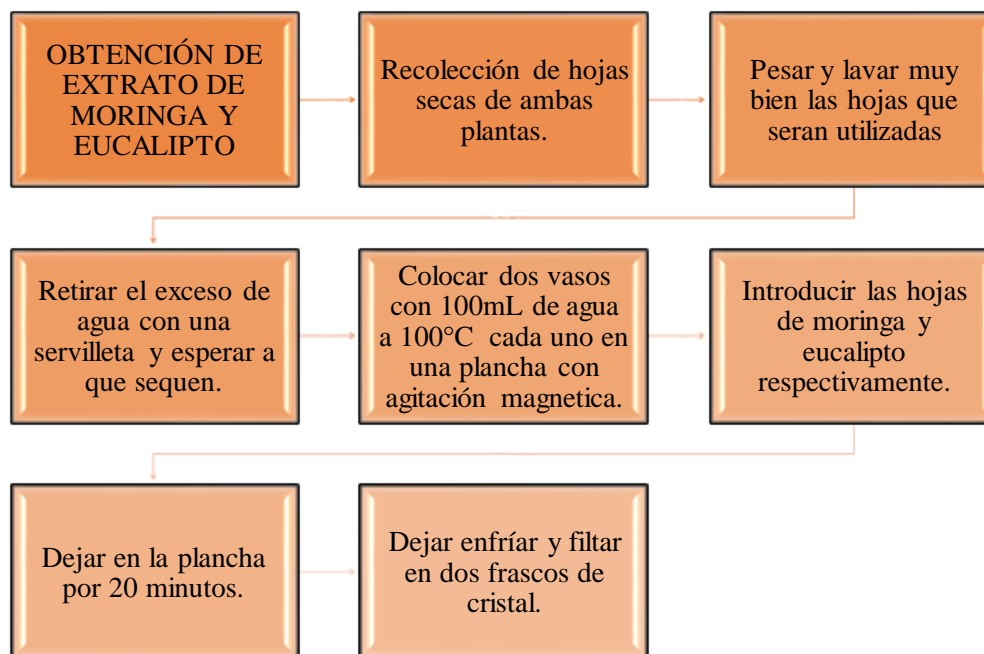
Como se puede observar en el esquema una vez obtenidas las muestras líquidas aplicando el método de reducción, el cual nos permitirá la obtención de las muestras líquidas, se llevarán a cabo 3 pruebas para poder comprobar que la obtención de nanopartículas es la adecuada, sin embargo, como se menciona en el capítulo 1 los diferentes parámetros, uno de estos

parámetros es el pH de las muestras, por lo que se realizaran muestras a diferentes pH para observar si este influye o no en los resultados finales, ya sea en tamaño, permitividad, color y longitud de onda.

La opción de la modificación del pH fue dado que en la revisión bibliográfica realizada se ha encontrado que los parámetros como temperatura y concentración afectan a la obtención de nanopartículas, modificando las características de éstas, sin embargo no hay mucha información sobre el pH y si este afecta las características electrónicas de las nanopartículas y menos si este tiene un impacto en la permitividad, que es una de las principales características que nos interesa mantener y mejorar, ya que de esta manera las muestras obtenidas se podrán utilizar en el área de microondas, ampliando de esta manera el campo de trabajo de las nanopartículas, obteniendo un nuevo enfoque de trabajo.

## 2.2.1. DIAGRAMA A BLOQUES PARA LA OBTENCIÓN DE EXTRACTOS

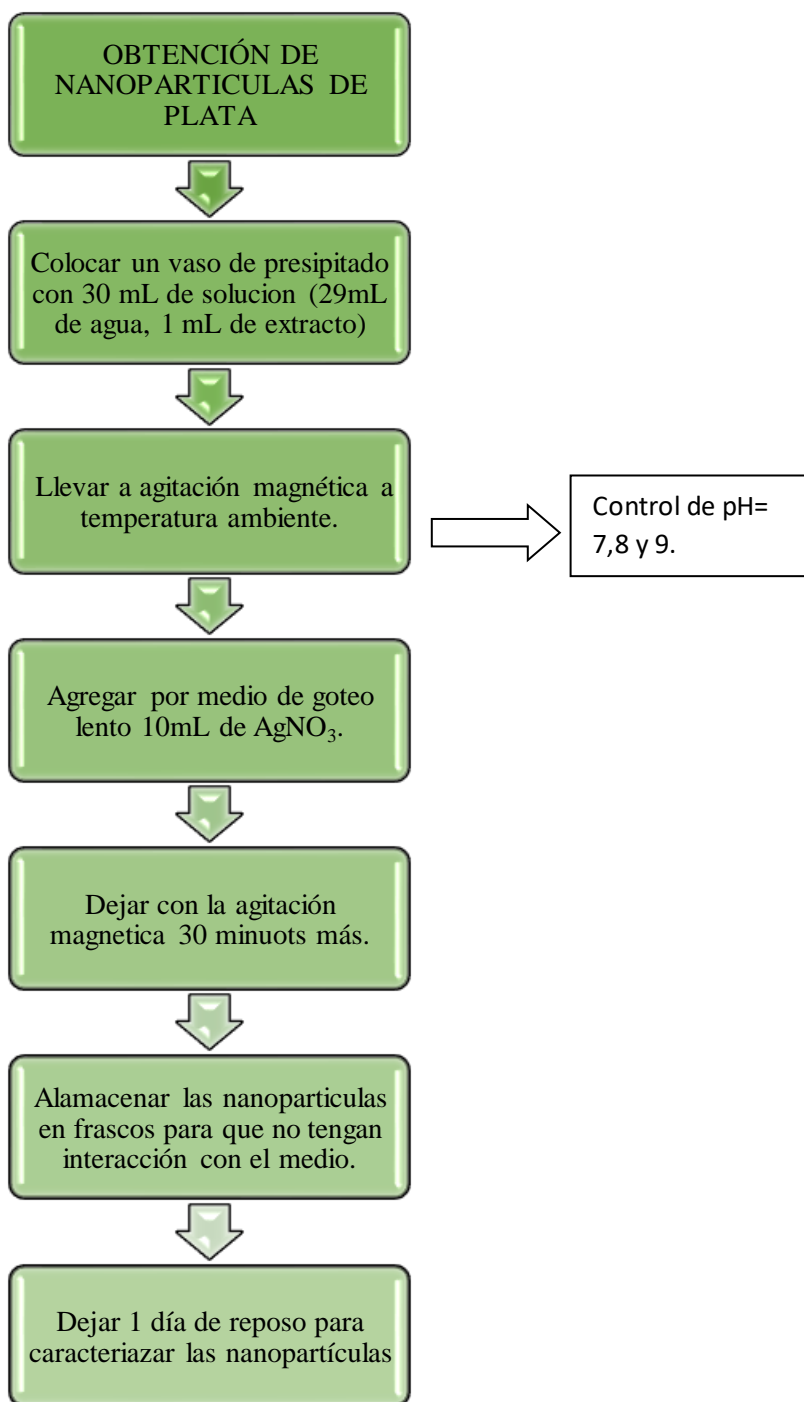
En el siguiente esquema 2.2 podremos observar los pasos que se siguieron para la obtención de los extractos naturales, así como el nitrato de plata los cuales son los dos reactivos para llevar a cabo la elaboración de nuestras nanopartículas.



Esquema 2.2. Procedimiento para la obtención de extractos naturales

## 2.2.2. DIAGRAMA A BLOQUES PARA LA OBTENCIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA

En el siguiente esquema 2.3 se puede visualizar la aplicación del método de reducción química con extractos naturales para la obtención de nanopartículas y cuál será el desarrollo de los pasos de esta.



Esquema 2.3. Procedimiento para la obtención de nanopartículas a partir del método de reducción.

## 2.3. SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA

### 2.3.1. NANOPARTICULAS DE PLATA CON EXTRACTO DE MORINGA

#### Materiales

- Hojas de moringa oleífera
- Agua destilada 500mL
- 4 vasos de precipitados
- Pipeta de Pasteur
- Pipeta graduada
- Embudo
- Papel filtro
- Parrilla eléctrica

#### 2.3.1.1. *Cálculos estequiométricos*

#### Preparación del extracto de moringa

Se realizan los cálculos estequiométricos siguientes para obtener las cantidades correctas de moringa y agua, este extracto es necesario para la realización de las nanopartículas de plata permitiendo que estas no se precipiten.

Se pesan 0.5 g de moringa, para posteriormente agregar en un vaso precipitado 50mL de agua (H<sub>2</sub>O) y los 0.5 g de moringa, esta mezcla se coloca en una parrilla eléctrica a una temperatura de 100°C y obtener el extracto de moringa. Después de 10 minutos de enfriamiento, con ayuda del papel filtro el extracto se filtrará para eliminar los residuos e impurezas de las hojas de moringa.

### Preparación nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) al 0.01M

Se obtienen las cantidades de las sustancias para obtener nitrato de plata como se plantea a continuación.

$$M = \frac{\# \text{ de moles}}{L \text{ de solución}} = \frac{\frac{g}{P.M.}}{L \text{ de solución}} \quad \text{Donde M= molaridad}$$

y P.M.= peso molecular

$$g = (M)(P.M)(L \text{ de solución})$$

$$g = \left(0.01 \frac{\text{mol}}{L}\right) \left(169.87 \frac{g}{\text{mol}}\right) (0.25L)$$
$$g = 0.4246 \text{ g}$$

En un vaso de precipitado de agregarán 250 mL de agua destilada y se pesaran 0.4246 g de plata, posteriormente ambos compuestos se pasarán a un matraz aforado el cual se agitará para obtener el nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ), una vez obtenida la solución se tapará para que este no se contamine.

#### 2.3.1.2. Preparación nanopartículas de plata

Después de obtener el extracto de moringa, así como el nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) se procede a obtener nanopartículas de plata

Se coloca sobre una plancha un vaso de precipitado con 29 mL de agua y un agitador magnético, después se agrega 1 mL del extracto de moringa ya filtrada. Después de unos minutos de mezclando los compuestos se tomará el pH con ayuda de papel pH. Una vez tomado el pH me di cuenta de que el pH es de 6 por lo que se agregarán 2 gotas de nitrato de sodio ( $\text{NaOH}$ ) de esta manera se regulara el pH al deseado, el cual es 8. Sin embargo, al volver a medir el pH de la solución no se obtuvo lo esperado por que finalmente se agregaron 5 gotas de nitrato de sodio ( $\text{NaOH}$ ).

Posteriormente se miden 10 mL de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ), esta se ira agregando por medio de goteo utilizando una bureta de Pasteur, el goteo debe ser despacio, ya que si se agrega de una forma brusca puede provocar que las nanopartículas crezcan más del tamaño deseado que son 100nm como máximo, provocando que estas se precipiten y dejen de considerarse nanopartículas.

Después de realizar la muestra, esta se dejará reposar alrededor de un día. Para que las nanopartículas se terminen de formar y de crecer, esto ayudara a saber si los cálculos realizados con anterioridad fueron los correctos para que las nanopartículas crecieran lo necesario y no se precipitaran.

Pasadas las 24 hrs se ha comprobado que las nanopartículas no se han precipitado, por lo que a esta solución se le realizarán pruebas específicas las cuales nos dirán si las nanopartículas fueron correctamente realizadas y si estas. Las pruebas realizadas son las siguientes:

### 2.3.2. NANOPARTICULAS DE PLATA CON EXTRACTO DE EUCALIPTO

#### Materiales

- Hojas de eucalipto
- Agua destilada 500mL
- 4 vasos de precipitados
- Pipeta de Pasteur
- Pipeta graduada
- Embudo
- Papel filtro
- Parrilla eléctrica

#### 2.3.2.1. *Cálculos estequiométricos*

#### Preparación del extracto de eucalipto

Al igual que en la preparación de extracto de moringa oleífera, se realizan los cálculos estequiométricos siguientes para obtener las cantidades correctas de eucalipto y agua, este

extracto es necesario para la realización de las nanopartículas de plata permitiendo que estas no se precipiten.

Se pesan 0.5 g de eucalipto, para posteriormente agregar en un vaso precipitado 50mL de agua (H<sub>2</sub>O) y los 0.5 g de moringa, esta mezcla se coloca en una parrilla eléctrica a una temperatura de 100°C y obtener el extracto de eucalipto. Después de 10 minutos de enfriamiento, con ayuda del papel filtro el extracto se filtrará para eliminar los residuos e impurezas de las hojas de moringa.

#### Preparación nitrato de plata (AgNO<sub>3</sub>) al 5%

Para el nitrato de plata se utilizará el nitrato ya preparado con anterioridad el cual, por lo que ya no será necesaria la realización de una nueva preparación de esta sustancia. Por lo que este apartado será omitido.

#### **2.3.2.2. Preparación nanopartículas de plata**

Una vez obtenido el extracto de eucalipto se coloca sobre una plancha un vaso de precipitado con 29 mL de agua y un agitador magnético, después se agrega 1 mL del extracto de moringa ya filtrada. Después de unos minutos de mezclando los compuestos se tomará el pH con ayuda de papel pH. Una vez tomado el pH me di cuenta de que el pH es de 6 por lo que se agregarán 2 gotas de nitrato de sodio (NaOH) de esta manera se regulara el pH al deseado, el cual es 8. Sin embargo, al volver a medir el pH de la solución no se obtuvo lo esperado por que finamente se agregaron 5 gotas de nitrato de sodio (NaOH).

Posteriormente se miden 10 mL de nitrato de plata (AgNO<sub>3</sub>), esta se ira agregando por medio de goteo utilizando una bureta de Pasteur, el goteo debe ser despacio, ya que si se agrega de una forma brusca puede provocar que las nanopartículas crezcan más del tamaño deseado que son 100nm como máximo, provocando que estas se precipiten y dejen de considerarse nanopartículas.

# CAPITULO 3.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

### INTRODUCCION

En el presente capítulo se abarcarán los resultados recabados de las diferentes sustancias, las nanopartículas serán expuestas a una serie de pruebas las cuales se analizarán a detalle para poder visualizar y tener una mejor comprensión a cerca de lo obtenido. De igual forma el capítulo esta dividido según la nanopartícula y la prueba de caracterización que se le hizo, de esta manera será más clara la información, se realizará un análisis de la información recaba experimentalmente y la recabada durante la revisión bibliográfica para comparar los resultados con la investigación, haciendo un análisis más estricto.

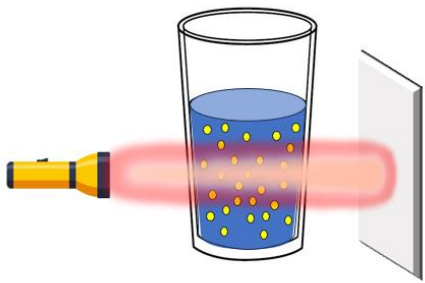

De igual forma en este capítulo se analizarán las muestras a diferentes pHs, temperatura y concentración, dado que estos parámetros fueron los modificados con anterioridad para poder visualizar y analizar los diferentes resultados si es que estos provocan un cambio en las sustancias coloidales obtenidas.

#### **3.1. Nanopartículas de plata AgNPs preparadas con el extracto de Moringa**

Se realizaron 2 pruebas para la comprobación de formación de nanopartículas, con la primera muestra de moringa para confirmar la existencia de nanopartículas y poder pasar al a la síntesis de nanopartículas de plata modificando el pH, los resultados obtenidos con la primera muestra de extracto de moringa se muestran a continuación.

➤ Efecto Tyndall

En esta prueba se utilizó un láser el cual se reflejó a través de la sustancia, dado que las nanopartículas tienen la cualidad de dispersar la luz, comprobando así la existencia de estas. La sustancia debe mostrarse como en la siguiente imagen.

Resultado esperado	Resultado obtenido
 <p data-bbox="250 877 716 930">Imagen 3.1. Resultado esperado de prueba Tyndall en NPs de Ag con extracto de moringa</p>	 <p data-bbox="753 909 1252 961">Imagen 3.2. Resultado de prueba de efecto Tyndall con moringa a una concentración de 10mL</p>

Como se puede observar, en la sustancia hay existencia de nanopartículas, por lo que se puede realizar las otras pruebas para poder obtener sus características de tamaño y longitud de onda. De igual forma se hizo una prueba con las nanopartículas con mayor concentración del nitrato de plata, para ver si de igual forma se obtenían nanopartículas y si estas no se precipitaban si es que se aumentaba la concentración del nitrato de plata, como se aprecia en la imagen 3.3.



Imagen 3.3. Efecto Tyndall con una concentración de 15mL de AgNO<sub>3</sub>

Una vez sintetizadas las nanopartículas, debemos conocer las propiedades morfológicas y fisicoquímicas que estas tienen ya que es importante conocerlas puesto que la morfología, forma, estructura y homogeneidad influye en las propiedades. Las técnicas que son más utilizadas para caracterizarlas son: espectroscopia UV-vis, XDR, SEM Y AFM.

- UV-vis: es utilizada para conocer la longitud de onda a la que absorben las nanopartículas, esto porque la irradiación de sus plasmones superficiales nos proporciona información sobre el tamaño que estas tienen.
- AFM: esta técnica es utilizada para conocer la morfología, tamaño y homogeneidad de las nanopartículas obtenidas.

➤ Espectroscopia de UV-vis

En esta prueba se utilizará un espectrómetro *Vectra XA* el cual nos ayudará a obtener la longitud de onda y una aproximación al tamaño de las nanopartículas.

Para realizar la prueba se tomará una pequeña muestra de la sustancia y será colocada en el UV-vis, donde se obtuvo la siguiente grafica.

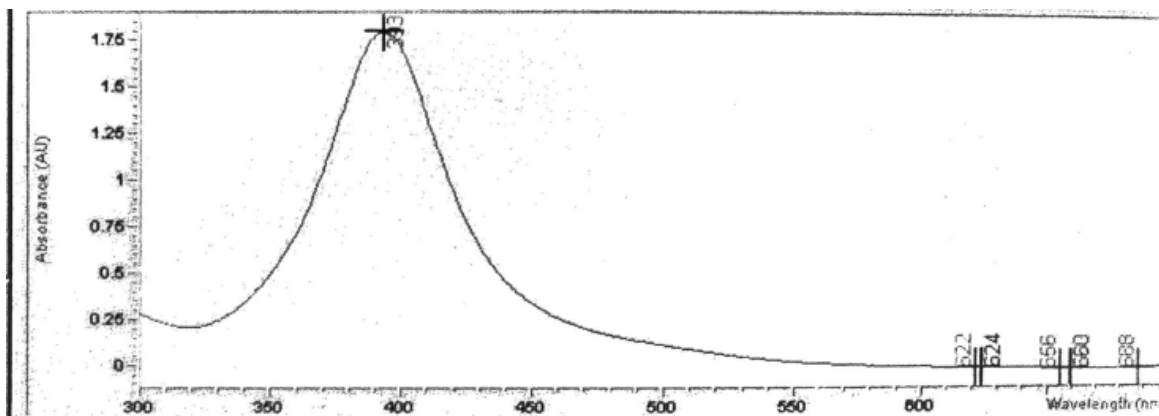


Imagen 3.4. Espectroscopia UV-vis de las nanopartículas de plata obtenidas con extracto de moringa.

El resultado obtenido es el mostrado en la imagen, en ella se puede observar como las nanopartículas están presentes ayudándonos a observar que se encuentran con una longitud de onda en un rango de 250 a 450 nm. De igual forma de esta prueba se puede intuir el tamaño de la nanopartícula y la forma que tienen, ya que la gráfica muestra un solo hombro se puede

inferir que las nanopartículas de plata obtenidas son de forma esférica con un rango de tamaño de 1-100nm, por lo que nuestras muestras son correctas y podemos pasar a realizar la siguiente prueba que nos dará más detalles de las nanopartículas, como su tamaño y forma, esto para confirmar que efectivamente se tienen nanopartículas circulares con un tamaño en un rango de 1-100nm.

### 3.1.1. NANOPARTICULAS DE CON EXTRACTO DE MORINGA A DIFERENTE PHs

Para la preparación de nanopartículas a diferentes pHs se utilizó la preparación de nanopartículas ya descrita en el apartado de “PREPARACIÓN DE NANOPARTÍCULAS CON EXTRACTO DE MORINGA”, donde se llevó a cabo la composición de nuevas nanopartículas a temperatura ambiente del nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) a una concentración de  $1 \times 10^{-3}$  por medio del método de reducción, este método consistió en la preparación de una disolución de 30 mL del extracto de *Moringa* /agua desionizada (1:29 mL), esta disolución fue ajustada a diferentes valores de pH (7, 8 y 9). A los 30 mL se adicionaron 10 mL de la solución de  $\text{AgNO}_3$  ( $1 \times 10^{-3}$  M) y se mantuvo durante 20 minutos bajo agitación suave a temperatura ambiente, con la finalidad de promover la formación de las nanopartículas de plata metálica AgNPs; el pH de las sustancias se modificó con gotas de hidróxido de sodio las cuales fueron diluidas en las sustancias para modificar el pH.

Como se puede observar en la imagen 3.5 el cambio de color entre ellas es notorio, las tres muestras tienden al color amarillo- ambar. Por el color de las sustancias se puede intuir que entre mas aumentamos el pH, la formación de las nanopartículas es más rápida y muy probablemente en mayor cantidad.

Durante la parte experimental se pudo observar que las nanopartículas con pH mas alto tenían reacción rápidamente provocando que la creación de nanopartículas se diera en 2 o 3 minutos después de hacer reacción con el nitrato de plata.

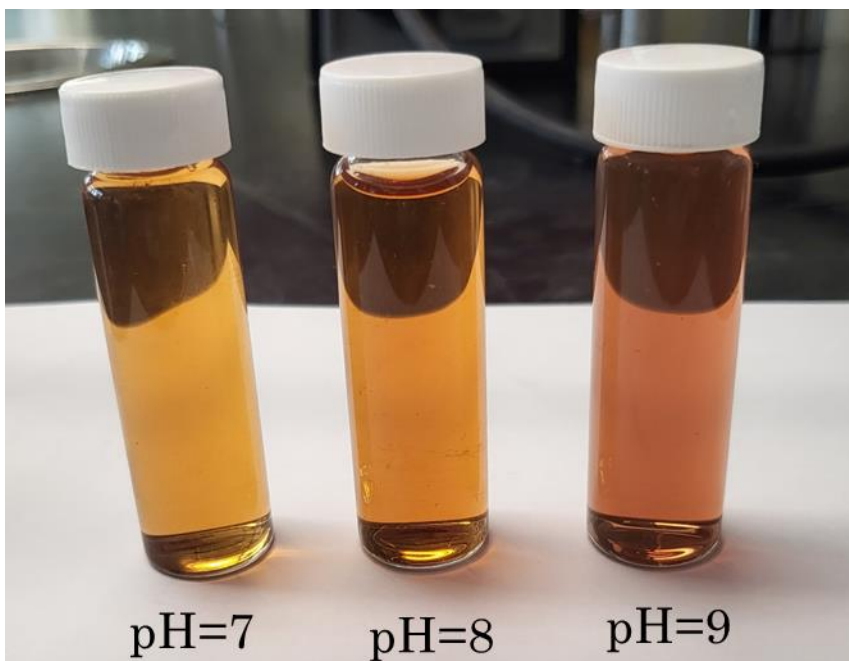


Imagen 3.5 Nanopartículas obtenidas a diferentes pH con extracto de moringa

Sin embargo, una vez obtenidas las muestras mencionadas se realizaron una serie de pruebas en el laboratorio de química para poder ver a mayor detalle lo obtenido y si realmente afecta el aumento del pH en la síntesis biológica de nanopartículas, por lo que se realizó la siguiente caracterización, la cual será detallada en el siguiente apartado.

### 3.1.2. CARACTERIZACIÓN POR EL COLOR

Las disoluciones obtenidas de nanopartículas de plata mostraron coloraciones amarillo ámbar a los tres pH (pH=7, 8 y 9), color característico reportado en investigaciones anteriores. Esta coloración se presenta pocos minutos después de haber agregado el extracto de Moringa y se mantiene sin cambio. El color obtenido es considerado como la primera evidencia de la formación de las nanopartículas de plata. La figura 3.6 muestra la imagen de la disolución obtenida, así como de la prueba del efecto Tyndall, fenómeno físico que causa que las partículas coloidales en una disolución o un gas sean visibles al dispersar la luz.

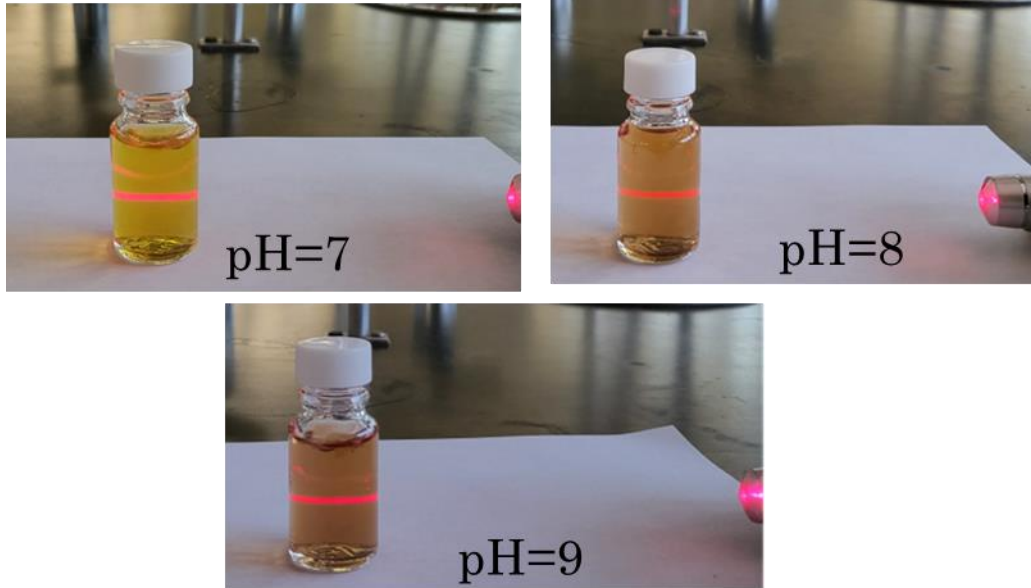


Imagen 3.6. Efecto Tyndall en nanopartículas de moringa con pH =7,8 Y 9 (respectivamente) y 10 mL de AgNO<sub>3</sub>

### 3.1.3. CARACTERIZACIÓN POR ESPECTROSCOPIA UV-VIS

La formación de las nanopartículas de plata en las disoluciones amarillas obtenidas fue corroborada a través de mediciones por espectrometría de UV-VIS, donde se ocupó un *UV/VIS Spectrometer Lambda35*, de los espectros obtenidos se observan picos de absorbancia denominados *plasmón de resonancia* entre los 350 nm y 450 nm, así como ha sido reportado en otros procesos de síntesis de nanopartículas de plata (Marlon,J 2020). Se puede apreciar que la forma de las bandas es de un solo pico por lo que se puede deducir que la forma de la nanopartícula es probablemente esférica en todos los casos (diferentes pH), por otra parte, se observa que la banda de un solo pico es ligeramente ancha, evidencia de que probablemente son polidispersas, es decir de diferentes tamaños. Siendo menos el efecto de polidispersidad para el caso de pH =7,8 y 9 que son bandas menos anchas, como se muestra en la imagen 3.7.

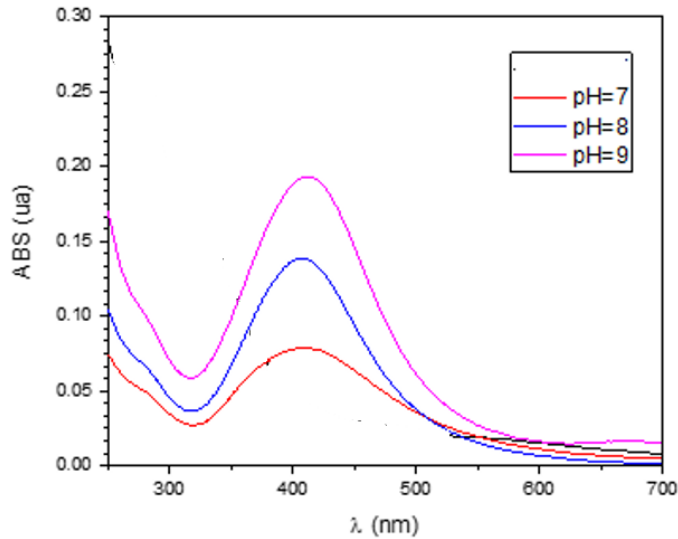


Imagen 3.7. Espectrometría UV-vis de las nanopartículas de moringa a pH=7, 8 y 9

La posición de la banda con respecto a la longitud de onda en la que aparece la máxima absorbancia proporciona información con respecto al tamaño de las nanopartículas. Se puede apreciar del espectro que la banda de absorbancia para el caso de la muestra a pH = 5 aparece a una longitud de onda a los 415 nm , la de pH =8 a 305 nm y la de pH = 9 a 410 nm. A medida que el pico de absorbancia aparece a longitudes de onda menores se puede inferir que las nanopartículas son más pequeñas y al contrario si el pico de absorbancia aparece a longitudes de onda más grandes las nanopartículas serán más grandes. De estas observaciones se puede inferir que la muestra de nanopartículas a pH = 8 son las de menor tamaño. Utilizando espectros del plasmón reportados en estudios relacionados en la preparación de nanopartículas de plata de diferentes tamaños fue posible determinar un valor estimado de su tamaño para las muestras a diferentes pH ((Majles, 2009, Ibarra, 2014).

La tabla 2 muestra los resultados UV-VIS, la longitud de onda correspondiente al pico de resonancia del plasma, la forma estimada de las nanopartículas y el tamaño probable de las nanopartículas de plata según los datos presentados en los estudios.

AgNPs con extracto de Moringa a diferentes pH.	Longitud de onda correspondiente al pico del plasmón. (nm)	Tamaño estimado (nm)	Forma de la nanopartícula de plata
pH = 7	415	30-40	Esférica
pH = 8	405	25	Esférica
pH = 9	410	20	Esférica

Tabla 2. Resultados obtenidos de las nanopartículas de plata, con síntesis por medio de reducción biológica con moringa.

De la tabla 2 se observa que las nanopartículas preparadas a pH = 8 por la posición de la banda del plasmón que aparece el máximo a 405 nm, son probablemente más pequeñas que las que se prepararon a pH 8 y 9.

#### 3.1.4. CARACTERIZACIÓN POR MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA

Finalmente, en esta prueba se podrán observar la forma que adquirieron las nanopartículas, así como el tamaño que obtuvieron la mayoría de estas. Para confirmar la forma de las nanopartículas de plata, se caracterizaron su tamaño y polidispersidad en un JSPM-5200 utilizando microscopía de fuerza atómica AFM. El escaneo de muestras con esta técnica permite detectar la presencia de nanopartículas formadoras de agregados y determinar su morfología y rango de distribución de tamaños.

La imagen 3.8 es la topografía del AFM se ve a diferentes escalas de escaneo, el conglomerado de partículas distribuidas en el disco de silicio aparece como conglomerados manométricos hemisféricos en las imágenes.

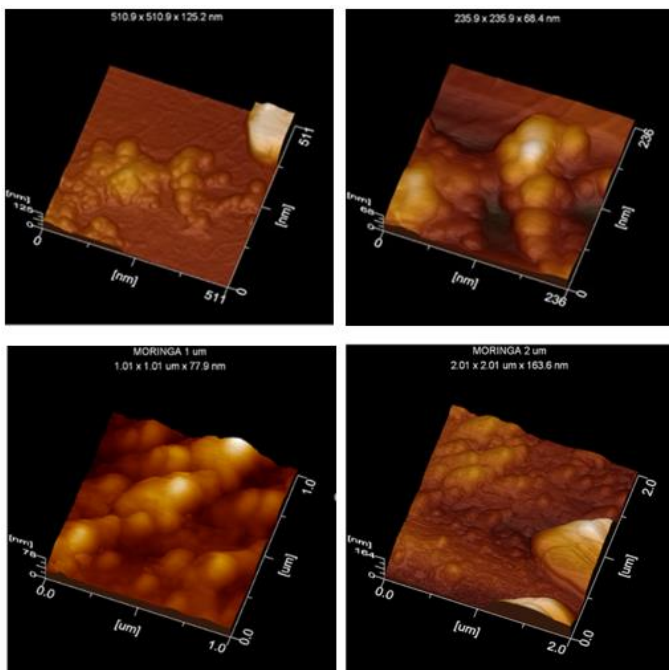


Imagen 3.8. Topografía de AFM a diferentes escalas de escaneo de, en modo “shaded” de las nanopartículas preparadas con el extracto de Moringa.

La imagen 3.8 es la topografía del AFM, se ve a diferentes escalas de escaneo, el conglomerado de partículas distribuidas en la oblea de silicio aparece como conglomerados nanométricos hemisféricos en las imágenes. Los datos reportados de este estudio dan cuenta de la presencia de conglomerados alrededor de 180 a 200 nm de largo y alrededor de 100 a 150 nm de ancho.

En la imagen se puede observar como las nanopartículas son de forma esférica. Por lo que la inferencia que se hizo en la prueba anterior es la correcta. Las nanopartículas mostradas en la imagen anterior tienen esa forma dado que la prueba se da con una gota de muestra, dejándola secar y provocando que las nanopartículas tiendan a juntarse.

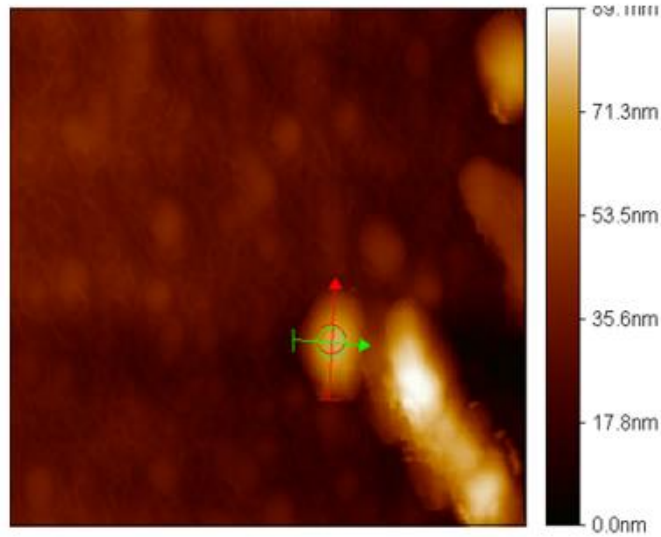


Imagen 3.9 Pequeñas partículas semiesféricas de tamaño alrededor de 80 y 90 nm.

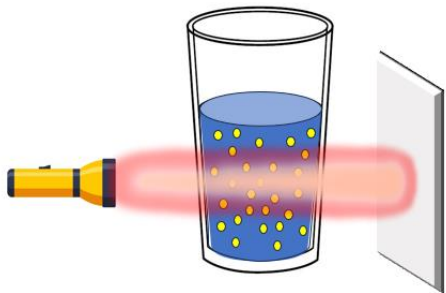
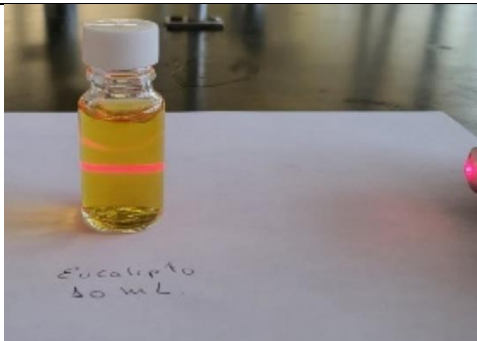
La imagen 3.9 permite observar la forma de pequeñas partículas semiesféricas, como se esperaba de los resultados de los espectros de absorción electrónica en la región visible, partículas nanométricas diseminadas en la oblea de silicio de diferentes tamaños del orden del 80 a 90 nm.

Se infiere que los aglomerados observados con forma semiesférica están constituidos por nanopartículas esféricas como fue determinado con la espectroscopia de Uv-Vis.

### 3.2. Nanopartículas de plata AgNPs preparadas con el extracto de Eucalipto

#### ➤ Efecto Tyndall

En esta prueba se utilizó un láser el cual se reflejó a través de la sustancia, dado que las nanopartículas tienen la cualidad de dispersar la luz, comprobando así la existencia de estas. La sustancia debe mostrarse como en la imagen 3.11.

Resultado esperado	Resultado obtenido
 <p>Imagen 3.10. Resultado esperado de prueba Tyndall en NPs de Ag con extracto de eucalipto.</p>	 <p>Imagen 3.11. Resultado de prueba de efecto Tyndall con eucalipto a una concentración de 10mL</p>

Como se puede observar, en la sustancia hay existencia de nanopartículas, por lo que se puede realizar las otras pruebas para poder obtener sus características de tamaño y longitud de onda.

De igual forma se hizo una prueba aumentando la concentración del nitrato de plata, para tener resultados variados y de cómo estas afectaban la síntesis de las nanopartículas, y si es que este tenía un resultado igual de favorecedor.

En la imagen 3.12 se puede observar como el aumento de nitrato de plata nos da un color más oscuro que la de 10 mL, no es muy notable, sin embargo, físicamente es visible. Por otro lado, como podemos observar las nanopartículas se formaron luego de 20 minutos de la síntesis, sin embargo, estas nanopartículas fueron descartadas, dado que al paso de 24 hrs, para dejar que la formación de las nanopartículas fuera exitosa estas, se tornaron muy

oscuras, esto quiere decir que las nanopartículas crecieron demasiado y dado que ya superan el tamaño de 100nm, son descartadas como nanopartículas.



Imagen 3.12. Efecto Tyndall en una muestra con 15 mL de nitrato de plata.

#### ➤ Espectroscopia de UV-vis

En esta prueba se utilizará el espectrómetro *Vectra XA* el cual nos ayudará a obtener la longitud de onda y una aproximación al tamaño de las nanopartículas.

Para realizar la prueba se tomará una pequeña muestra de la sustancia y será colocada en el UV-vis, donde se obtiene lo siguiente grafica la cual nos da información del rango de absorbancia que tienen las nanopartículas de plata sintetizadas con *Moringa Oleifera*.

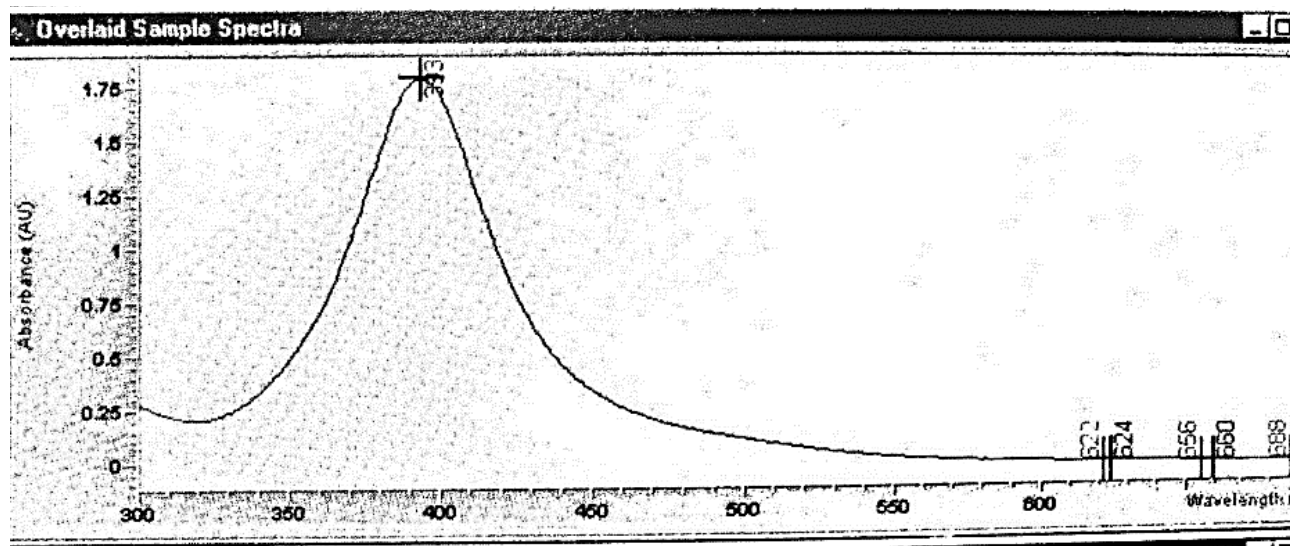


Imagen 3.13 Espectroscopia UV-vis de las nanopartículas de plata obtenidas con extracto de moringa.

El resultado obtenido es el mostrado en la imagen 3.13, en ella se puede observar como las nanopartículas están presentes ayudándonos a observar que se encuentran en un rango de 350- 450 esto significa que están dentro de los 100nm.

### 3.2.1. NANOPARTICULAS DE CON EXTRACTO DE EUCALIPTO A DIFERENTE PHs

Para la preparación de nanopartículas a diferentes pHs se utilizó la técnica nanopartículas ya descrita en el apartado de “PREPARACIÓN DE NANOPARTÍCULAS CON EXTRACTO DE EUCALIPTO”, donde se llevó a cabo la síntesis de nanopartículas de plata a temperatura ambiente, a partir del nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) a una concentración de  $1 \times 10^{-3}$  por medio del método de reducción química, este método consistió en la preparación de una disolución de 30 mL del extracto de *Eucalipto* /agua desionizada (1:29 mL), esta disolución fue ajustada a diferentes valores de pH (7, 8 y 9). A los 30 mL se adicionaron 10 mL de la solución de  $\text{AgNO}_3$  ( $1 \times 10^{-3}$  M) y se mantuvo durante 20 minutos bajo agitación suave a temperatura ambiente, con la finalidad de promover la formación de las nanopartículas de plata metálica AgNPs; el pH de las sustancias se modificó con gotas de hidróxido de sodio las cuales fueron diluidas en las sustancias para modificar el pH, las sustancias obtenidas se muestran en la imagen 3.14. Una vez obtenidas las muestras mencionadas se realizaron una serie de pruebas en el laboratorio de química obteniendo los siguientes resultados según la prueba realizada.

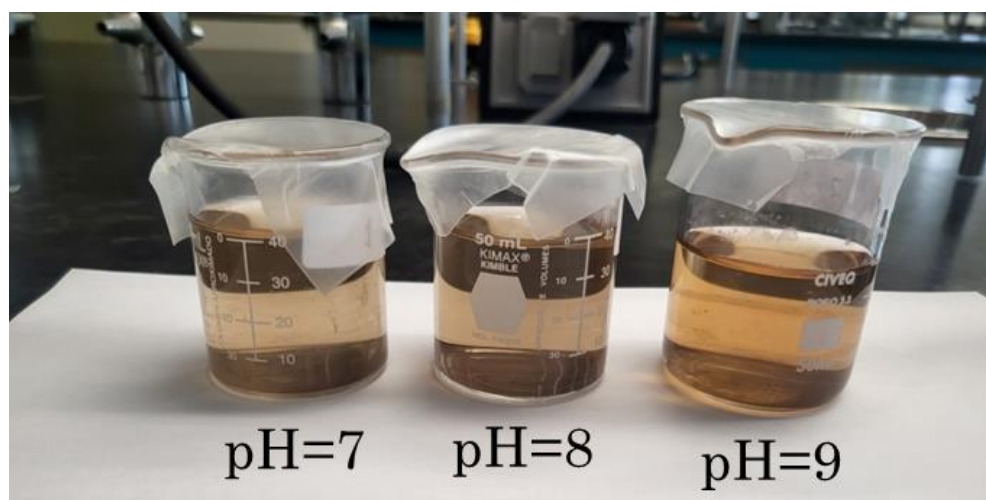


Imagen 3.14 Nanopartículas de plata a diferentes pH, con una concentración de 10mL de  $\text{AgNO}_3$ .

### 3.2.2. CARACTERIZACIÓN POR EL COLOR

Las disoluciones acuosas de la plata al entrar en contacto con el extracto vegetal de las hojas de Eucalipto a pH = 7, 8 y 9 se tornaron de una coloración amarillas.

Este color aparece a los pocos minutos de añadir el extracto de eucalipto y permanece sin cambios. El color resultante se considera un signo de la formación de nanopartículas de plata. La imagen de la imagen 3.15, muestra la coloración amarillo ámbar de las disoluciones a los diferentes pH, así como de la prueba del efecto Tyndall, un fenómeno físico que hace visibles las partículas coloidales en solución o gas cuando se dispersa la luz. La prueba fue realizada un día después de la síntesis, dado que este es un tiempo en el cual se pueden terminar de desarrollar las nanopartículas.

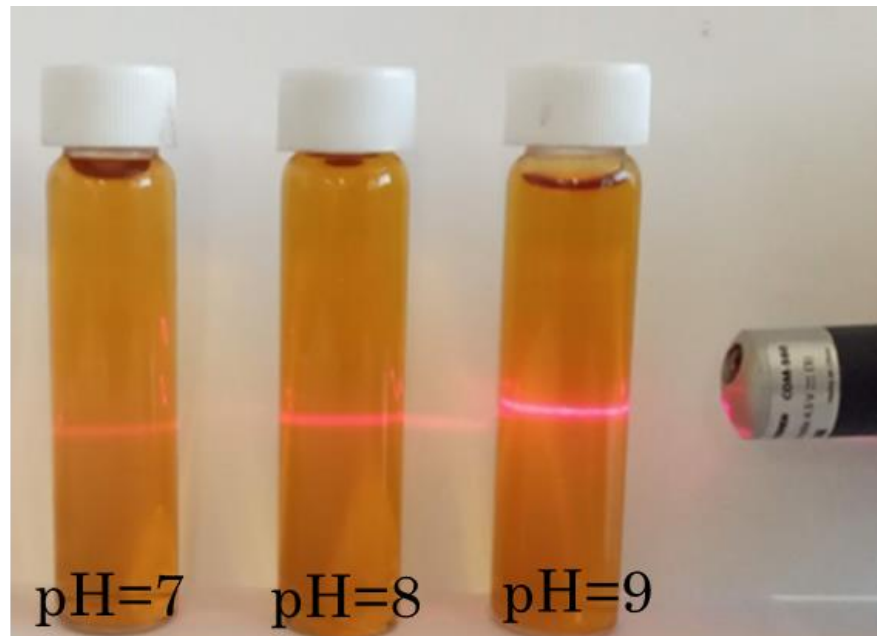


Imagen 3.15. Caracterización de efecto Tyndall con las muestras a diferentes pH. La prueba fue realizada 24hrs después de la síntesis

### 3.2.3. CARACTERIZACIÓN POR ESPECTROSCOPIA UV-VIS

La formación de las nanopartículas de plata a los diferentes pH fue confirmada por mediciones por espectrometría de UV-VIS de igual forma se obtuvo por medio del equipo *UV/VIS Spectrometer Lambda35*. En los espectros de absorción obtenidos se observan picos de absorción correspondientes al plasmón de resonancia, apareciendo entre 350 nm y 450 nm, tal como se reporta en otros procesos de síntesis de nanopartículas de plata (Frank *et al.*, 2010). Se aprecia en la imagen 3.16 que la forma de las bandas es de un solo hombro por lo que se puede deducir que la morfología de la nanopartícula es probablemente esférica en todos los casos (diferentes pH), por otra parte, se observa que las bandas de un solo pico son ligeramente anchas, evidencia que son polidispersas, es decir de diferentes tamaños. Siendo menos el efecto de polidispersidad para el caso de pH = 8 y 9 que son bandas menos anchas.

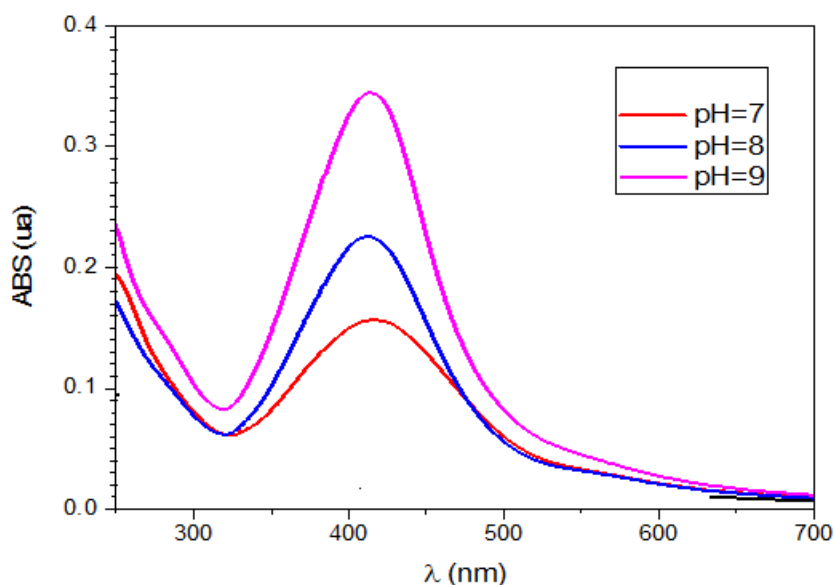


Imagen 3.16. Espectrometría UV-vis a diferentes pH, con las nanopartículas de eucalipto obtenidas

La posición de la banda de resonancia en el espectro nos proporciona información sobre su probable tamaño de la nanopartícula, si la banda se corre a la izquierda del gráfico, es decir a longitudes de onda pequeñas, nos indica que se tratan de nanopartículas más pequeñas, si la banda se corre a la derecha, es decir a longitudes de onda más grandes, se trata de nanopartículas de mayor tamaño. Así, se aprecia en la imagen 3.16 los espectros de las tres

muestras de nanopartículas de plata a pH diferentes 7, 8 y 9. Para el caso del espectro de absorbancia (plasmón de resonancia) de la muestra preparada a pH = 7, la banda es más ancha que las obtenidas para el caso de las preparadas a pH = 8 y 9, por lo que se puede decir que las nanopartículas son más polidispersas que para las preparadas a 8 y 9, las cuales su banda de plasmón es más angosta y por lo tanto son menos polidispersas.

Utilizando espectros del plasmón reportados en estudios relacionados en la preparación de nanopartículas de plata de diferentes tamaños fue posible determinar un valor estimado de su tamaño para las muestras a diferentes pH ((Majles, 2009, Ibarra, 2014).

La tabla 3 resume los resultados de UV-VIS, la longitud de onda correspondiente al pico de resonancia del plasmón, la forma estimada de las nanopartículas y el tamaño probable de las nanopartículas de plata según los datos informados en estudios anteriores.

Longitudes de onda correspondientes al pico de plasmón y tamaño estimado de nanopartículas de AgNP-plata obtenidas con extracto de eucalipto a diferentes pH.

<b>Extracto de eucalipto a diferentes pH.</b>	<b>Longitud de onda correspondiente al pico del plasmón. <math>\lambda</math>(nm)</b>	<b>Tamaño estimado (nm) de las nanopartículas.</b>	<b>Forma de la nanopartícula</b>
<b>pH = 7</b>	415	50	Esférica
<b>pH = 8</b>	410	30	Esférica
<b>pH = 9</b>	403	20	Esférica

Tabla 3 Tabla de los resultados recabados a diferentes pH con extracto de eucalipto a una concentración de 10mL de AgNO<sub>3</sub>.

De la tabla 3 se observa que las nanopartículas preparadas a pH = 8 por la posición de la banda del plasmón que aparece el máximo a 410 nm, son probablemente más pequeñas que las que se prepararon a pH=8 y 9.

### 3.2.4. CARACTERIZACIÓN POR MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA

Finalmente, en esta prueba se podrán observar la forma que adquirieron las nanopartículas, así como el tamaño que obtuvieron la mayoría de estas.

En la imagen 3.17 se observan partículas distribuidas en la superficie de la lámina de silicio, se observan agregados semiesféricos de nanopartículas y zonas en donde se aprecia mayor dispersión. Los agregados semiesféricos están formados por nanopartículas de morfología esférica corroborando la información obtenida de los espectros de UV-vis.

La morfología de las nanopartículas de plata a pH =8 preparadas con el extracto de Eucalipto como agente reductor fue confirmada a través de Microscopía de Fuerza Atómica MFA en el equipo JEOL JSPM-5200. Así como también su distribución y tamaño de los agregados formados. Se realizaron diferentes escaneos de la muestra de modo “shaded” a distancias diferentes. (5.00 x 5.00 x 155.4 nm), (2.00 x 2.00 x 136.4 nm), (1.01 x 1.01 x 65.1 nm) y (250 x 250 x 43.3 nm).

En la imagen 3.17 de igual forma se aprecia que las imágenes fueron obtenidas de diferentes escaneos a distancias diferentes distancias.

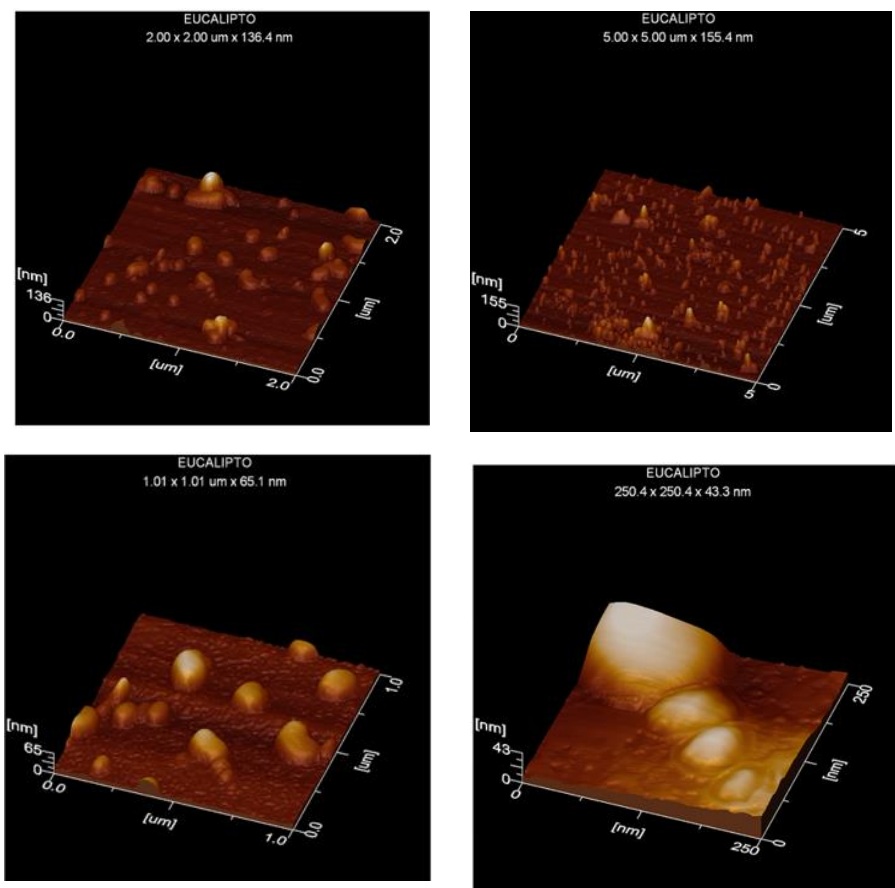


Imagen 3.17. Caracterización por microscopia de fuerza atómica a diferentes distancias de las nanopartículas de eucalypto

De igual manera se tomó una muestra más cerca para poder visualizar mejor manera el tamaño y morfología de las nanopartículas, por lo que para obtener una información más detallada acerca de las nanopartículas, se tomó una muestra más certera la cual nos permitirá observar el tamaño estimado de las mismas. Al tener demasiadas nanopartículas en nuestra sustancia solo se tomarán dos muestras y se tomarán 2 nanopartículas de referencia para saber un el tamaño estimado.

Se realizaron mediciones de diferentes puntos de la oblea de silicio en los cuales fue posible realizar de algunos agregados con tamaños nanométricos más pequeños, De las mediciones efectuadas, se encontró nanopartículas de plata con tamaños entre 11nm y 4 nm de largo.

En la imagen 3.18 se puede observar como las nanopartículas son de forma esférica.

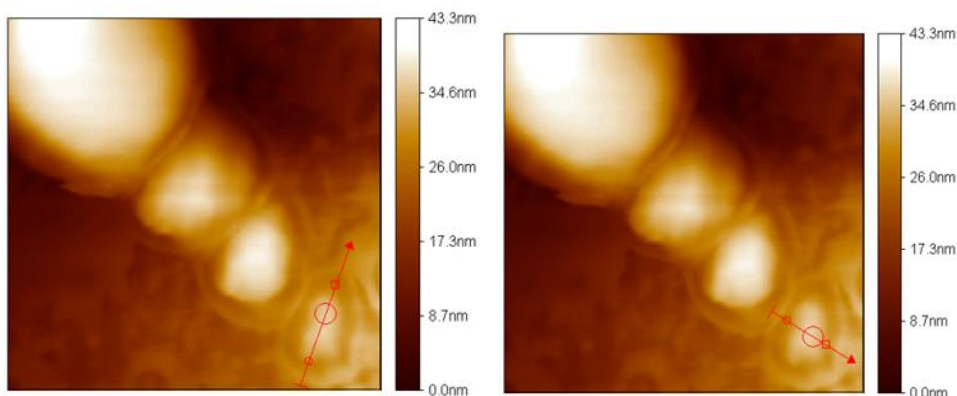


Imagen 3.18. Caracterización AFM para observar el tamaño y el rango en el que se encuentran

En la imagen 3.18 se observan las nanopartículas distribuidas en la superficie de la lámina de silicio, se aprecian agregados de diferentes tamaños semiesféricos de nanopartículas y zonas en donde se aprecia mayor dispersión. Los agregados semiesféricos muy probablemente están formados por nanopartículas de morfología esférica según la información obtenida de los espectros de UV-vis.

El estudio de polidispersidad revela que las nanopartículas de plata preparadas con dicha disolución muestran alta dispersión, en los puntos de mayor dispersión se observó la presencia de nanopartículas semiesféricas, de tamaño 101nm de largo y 67.1 nm de ancho. Imagen 3.18.

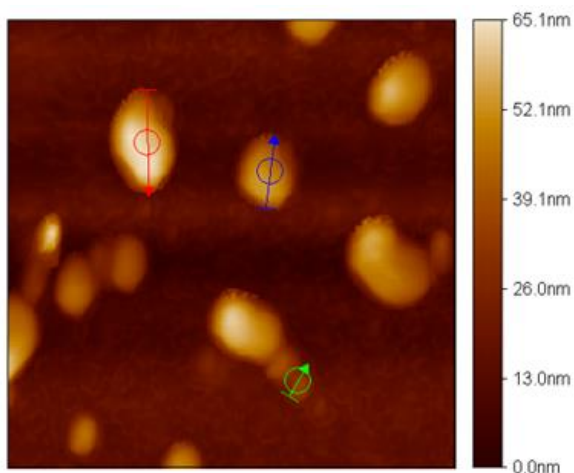


Imagen 3.19 Agregados nanométricos de menor tamaño

Una vez que se finalizaron las pruebas se tomaron las que nos dieron mejores resultados, en nuestro caso las nanopartículas que dieron mejores resultados fueron las nanopartículas con pH=8, estas fueron elegidas ya que la morfología las nanopartículas fueron las más adecuadas para su aplicación en electrónica, por lo que se experimentara con la concentración del nitrato de plata, para ver si esta tiene buenos resultados en el área de electrónica.

### 3.3. CARACTERIZACION EN VNA

Como ya se mencionó en el apartado anterior se seleccionaron las nanopartículas de pH=8 con las cuales se experimentó con su concentración de nitrato de plata, las concentraciones con las que se manipulo la sustancia fueron de 10mL y 15mL para ver cómo se modificaban las propiedades dieléctricas y si realmente se tenía un cambio significativo.

La caracterización de las propiedades dieléctricas en el rango de microondas de las nanopartículas para evaluar el funcionamiento de estas en el área de microondas se llevó a cabo en el laboratorio de Caracterización de Sistemas basado en Microondas de la FCE de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Las propiedades dieléctricas de una materia están descritas por su permitividad relativa descrita por la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon''$$

Donde  $\varepsilon'$  es la parte real y denota el valor de permitividad del material bajo inspección y  $\varepsilon''$  es la parte imaginaria y representa el factor de pérdidas del material, aunque en frecuencias de microonda se emplea más las pérdidas tangenciales que se obtiene mediante el cociente de la parte imaginaria entre la real de la permitividad.

Las muestras que se obtuvieron se midieron utilizando la técnica de sonda coaxial de extremo abierto que ya está desarrollada en el laboratorio anteriormente mencionado (Quechol, R 2020). Esta técnica fue llevada a cabo usando un analizador de vectorial de redes (VNA) y la sonda coaxial de extremo abierto (kit de sonda dieléctrica N1501A, Keysight, CA, EE.). En la imagen 3.20a se puede observar cómo se llevó a cabo la configuración de esta técnica, donde el rango de frecuencia es de 0.5- 18 GHz a temperatura ambiente, de igual forma para la implementación de la técnica se usaron dos calibraciones, la primera es para retirar el

efecto del cable y se usó la calibración SOL por sus siglas en inglés, que usan estándares en corto y circuito abierto, así como una carga de 50 Ohms. Posteriormente para llevar el plano de medición al final de sonda se usó aire (circuito abierto), un corto y agua destilada, como referencia dieléctrica.

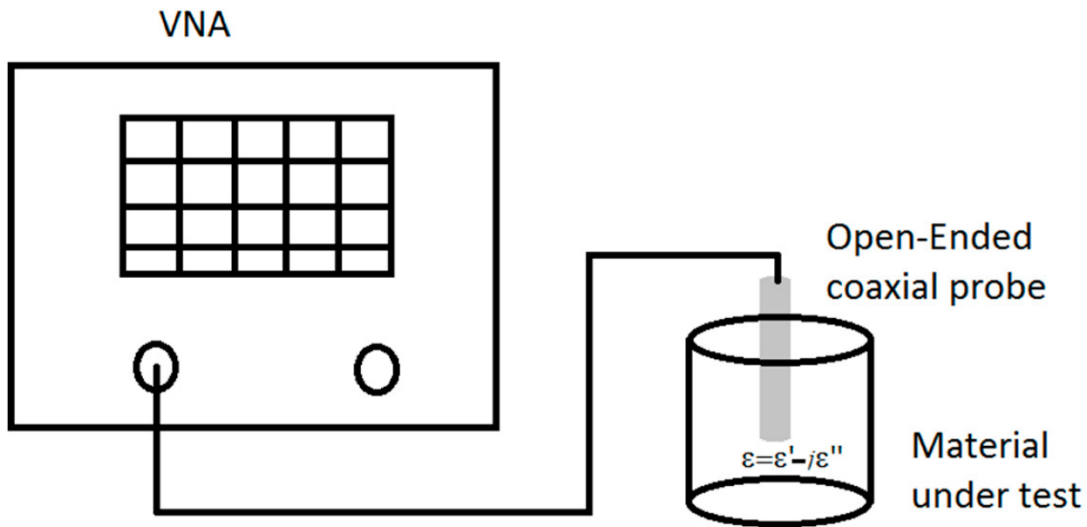


Imagen 2.20a. Configuración de la técnica de sonda coaxial abierta para medidas dieléctricas en la solución de Nps. (Ambrosio, R et al. 2018)

El esquema de medición para obtener las propiedades dieléctricas se muestra en la imagen 3.20b, donde se aprecia la interacción de la sonda coaxial con la materia bajo inspección, en este caso una muestra con nanopartículas de plata.

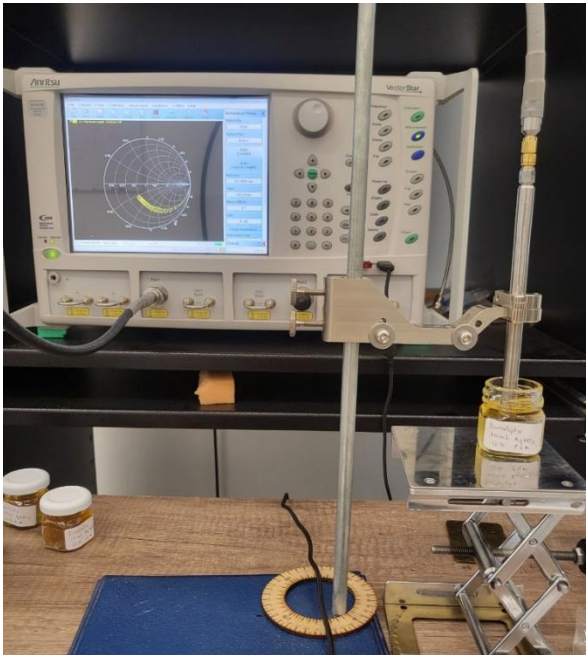


Imagen 3.20b. Medición de las muestras de NPs de Ag por medio de "sonda coaxial de extremo abierto"

### 3.3.1. NANOPARTÍCULAS CON EXTRACTO DE MORINGA

Para la caracterización electrónica se tomaron en cuenta 3 parámetros importantes los cuales son constante dieléctrica, denotada por  $\epsilon$ , de igual forma se tomó en cuenta el factor de pérdida ( $\epsilon''$ ) y la tangente de pérdida (TP), estos tres parámetros en función de la frecuencia, los cuales nos servirán a analizar las muestras dándonos información de sus propiedades dieléctricas, las cuales nos dirán si las muestras obtenidas son una alternativa de material, para su aplicación y desarrollo en el área de microondas. Las imágenes serán analizadas según los parámetros y extractos, comenzando por la Moringa y su permitividad.

Como podemos observar en la imagen 3.21a, tenemos la variación dieléctrica con respecto a la frecuencia, en la cual se puede decir que la variación dieléctrica disminuye cuando la frecuencia aumenta. De igual forma podemos observar que el aumento de concentración del extracto no es muy diferenciable, sin embargo, se logra apreciar una pequeña diferencia, tomando en cuenta la gráfica podemos notar que esta puede ser utilizada en rangos menores a 1, pues aquí es donde la pérdida es menor. Esto se puede observar de una mejor manera en la figura 3.21b donde se hizo un acercamiento en este rango, tomando como referencia 1 punto al azar para saber la variación dieléctrica que esta posee.

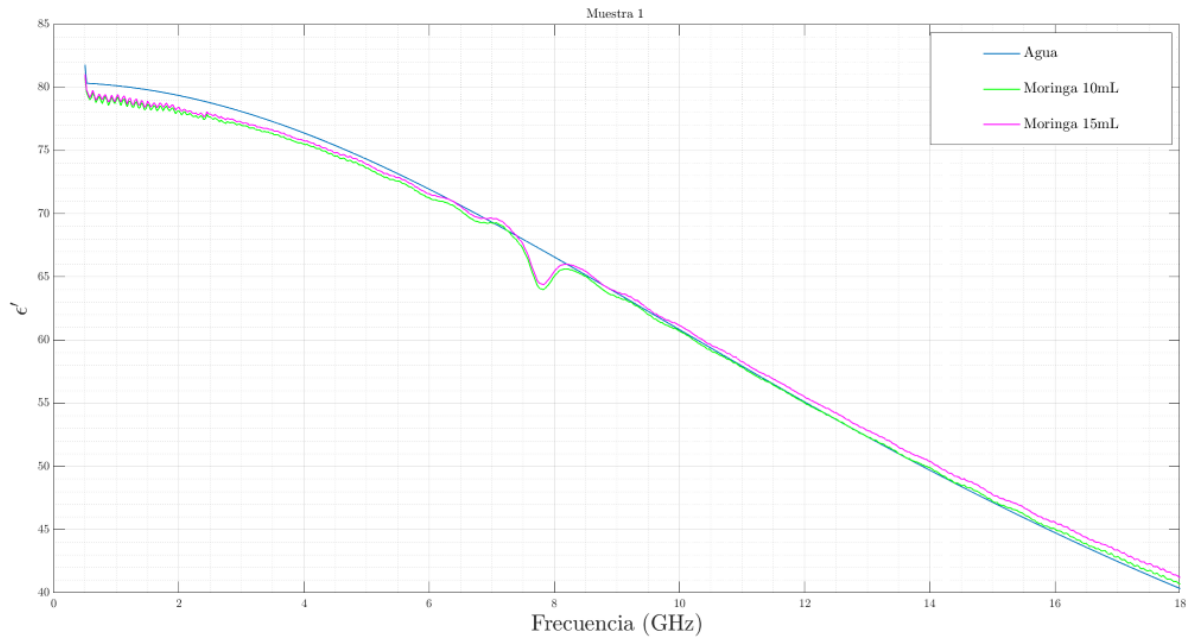


Imagen 3.21a. Variación dieléctrica del extracto de Moringa

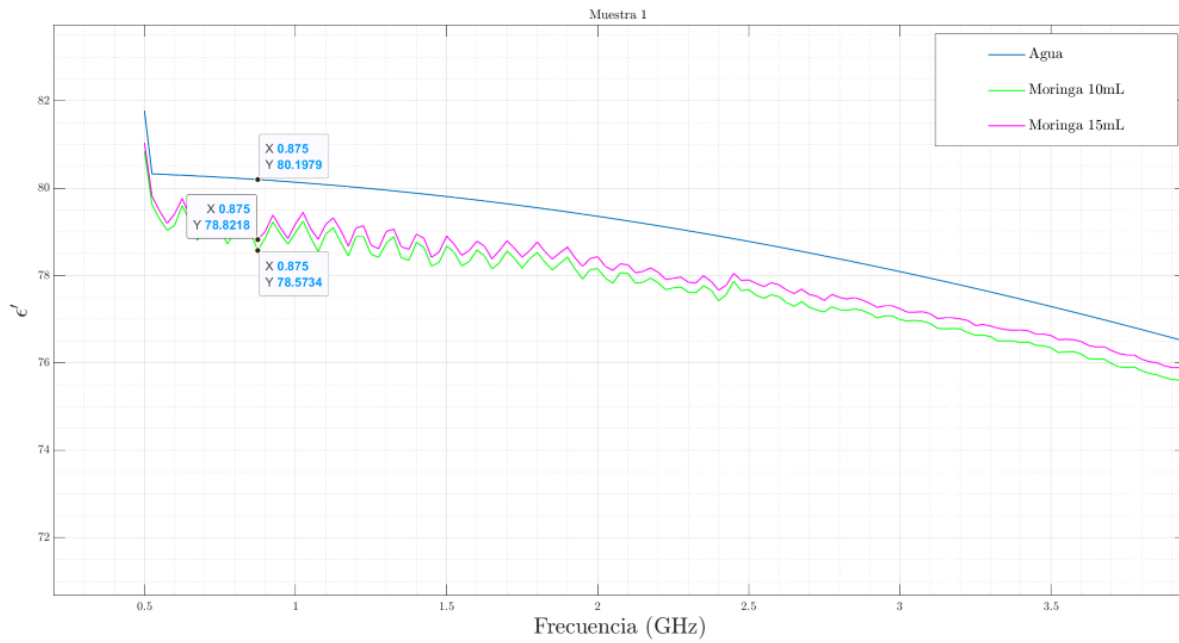


Imagen 3.21b Acercamiento del extracto de Moringa de la variación dieléctrica

A continuación, en la imagen 3.22a se muestran los resultados del factor de pérdida denotado por  $\epsilon''$ , este fue tomado en referencia al agua. Como se puede observar en la imagen, se toman dos concentraciones diferentes; por un lado, tenemos Moringa a 10mL (línea verde) y Moringa a 15mL (línea lila), para estas muestras el factor de pérdida no es tan notorio, sin embargo, se logra distinguir.

De igual forma podemos observar, las pérdidas aumentan a medida que la frecuencia alcanza su valor mínimo a unos 18GHz.

En la imagen 3.22b hacemos un zoom considerable donde podemos notar dos cosas. La primera que en el rango de 1- 1.3GHz el factor de pérdida es parecido al del agua. Por lo que se tomaron dos puntos al azar menores a uno, ya que este es un factor importante ya que en este punto las pérdidas son menores.

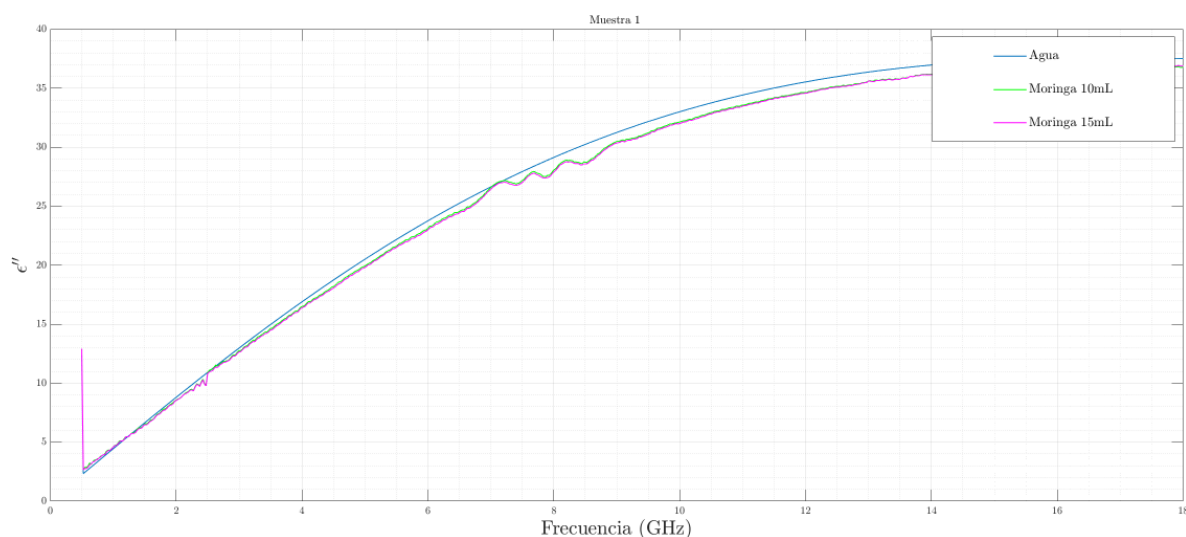


Imagen 3.22a. Factor de pérdida de NPs de plata con extracto de Moringa a diferente concentración

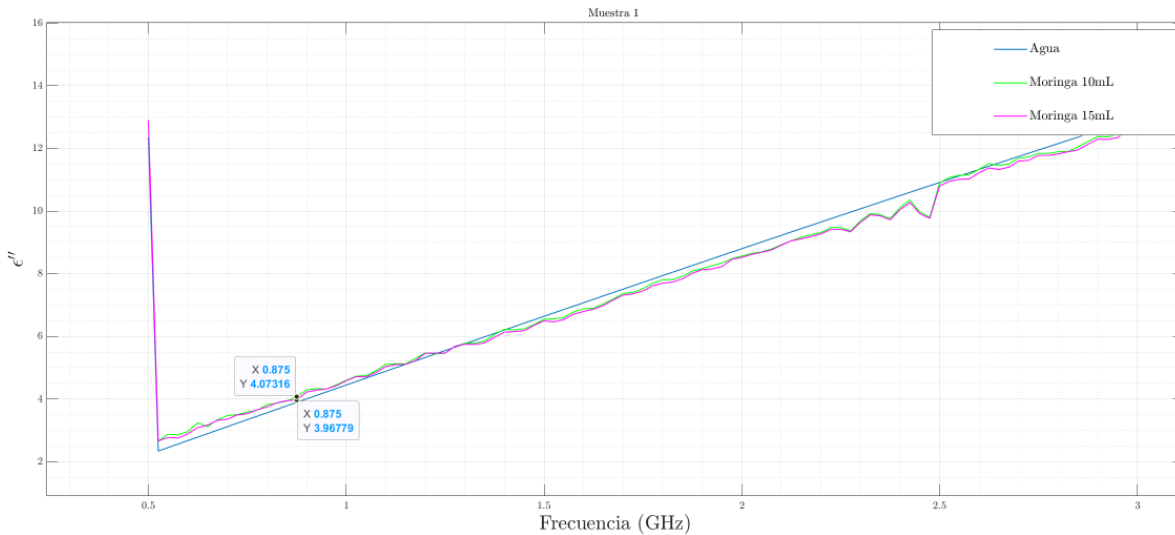


Imagen 3.22b. Acercamiento del factor de pérdida de NPs de plata con extracto de Moringa

Posteriormente, se tiene la imagen 3.23a y 3.23b donde se muestran la gráfica de la tangente de pérdida (TP) con los valores obtenidos de la parte real e imaginaria de la permitividad compleja, esta gráfica nos muestra que realmente las nanopartículas por sí solas no pueden utilizarse en dispositivos de antenas en el rango de GHz, sin embargo, habrá que ver cómo reacciona con un material extra que nos ayude a su solidificación y cómo es que esta se comporta.

En la imagen 3.23a se observan de igual forma ambas muestras a diferentes concentraciones en referencia con el agua, mientras que en la segunda imagen 3.23b podemos observar un zoom en un rango más pequeño, en el cual de 0.5 a 1 GHz podemos notar que las NPs de plata con extracto de moringa se pueden aprovechar por la alta permitividad, ya que se encuentran en un orden de 80 de igual forma por las bajas pérdidas que presentan, pues son menores a 0.1

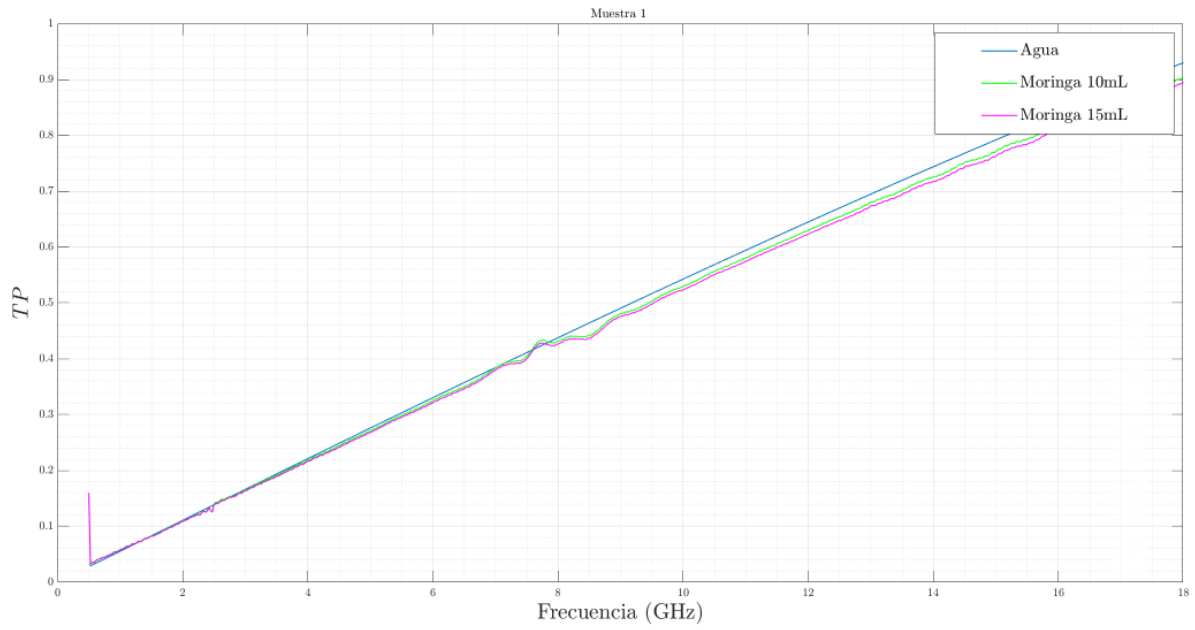


Imagen 3.23a. Tangente de pérdida para NPs de plata con extracto de Moringa a diferente concentración

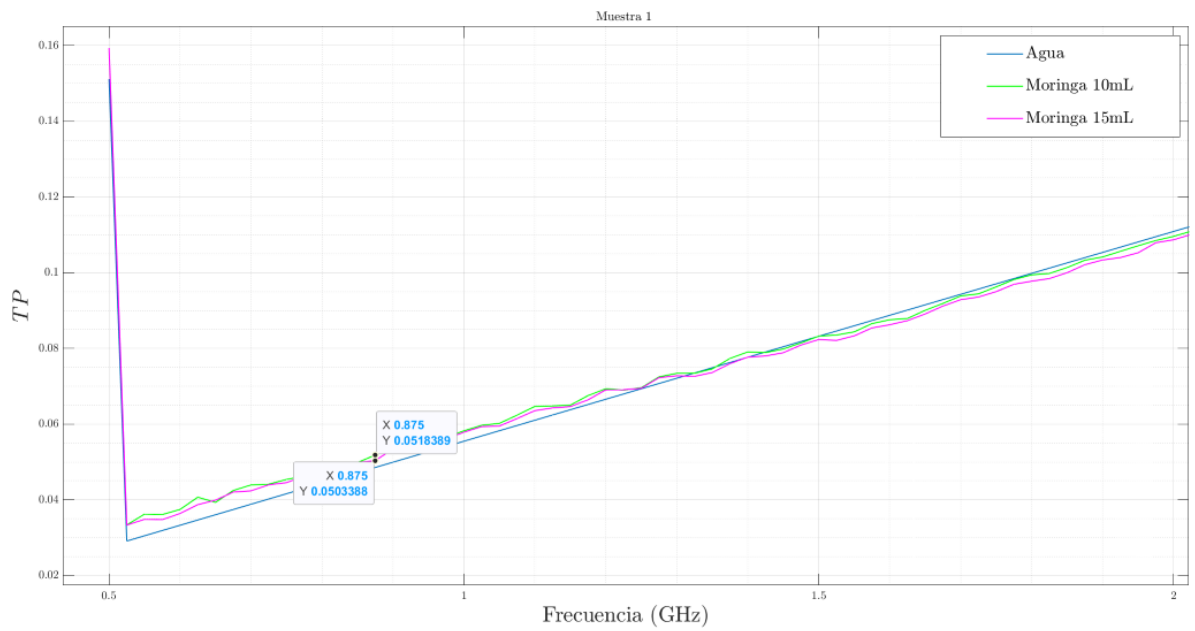


Imagen 3.23b. Acercamiento de la tangente de pérdida para NPs de plata con extracto de Moringa

### 3.3.2. NANOPARTICULAS CON EXTRACTO DE EUCALIPTO

Así mismo, se graficó la constante dieléctrica ( $\epsilon'$ ) del eucalipto como se puede observar en la imagen 3.24a, donde se puede aceptar que al igual que la moringa la diferencia entre concentración del eucalipto no afecta de manera considerable, sin embargo se logra ver una diferencia en los puntos menores a 1 como se observa en la imagen 3.24b, este rango se puede observar una constante dieléctrica alta, por lo que este puede ser un rango de interés para utilizarse en tecnologías de este rango de frecuencias.

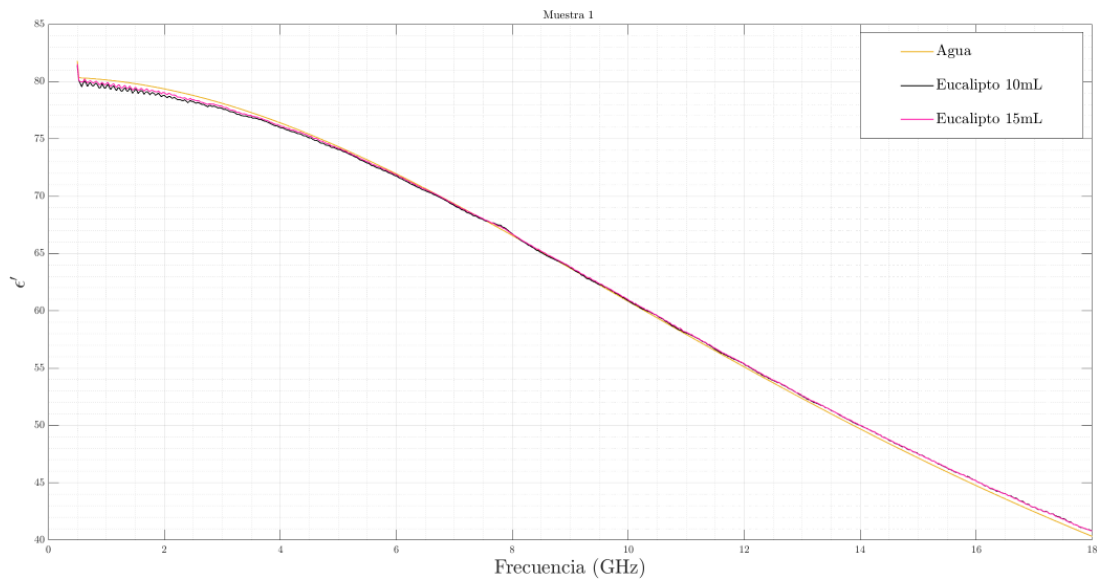


Imagen 3.24a. Constante dieléctrica con extracto de Eucalipto

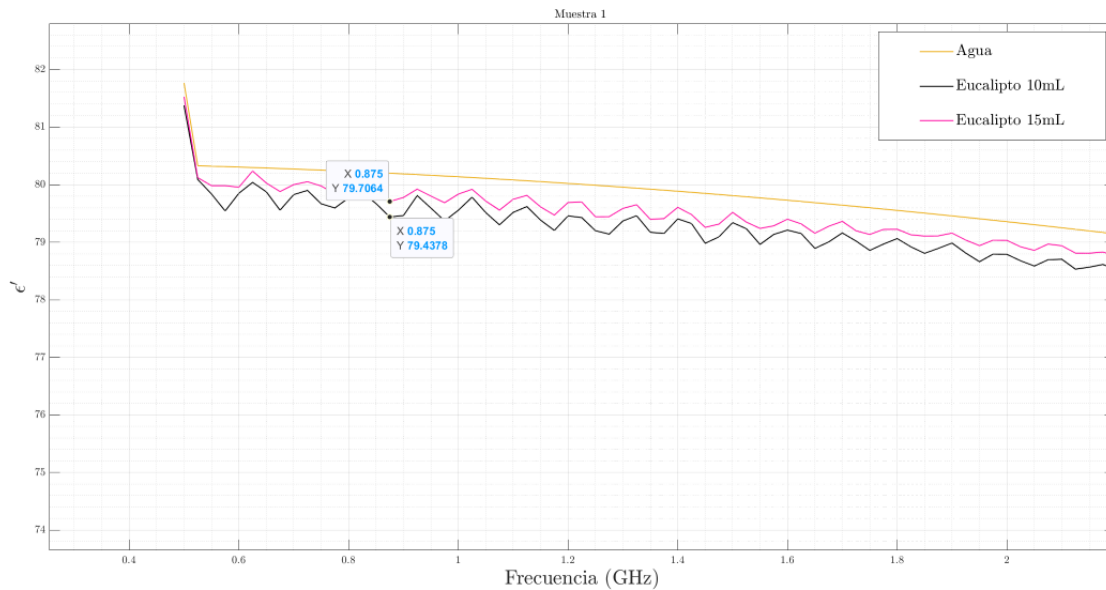


Imagen 3.24b Acercamiento de la constante dieléctrica a diferente concentración del extracto de Eucalipto

De igual forma se realizó un análisis del factor de pérdida a las diferentes concentraciones, las cuales también fueron de 10 mL y 15mL respectivamente como se puede observar en la imagen 3.25a y 3.25b, en la imagen 3.25a no se logra apreciar de manera satisfactoria el factor de pérdida  $\epsilon''$ , ya que las tres son muy cernas, por lo que se realizó un acercamiento, como se puede observar en la imagen 3.25b donde se logra apreciar la diferencia entre las dos muestras a diferentes concentraciones en comparación con el agua. Así mismo podemos observar, las pérdidas aumentan a medida que la frecuencia alcanza su valor mínimo a unos 18GHz.

De igual forma se puede observar cómo en un rango de 1 a 1.5 GHz el factor de pérdida es similar al del agua en ciertos puntos, por lo que se tomaron de referencia los puntos tomados con anterioridad en el Extracto de Moringa para poder observar cómo se comporta este factor de pérdida. En la imagen se observa como en rangos menores a 1 el factor de pérdida es favorable, por lo que podemos decir que en rango de 0 a 1 GHz estas NPs pueden ser aprovechadas.

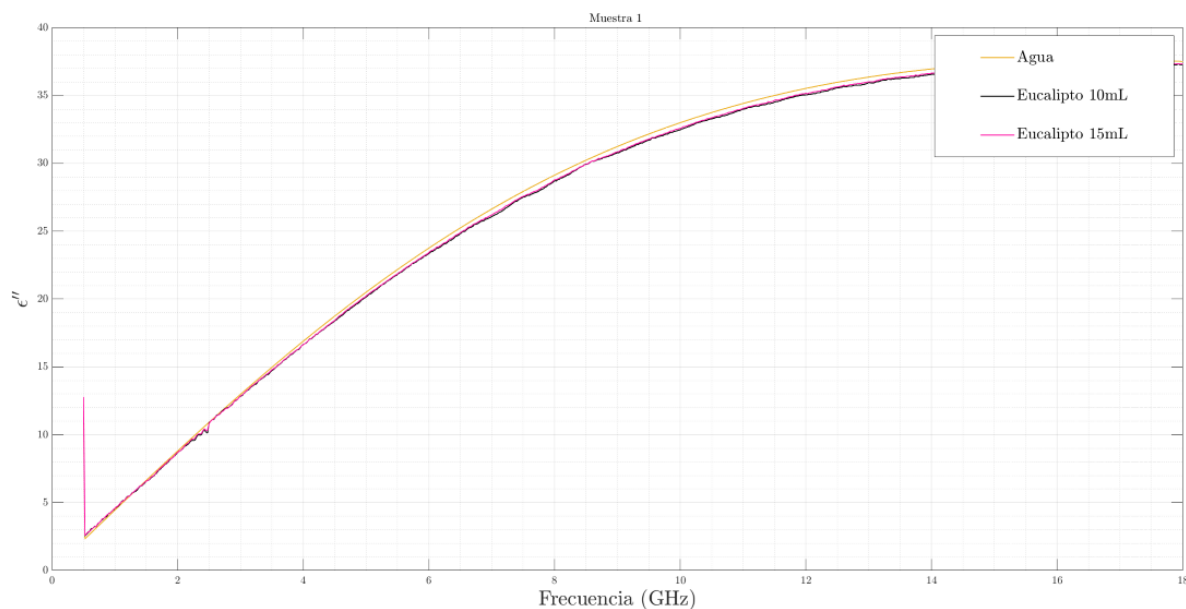


Imagen 3.25a. Factor de pérdida de NPs de plata con extracto de Eucalipto a diferente concentración

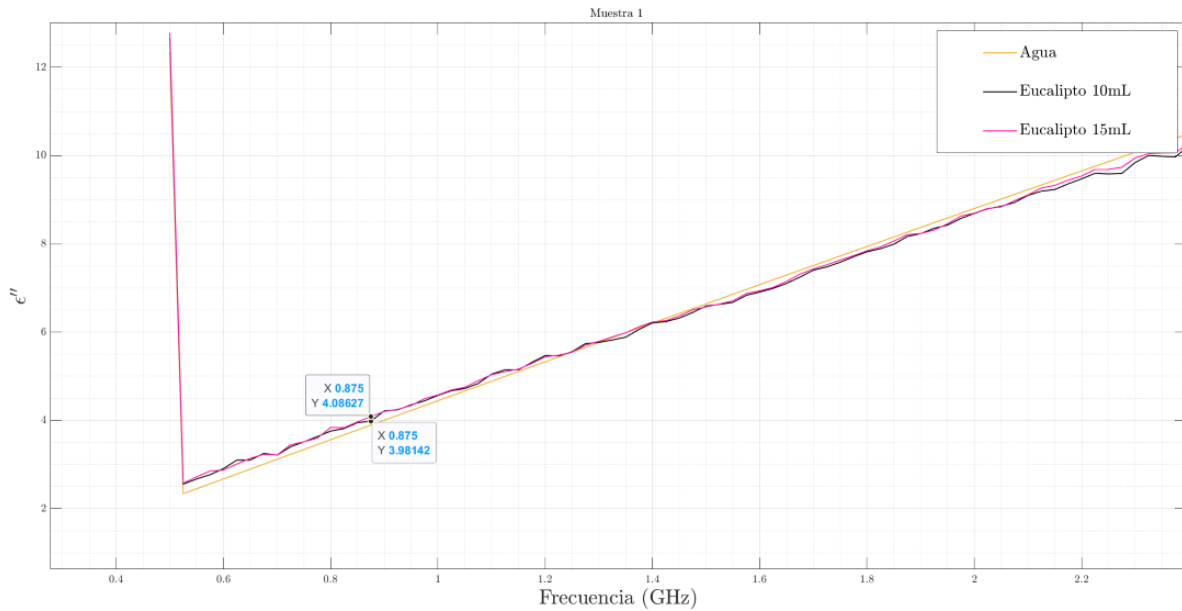


Imagen.3.25b. Acercamiento del factor de pérdida de NPs de plata con extracto de Eucalipto a diferente concentración

Así mismo tenemos la imagen 3.26a y 3.26b donde se muestran la gráfica de la tangente de pérdida (TP) con los valores obtenidos de la parte real e imaginaria de la permitividad compleja, esta gráfica nos muestra que realmente las nanopartículas por sí solas no pueden utilizarse en dispositivos de antenas en el rango de GHz, sin embargo, habrá que ver cómo reaccionan con un material extra que nos ayude a su solidificación y cómo es que esta se comporta al igual que en la Moringa.

En la imagen 3.26a se observan de igual forma ambas muestras a diferentes concentraciones en referencia con el agua, mientras que en la segunda imagen podemos observar un zoom en un rango más pequeño, en el cual de 0.5 a 1 GHz podemos notar que las NPs de plata con extracto de Eucalipto igual se pueden aprovechar por la alta permitividad, ya que se encuentran en un orden de 80 de igual forma por las bajas pérdidas que presentan, pues son menores a 0.1, en este caso el eucalipto a diferentes concentraciones es más similar que en el caso de la Moringa.

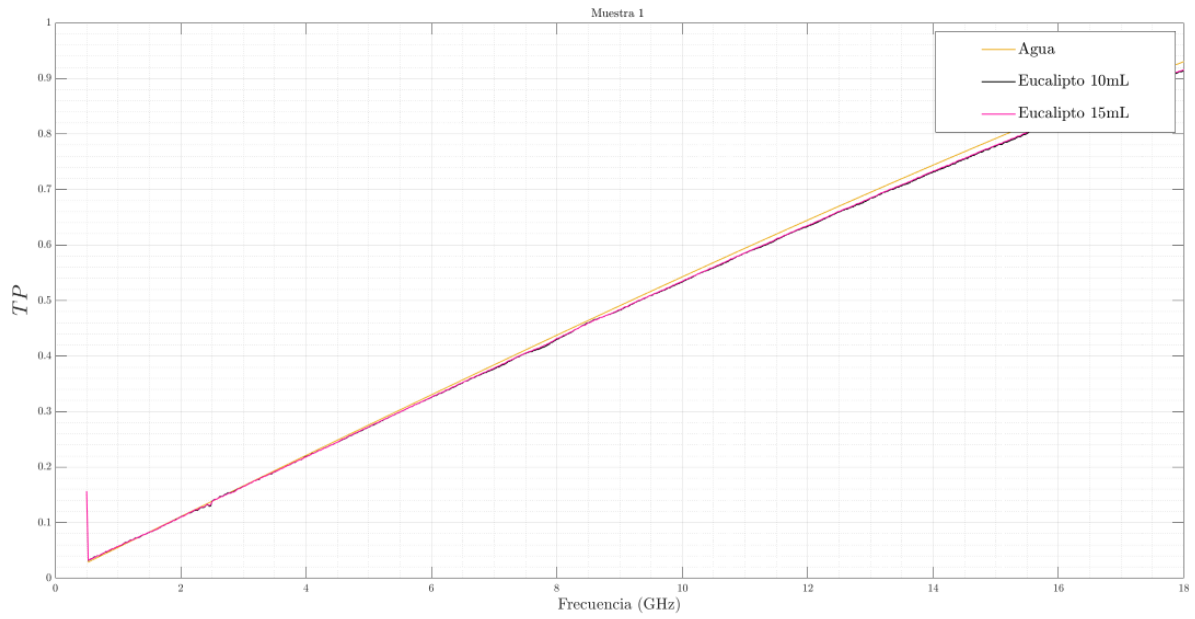


Imagen 3.26a. Tangente de pérdida para NPs de plata con extracto de Eucalipto a diferente concentración

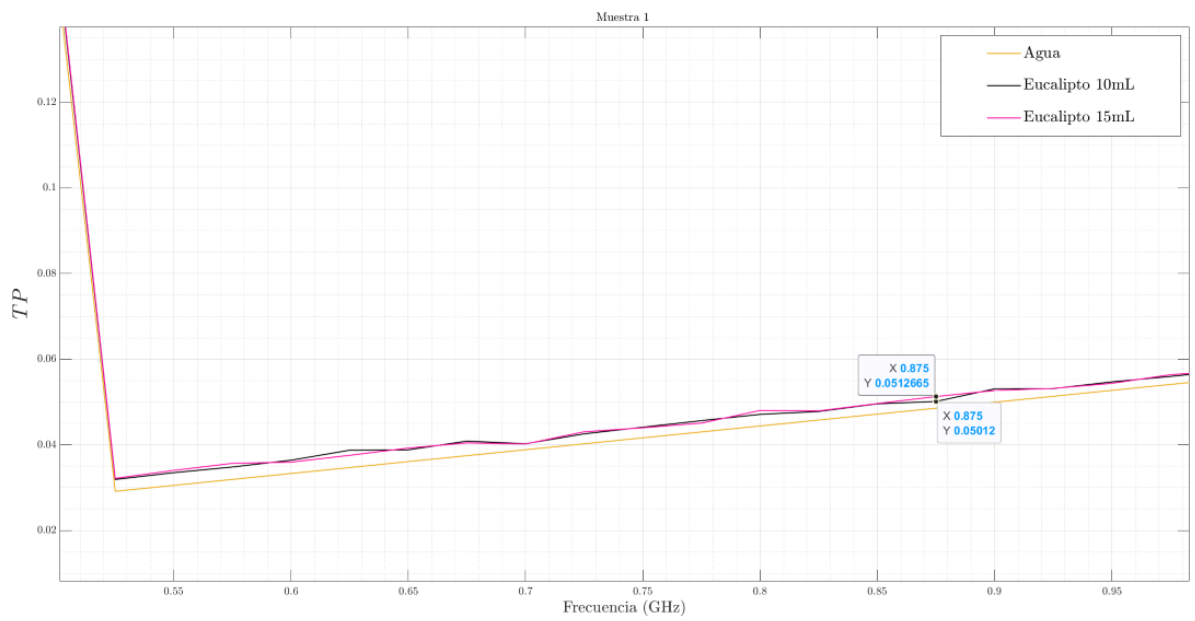


Imagen 3.26b. Acercamiento de la tangente de pérdida para NPs de plata con extracto de Eucalipto a diferente concentración

### 3.3.3. COMPARACION DE AMBOS EXTRACTOS

Por último, se comparó la constante dieléctrica de ambos extractos para poder visualizar de una mejor manera los cambios que se dan entre ambos, como se puede observar en la gráfica 3.27a, se pudo ver de una forma muy discreta la diferencia entre extractos y concentraciones, sin embargo al realizar un acercamiento como en la imagen 3.27b logramos ver una diferencia no muy notoria, sin embargo es diferencial por lo que podemos decir que en un rango de 0.5 a 1 GHz la diferencia que existe entre ellos es variable por décimas. Por lo que podemos decir que ambos extractos pueden ser utilizados en componentes que se deriven en este rango de frecuencias.

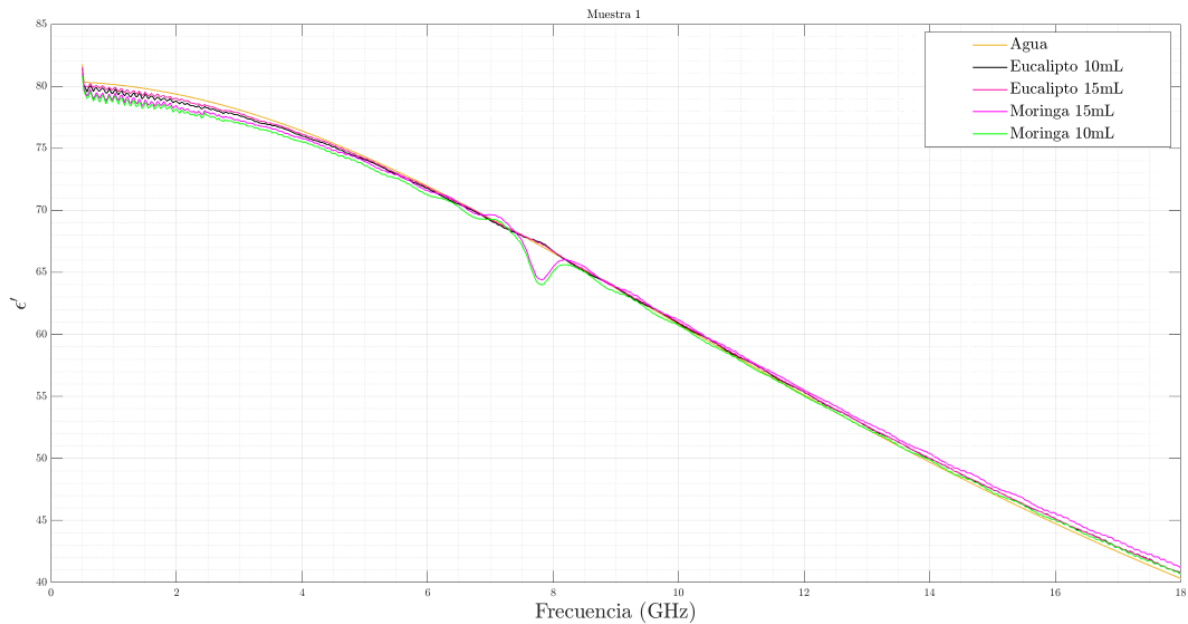


Imagen 3.27a. Comparación de la constante dieléctrica de ambos extractos

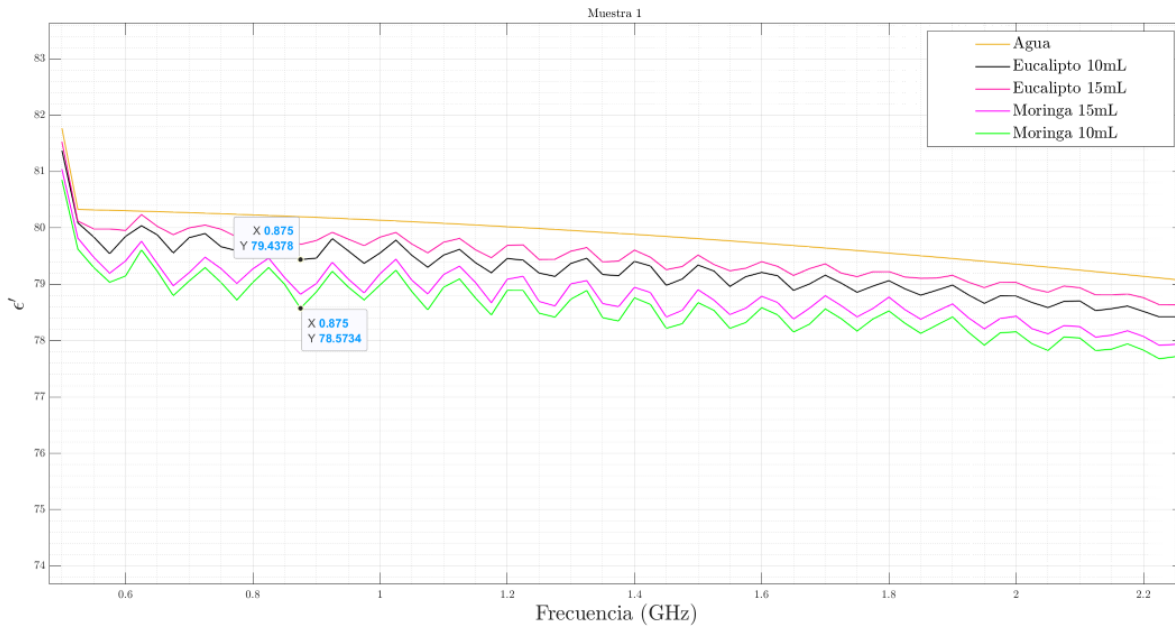


Imagen 3.27b. Acercamiento de la comparación de la contante dieléctrica de ambos extractos

Posteriormente se realizó la comparación del factor de pérdida  $\epsilon''$  y la pérdida tangencial (TP) de las 4 muestras en referencia al agua. Para poder observar de manera más precisa las diferencias y comportamientos de las muestras a diferentes concentraciones y con extractos diferentes.

En primera estancia tenemos la imagen 3.28a y 3.28b, ya que se tomó en cuenta cómo se comportan las muestras a 18 GHz y como es que el factor de pérdida es afectado según el extracto y la concentración. En la imagen 3.3.3.1.a no se logra apreciar de forma satisfactoria las diferencias entre sustancias, sin embargo, podemos decir que para las 4 mediciones los factores de pérdida  $\epsilon''$  aumentan a medida que la frecuencia alcanza su valor mínimo de 18GHz.

Posteriormente se hizo el respectivo aumento donde se puntualizaron los dos puntos de referencia, donde se puede observar como el Eucalipto tiene un menor factor de pérdida a comparación que el de la moringa, sin embargo, este es mínimo, por lo que podemos concluir que ambos extractos se comportan de manera similar y que ambas son satisfactorias en el mismo rango de frecuencias, el cual es de 0.5 a 1 GHz.

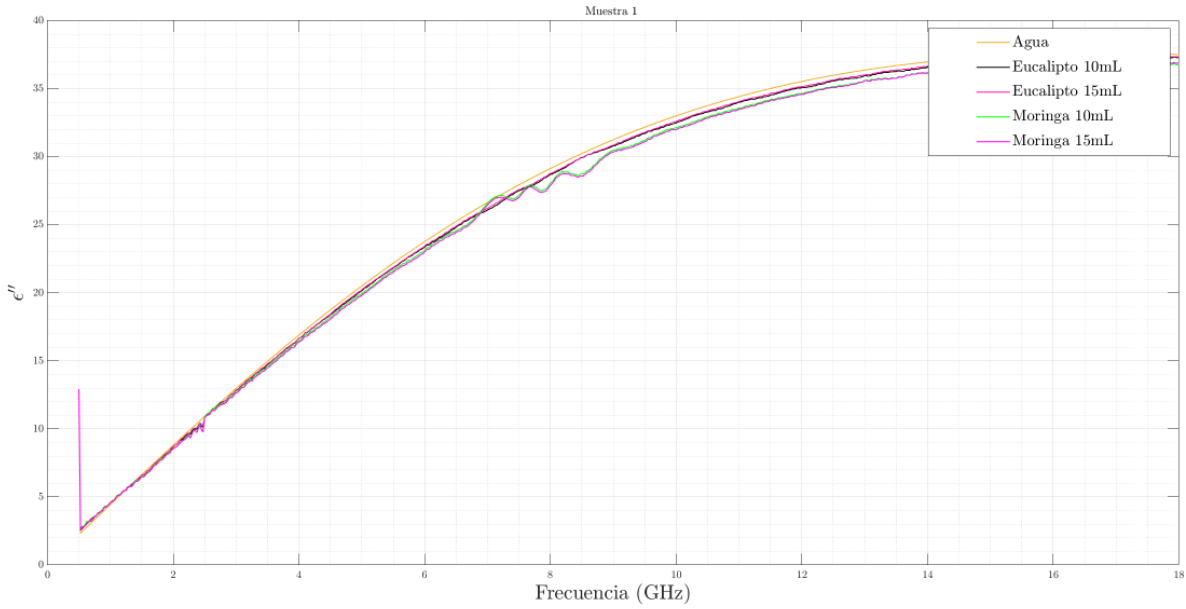


Imagen 3.28a. Comparación del factor de pérdida de Eucalipto y Moringa en referencia con el agua

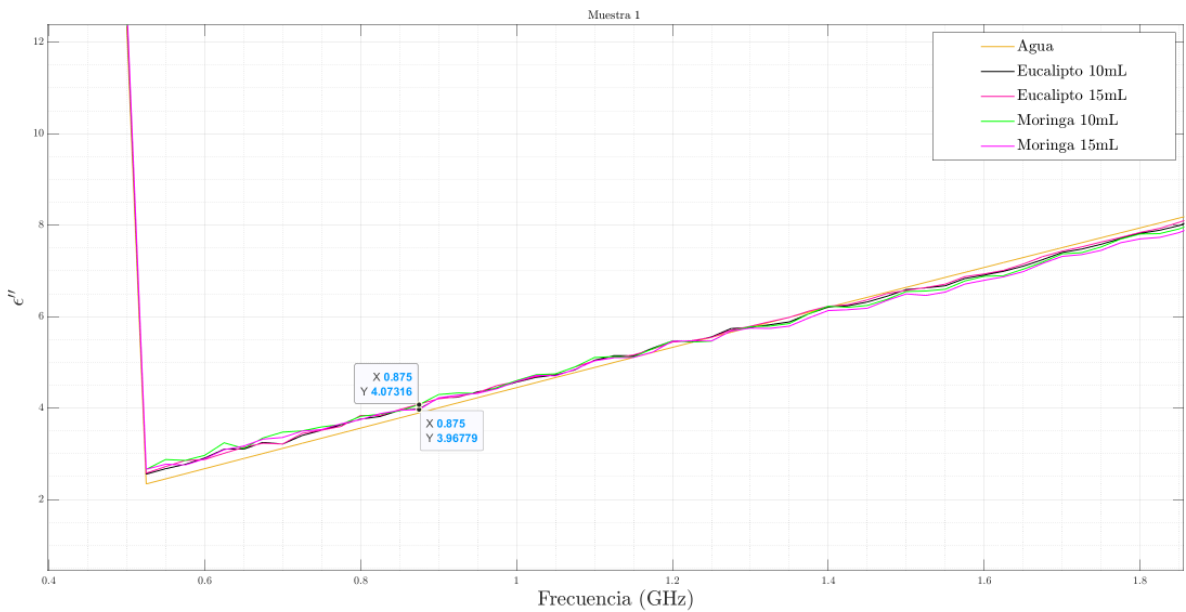


Imagen 3.28b. Acercamiento del factor de pérdida de Eucalipto y Moringa en referencia con el agua

Para concluir tenemos la imagen 3.29a y 3.29b donde se muestran la gráfica de la tangente de pérdida (TP) con los valores obtenidos de la parte real e imaginaria de la permitividad compleja, como se puede observar en la imagen, las pérdidas aumentan para todas las muestras a medida que la frecuencia alcanza su valor mínimo a 18GHz. En el caso de las nanopartículas de Moringa podemos observar cómo existe un mayor factor de pérdida que

en el caso del eucalipto donde se puede observar como el factor de pérdida es similar al del agua.

En la imagen 3.29b se puede tener una mejor visualización de la tangente de pérdida de todas las muestras, donde podemos notar que es casi mínima la diferencia entre extractos y concentraciones ya que son diferenciadas por décimas. También podemos concluir que todas las muestras son aptas para ser utilizadas en rangos de 0.5 a 1 GHz por lo que se puede concluir que podemos usar las NPs de plata con extracto de Eucalipto y Moringa en un orden de 80, esto debido a las bajas pérdidas que presentan, pues son menores a 0.1, en este caso el eucalipto a diferentes concentraciones es más similar al agua que en el caso de la Moringa.

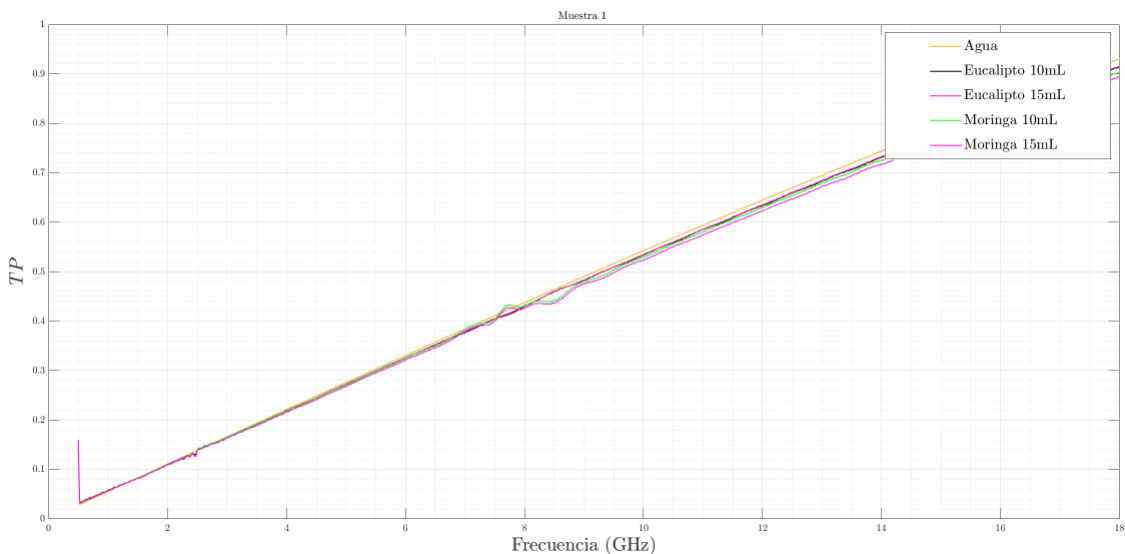


Imagen 3.29a Comparación de la Tangente de Pérdida (TP) de Eucalipto y Moringa

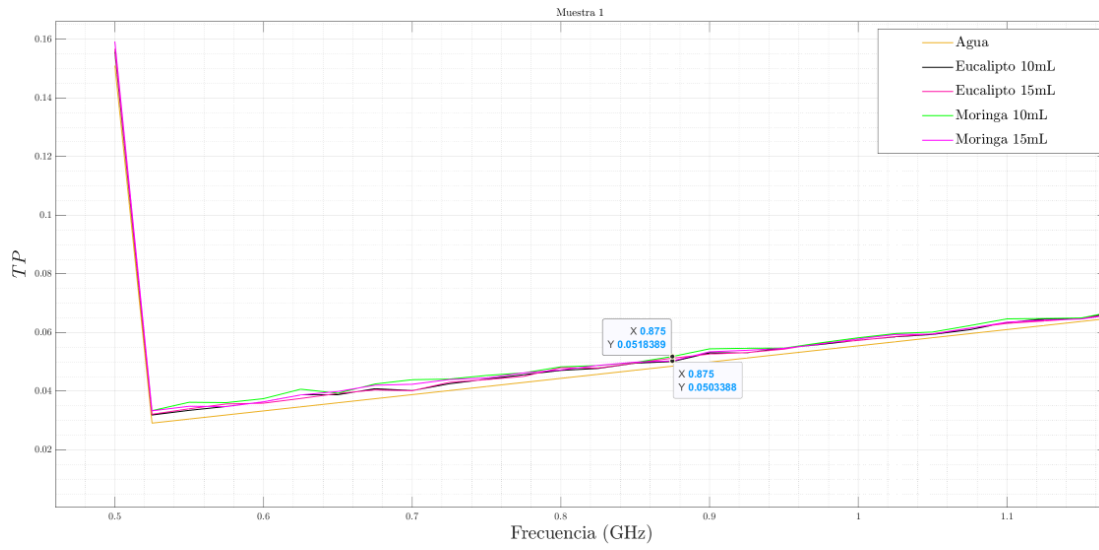


Imagen 3.29b. Acercamiento de la Tangente de Pérdida (TP) de Eucalipto y Moringa

# CONCLUSIONES

---

Las nanopartículas de plata por medio de síntesis fueron favorables en la caracterización química, dado que el nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) al reaccionar con los extractos de Moringa oleífera y Eucalipto, se comportaron de una forma satisfactoria, pues las concentraciones de extracto que se manejaron no permitieron que las nanopartículas fabricadas, crecieran demasiado, provocando su precipitación. Por lo que los objetivos planteados en la caracterización química fueron satisfactorios, ya que al obtener las nanopartículas de forma líquida y coloidal nos ayudó a que estas tuvieran una mejor manipulación de los parámetros como el pH, la temperatura y concentración de las muestras obtenidas.

La síntesis realizada a partir de extractos naturales es una forma muy sustentable y económica de obtener las nanopartículas, también el tiempo de obtención de las nanopartículas de plata fue muy rápida, pues las muestras se obtenían en 1 o 2 días, ya que se deban bajo observación para garantizar que las nanopartículas no crecieran más de lo necesario. Por lo que se puede concluir que los grupos fenólicos y flavonoles que contienen las platas ayudan a que el método de reducción química sea un éxito, cuidando claro otros parámetros.

Los análisis de espectroscopía UV-vis, FAM y características como el cambio de color y efecto Tyndall me ayudaron a tener un mejor análisis de la morfología de las nanopartículas de plata obtenidas, ya que me dieron información como la absorbancia que estas adquirían en la región UV, la forma que estas tenían, el tamaño, quedando demostrado como es que el nitrato de plata (percursor) tiene una reducción provocada por los grupos OH que contiene los extractos naturales. Por lo que en la caracterización química no tuve problemas, para lograr los objetivos planteados en el inicio de la investigación.

En el área de electrónica, se logró notar el cambio de la permitividad dieléctrica en referencia con el agua, aunque las nanopartículas presentaron una permitividad muy baja pueden ser utilizadas en circuitos y/o componentes que se manejen en rangos de Hz, ya que al aumentar la frecuencia la pérdida de la permitividad era considerable, esto se puede deber a muchos

factores, uno de ellos es que las nanopartículas de plata fueron obtenidas de forma líquidas, lo cual provoca que las nanopartículas se encuentren en una dispersión de rango considerable, permitiendo que las propiedades dieléctricas no resaltaran como se esperaba, de igual forma los extractos de Eucalipto y Moringa tienen más sustancias o compuestos los cuales nos delimitaron tener nanopartículas más puras. Es por esto por lo que para una siguiente investigación se puede emplear un segundo método de síntesis, que podría ser “centrifugación” la cual nos dará como resultado nanopartículas más estables y puras, desarrollando así que las características dieléctricas sean más notorias, sin embargo, otro futuro trabajo puede ser el cambio de extractos, pues la manera en la que reaccionan estos con la sal precursora dependerá de sus compuestos químicos.

Las nanopartículas de plata a base extractos naturales son muy prometedoras, ya que son económicas, amigables con el ambiente y la facilidad con las que se obtienen son una gran ventaja de estas, aparte de que estas nanopartículas son bastante moldeables y pueden adquirir formas que muchos de los materiales utilizados actualmente para el desarrollo de antenas no poseen. Por lo que las nanopartículas de plata a base de extractos pueden ser un gran proyecto a futuro el cual nos puede abrir nuevas aplicaciones en el desarrollo de transistores para electrónica flexible, en rango de frecuencias más altos que los Hz.

# REFERENCIAS

---

[1] Aguilar E. (2021). Síntesis De Nanopartículas Esféricas De Oro Mediante Quitosano De Tres Pasos Moleculares Para La Evaluación De Su Estabilidad Temporal pp. 15-16. Puebla. Benemérita Universidad Autónoma De Puebla.

[2] Ambrosio R, Carrillo A, Mota ML, De la Torre K, Torrealba R, Moreno M, Vázquez H, Flores J, Vivaldo I. Membranas de nanocompuestos poliméricos de alta permitividad basadas en nanopartículas de PVA-ZnO para aplicaciones potenciales en electrónica flexible. *Polímeros*. 2018; 10(12):1370. <https://doi.org/10.3390/polym10121370>

[3] Alves AK, Berutti FA, Sánchez FAL. (2011). Nanomateriales y catálisis. En: *Materiales nanoestructurados para aplicaciones de ingeniería*. Berlín: Springer. pp. 93-117.

[4] Atsushi Ikai, *The world of Nano-Biomechanics Mechanical Imaging and Measurement by Atomic Force Microscopy*. 1386.

[5] Basiuk, V., y Basiuk, E. (2015). *Green Processes for Nanotechnology De Inorganic to Bioinspired Nanomaterials* pp. 211-239. New York: Springer International Publishing.

[6] Basiuk, V., y Basiuk, E. (2015). 2 Green synthesis of metal nanoparticles using extracts obtained de leaves of different plant species leading to the production of structures with different compositions, shapes, and sizes.

[7] Bosco, M., (2007). Espectroscopia de fluorescencia molecular. Seguimiento cuantitativo de procesos de degradación de contaminantes orgánicos fotosensibles mediante fluorescencia molecular y métodos de analisis de datos multiplex vías pp.25 Tarragona. Universitd Rovira I Virgili.

[8] Cisneros, J. J., en Nanotecnología, E. D. L. L., & Ovalle, V. J. S. M. Síntesis verde de nanopartículas.

[9] Cornejo L. (2015). Resonancia del plasmón de la superficie (RPS). 2015b [Internet]. [Consultado el 30 enero 2019]. Disponible en: <https://nuevatecnologiasymateriales.com/resonancia-del-plasmon-de-la-superficie-rps-propiedades-optoelectronicas/>

[10] Conde, E. C., García, V. R. D. (1996). Composición poli-fenólica de madera, corteza y hojas de Eucalptus . Invest. Agr; Sist. Recor. For. Vol. 5(2)

[11] Crespo Gutiérrez J. (2014) Síntesis de nanoestructuras metálicas de oro y plata a partir de precursores organometálicos: Propiedades plasmónicas y catalíticas. Tesis doctoral. Universidad de la Rioja.

[12] Cruz Martínez, G. (2020). Propiedades microestructurales, morfológicas, ópticas y antimicrobianas de nanopartículas de plata ultrafinas sintetizadas con metabolitos y fitoquímicos (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).

[13] Duncan, T. (2011). Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials, and sensors. Journal of colloid and Interface Science, pp 1-24.

[14] Estudillo-Díaz, E. B., Gutiérrez-Miceli, F. A., González-Mendoza, D., Valdez-Salas, B., & Abud-Archila, M. (2023). Desarrollo y caracterización de películas activas con nanopartículas de plata obtenidas mediante síntesis verde. *Biotecnia*, 25(1), 109-115.

[15] Esquivel-Figueroa, R. D. L. C., & Mas-Diego, S. M. (2021). Síntesis biológica de nanopartículas de plata: revisión del uso potencial de la especie *Trichoderma*. *Revista Cubana de Química*, 33(2), 23-45.

[16] Galindo Oseguera. (2019). Una revisión de la síntesis de nanopartículas de plata por reducción biológica. *Contactos, Revista de educación en ciencias e ingeniería*, 114.

[17] Gómez-Garzón, M. (2018). Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía*, 27(2).

[18] Guerrero Dib, X. E., Ortiz Méndez, U., Sepúlveda Guzmán, S., Ferrer Luppi, D., & José Yacamán, M. (2009). Síntesis y propiedades de nanopartículas monometálicas y bimetálicas oro-plata. *Ingenierías*, 12(45), 72.

[19] Gutiérrez V., Milena, T. (2019). *Polímeros: generalidades y tendencias de investigación en Colombia*. Editorial Universal Cauca.

[20] Gutierrez Valencia, T. M. (2019). *Polímeros: generalidades y tendencias de investigación en Colombia*. Universidad del Cauca.

[21] Hochella M F, Lower S K, Maurice P A, Penn R L, Sahai N, Sparks D L & Twining B S (2008) Nanominerals, mineral nanoparticles, and Earth systems. *Science*. Pp 319: 1631-1635.

[22] Hussain I, Singh NB, Singh A, Singh H, Singh SC. (2016). Síntesis verde de nanopartículas y su potencial aplicación. *Biotecnología Lett.*; pp 38(4):545-60. doi: 10.1007/s10529-015-2026-7, PMID 26721237.

[23] Ibarra Hurtado J. M. (2014). Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata por el método de reducción química: optimización del método. Tesis de grado. Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Departamento de Estudios de Posgrado.

[24] Kelly, K.L., Coronado, E., Zhao, L.L. & Schatz, G.C. (2003). The optical properties of metal nanoparticles: the influence of size, shape, and dielectric environment.

[25] Ma, C., y Phillips, D. (2002). FT-Raman Spectroscopy and Its Applications in Cereal Science. *Cereal Chemistry Journal*, 79(2), pp 171-177. <http://dx.doi.org/10.1094/cchem.2002.79.2.171>

[26] Marlon, J, Stalin, B. (2020). Nanomaterials: Synthesis Methods. Maestría en Ingeniería Química, Ingeniero Químico, Docente Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Riobamba, Ecuador

[27] Majles M., Dehghani Z., sahraei R. and Nabiyouni G. (2009). Non-linear optical properties of silver nanoparticles prepared by hydrogen reduction method. *Elsevier optics communications.*, pp 283: 1650-1653.

[28] Mera, Irina Francesca González, Daniela Estefanía González Falconí, and Vivian Morera Córdova. (2019). “Secondary Metabolites in Plants: Main Classes, Phytochemical Analysis and Pharmacological Activities.” *Revista Bionatura*.

[29] Mohammad TGM, El-rahman AFA. (2015). Síntesis Respetuosa Con El Medio Ambiente De Nanopartículas De Plata Utilizandomoringa Oleífera (Lam.) extracto de hoja y su actividad antibacteriana contra algunas bacterias patógenas importantes; pp 13:1-6

[30] Monge M (2014). Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas. In *Anales de Química* pp 105:33-41.

[31] Morones Ramírez J R y Cols. (2013). Silver enhances antibiotic activity against gram-negative bacteria. *Science translational medicine* pp.5: 190.

[32] Muhamin, M. (2023). A Review on Nanoparticles Of Moringa Oleifera Extract: Preparation, Characterization, And Activity. Indonesia.

[33] Neira, I. (2015). Síntesis Verde Para La Eliminación De Colorantes En Medios Acuáticos. Universidad Da Coruña. Pp 9

[34] Oroz, M. M. (2009). Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas. *Anales de Química de la RSEQ*, (1), pp. 33-41.

[35] Osorio, M. (2011). Síntesis y caracterización de nanotubos monocapa, nanotubos multicapa y nanopartículas de bismuto obtenidas mediante irradiación de microondas (Doctorado). Universidad Autónoma de Nuevo León.

[36] Pardo, L., Arias, J., & Molleda, P. (2022). Elaboración de nanopartículas de plata sintetizadas a partir de extracto de hojas de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y su uso como conservante. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, pp 45-58.

[37] Quechol Elias, R. (2020). Sonda coaxial para medir propiedades dieléctricas en materiales en rango de las microondas. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

[38] Santos-Espinoza, A., Gutiérrez-Miceli, F., Ruíz-Valdiviezo, V., & Montes-Molina, J. (2020). El papel de los compuestos polifenólicos en la síntesis verde de nanopartículas metálicas. *BioTecnología*, 24(2), pp. 46-46.

[39] Shriner, R. (2013). Identificación sistemática de compuestos orgánicos (2nd ed., pp. 195). Mexico: Limusa.

[40] Thakkar K N, Mhatre S S & Parikh R Y (2010) Biological synthesis of metallic nanoparticles, *Nanomedicine*.pp 6: 257–262.

[41] Urrejola, M. C., Soto, L. V., Zumarán, C. C., Peñaloza, J. P., Álvarez, B., Fuentesvilla, I., & Haidar, Z. S. (2018). Sistemas de nanopartículas poliméricas II: estructura, métodos de elaboración, características, propiedades, biofuncionalización y tecnologías de autoensamblaje capa por capa (layer-by-layer self-assembly). *International Journal of Morphology*, 36(4), pp 1463-1471.

[42] Viades, J (septiembre 2012). Físicoquímica de alimentos. *Coloides*. pp 1-9.

[43] Vilasco, J. (2020). Microscopia de Fuerza Atómica. pp. 9. Universidad Autónoma de San Luis Potosi.

[44] Zea Álvarez, J. L., Talavera Núñez, M. E., Arenas Chávez, C., Pacheco Salazar, D., Osorio Anaya, A. M., & Vera Gonzales, C. (2019). Obtención y caracterización del nanocomposito: Nanopartículas de plata y carboximetilquitosano (NPsAg-CMQ). Revista de la Sociedad Química del Perú, pp 14-24.