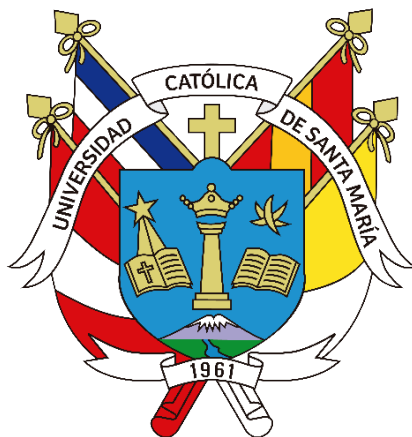


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y
Biotechnológicas
Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica



**USO DE LOS EXTRACTOS VEGETALES COMO AGENTES
ESTABILIZANTES PARA LA SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS
DE PLATA CON ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA**

Tesis presentada por el Bachiller:

Tuco Casquino Giovani Gualberto

Para optar el título profesional de
Químico Farmacéutico

Asesor:

Mtro. Torres Vela Fernando
Antero

Arequipa – Perú

2023

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FARMACIA Y BIOQUIMICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 27 de Junio del 2023

Dictamen: 007516-C-EPFvB-2023

Visto el borrador del expediente 007516, presentado por:

2015240391 - TUCO CASQUINO GIOVANI GUALBERTO

Titulado:

**USO DE LOS EXTRACTOS VEGETALES COMO AGENTES ESTABILIZANTES PARA LA SÍNTESIS
VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA CON ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**42212200 - DE LA FUENTE TORRES MOCITA HESET LOURDES
DICTAMINADOR**



**41158700 - MARCILLA TRUYENQUE SHANERI
DICTAMINADOR**



**44327250 - MEDINA PEREZ JEANETH MARISOL
DICTAMINADOR**



USO DE LOS EXTRACTOS VEGETALES COMO AGENTES ESTABILIZANTES PARA LA SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA CON ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	5%
2	bolsa-trabajo.upads.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	doi.org Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

Dedicatoria

A mis padres, quienes encarnan el más grande ejemplo de sacrificio y superación, y cuyo aliento ha sido el motor que me impulsó a conquistar esta anhelada meta.



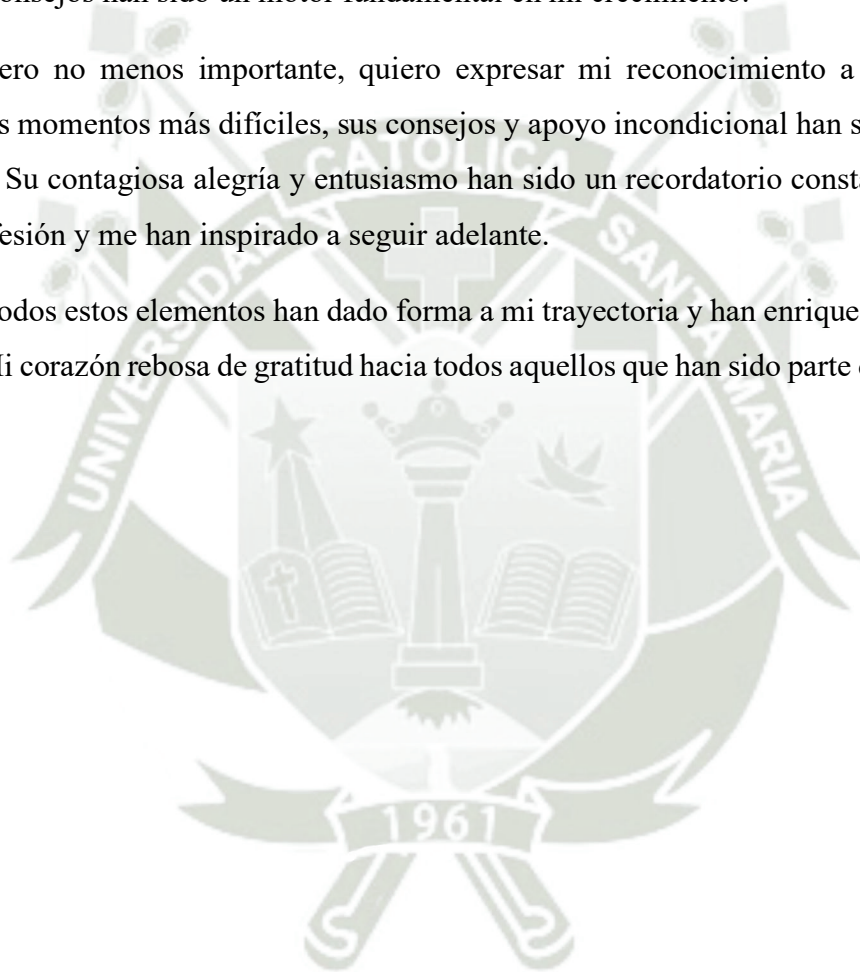
Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, Beatriz y Gualberto, por brindarme la oportunidad invaluable de estudiar esta noble profesión.

Asimismo, deseo extender mi gratitud sincera a cada uno de mis dedicados docentes, quienes generosamente compartieron sus conocimientos y sabiduría a lo largo de mi formación académica. Sus valiosos consejos han sido un motor fundamental en mi crecimiento.

Por último, pero no menos importante, quiero expresar mi reconocimiento a mis estimados colegas. En los momentos más difíciles, sus consejos y apoyo incondicional han sido un bálsamo reconfortante. Su contagiosa alegría y entusiasmo han sido un recordatorio constante de por qué elegí esta profesión y me han inspirado a seguir adelante.

En conjunto, todos estos elementos han dado forma a mi trayectoria y han enriquecido mi camino profesional. Mi corazón rebosa de gratitud hacia todos aquellos que han sido parte de esta travesía.



Resumen

En los últimos años, se ha incrementado el uso de extractos vegetales como agentes estabilizantes y reductores en la síntesis de nanopartículas de plata. Estos extractos contienen una amplia variedad de fitocomponentes, que favorecen la formación de nanopartículas y hacen que el proceso no genere desechos tóxicos. Este estudio se centró en analizar críticamente la síntesis verde de nanopartículas de plata utilizando extractos vegetales, así como evaluar su actividad antibacteriana contra diversas cepas bacterianas. Se llevó a cabo una exhaustiva búsqueda bibliográfica en bases de datos confiables y precisas, como Science Direct y Scopus, abarcando el periodo comprendido entre 2018 y 2022. Las referencias se gestionaron mediante el uso del gestor de referencias Zotero. Tras la selección de artículos relevantes, se incluyeron un total de 75 investigaciones en esta tesis. Las conclusiones obtenidas fueron las siguientes: El método de extracción vegetal más utilizado en la síntesis verde de nanopartículas de plata fue la decocción, debido a su alta capacidad de extracción en un periodo corto de tiempo. El agua fue el solvente predominante debido a la hidrofiliidad de los componentes extraídos. Las hojas de las plantas fueron la parte más empleada del material vegetal en la síntesis verde de nanopartículas de plata. Los parámetros más comunes utilizados en la síntesis verde incluyeron la temperatura ambiente, una relación de nitrato de plata: extracto vegetal de 10:1, una concentración de nitrato de plata de 1mM y una duración de reacción inferior a una hora. Los fitocomponentes presentes en los extractos vegetales en su mayoría polifenoles podrían desempeñar un papel importante en la reducción y estabilización de las nanopartículas de plata. Las nanopartículas de plata obtenidas mediante síntesis verde con extractos vegetales mostraron predominantemente tamaños entre 30 y 80 nm, con una forma esférica. Estas nanopartículas de plata exhibieron una destacada actividad antimicrobiana contra diversas cepas bacterianas, incluyendo *E. coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa* y *S. Typhi*.

Palabras clave:

EXTRACTO VEGETAL, NANOPARTICULAS, SINTESIS VERDE.

Abstract

In recent years, the use of plant extracts as stabilizing and reducing agents in the synthesis of silver nanoparticles has increased. These extracts contain a wide variety of phytochemicals that promote the formation of nanoparticles and make the process free from toxic waste. This study aimed to critically analyze the green synthesis of silver nanoparticles using plant extracts and evaluate their antibacterial activity against various bacterial strains. An extensive literature search was conducted in reliable and accurate databases such as Science Direct and Scopus, covering the period from 2018 to 2022. References were managed using the reference manager Zotero. After selecting relevant articles, a total of 75 research papers were included in this thesis. The following conclusions were drawn: The most commonly used plant extraction method in the green synthesis of silver nanoparticles was decoction, due to its high extraction capacity in a short period of time. Water was the predominant solvent due to the hydrophilicity of the extracted components. Leaves of plants were the most commonly used part of the plant material in the green synthesis of silver nanoparticles. The most common parameters used in green synthesis included room temperature, a silver nitrate: plant extract ratio of 10:1, a silver nitrate concentration of 1mM, and a reaction duration of less than one hour. The phytochemicals present in plant extracts, mostly polyphenols, could play an important role in the reduction and stabilization of silver nanoparticles. The silver nanoparticles obtained through green synthesis with plant extracts predominantly exhibited sizes ranging from 30 to 80 nm, with a spherical shape. These silver nanoparticles showed significant antimicrobial activity against various bacterial strains, including *E. coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, and *S. Typhi*.

Keywords:

PLANT EXTRACT, NANOPARTICLES, GREEN SYNTHESIS

Índice:	
Dedicatoria.....	I
Agradecimientos.....	II
Resumen.....	III
Abstract.....	IV
Índice:	V
Índice de tablas	VIII
Índice de figuras.....	X
Lista de abreviaturas	XI
1. INTRODUCCIÓN:.....	1
2. Objetivos.....	3
2.1. Objetivo general:.....	3
2.2. Objetivos específicos:	3
3. METODOLOGÍA.....	4
3.1. Tipo de estudio.....	4
3.2. Fundamentación de la metodología	4
3.3. Proceso de recolección de la información	4
3.3.1. Los criterios de inclusión fueron:.....	5
3.3.2. Los criterios de exclusión fueron:	5
4. CUERPO DE LA REVISIÓN	5
4.1. Extracto vegetal	5
4.1.1. Tipos de extractos vegetales.....	5
4.1.1.1. Maceración	6
4.1.1.2. Infusión.....	6
4.1.1.3. Percolación	6
4.1.1.4. Soxhlet.....	7

4.1.1.5.	Decocción.....	8
4.1.1.6.	Extracción mecánica.....	8
4.1.1.7.	Extracción de microondas asistida	9
4.1.1.8.	Reflujo	9
4.1.1.9.	Extracción mediante ultrasonido	10
4.2.	Nano formulaciones.....	10
4.2.1.	Aplicaciones de nanopartículas.....	11
4.2.2.	Tipos de síntesis de nanopartículas.....	12
4.2.2.1.	Métodos de arriba hacia abajo.....	12
4.2.2.1.1.	Métodos físicos.....	13
4.2.2.2.	Métodos de abajo hacia arriba.....	13
4.2.2.2.1.	Métodos químicos.....	14
4.2.2.2.2.	Métodos biológicos.....	16
4.2.2.3.	Síntesis de nanopartículas a partir de extractos vegetales	16
4.2.3.	Formación de las nanopartículas.....	18
4.2.4.	Efectos de los parámetros operacionales para la síntesis de nanopartículas de plata ...	19
4.2.4.1.	Efectos de la concentración de iones de plata en la síntesis de nanopartículas de plata.	20
4.2.4.2.	Efectos de la temperatura para la síntesis de nanopartículas de plata.	20
4.2.4.3.	Efectos del tiempo de reacción para la síntesis de nanopartículas de plata.....	20
4.2.4.4.	Efectos del pH para la síntesis de nanopartículas de plata	21
4.2.5.	Estabilidad de las nanopartículas sintetizadas.....	21
4.2.6.	Contexto verde de síntesis biológica.....	22
4.2.7.	Métodos de caracterización de nanopartículas.....	23
4.2.7.1.	Espectroscopia UV	24

4.2.7.2.	Espectroscopia IR.....	25
4.2.7.3.	Difracción de rayos x (XRD).....	25
4.2.7.4.	Microscopia electrónica de barrido (SEM)	26
4.2.8.	Acción antimicrobiana de las nanopartículas de plata	27
4.2.8.1.	Técnica de difusión en disco	28
4.2.8.2.	Concentración mínima inhibitoria	29
4.2.9.	Criterios para garantizar una acción antimicrobiana eficaz	29
4.2.10.	Toxicidad y suministro de nanopartículas de plata	30
5.	RESULTADOS	32
5.1.	Análisis bibliométrico.....	32
5.2.	Comparación de los métodos de extracción.....	41
5.3.	Comparación de la síntesis verde de nanopartículas de plata	49
5.4.	Comparación de la caracterización de las nanopartículas de plata generadas por síntesis verde con extractos vegetales.....	62
5.5.	Descripción de las actividades antimicrobianas de las nanopartículas sintetizadas con extractos vegetales.	66
6.	PERSPECTIVAS FUTURAS	72
7.	CONCLUSIONES.....	75
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

Índice de tablas

Tabla N°1 Tabla de impacto a la salud de agentes usados en la síntesis de nanopartículas	15
Tabla N°2 Tabla de la comparación de los métodos de síntesis de nanopartículas	18
Tabla N°3 Tabla de la síntesis de extractos vegetales parte 1 de 6.....	35
Tabla N°3 Tabla de la síntesis de extractos vegetales parte 2 de 6.....	36
Tabla N°3 Tabla de la síntesis de extractos vegetales parte 3 de 6.....	37
Tabla N°3 Tabla de la síntesis de extractos vegetales parte 4 de 6.....	38
Tabla N°3 Tabla de la síntesis de extractos vegetales parte 5 de 6.....	39
Tabla N°3 Tabla de la síntesis de extractos vegetales parte 6 de 6.....	40
Tabla N°4 Tabla de los parámetros utilizados para la síntesis verde de nanopartículas de plata parte 1 de 6.....	44
Tabla N°4 Tabla de los parámetros utilizados para la síntesis de nanopartículas de plata parte 2 de 6.....	45
Tabla N°4 Tabla de los parámetros utilizados para la síntesis de nanopartículas de plata parte 3 de 6.....	46
Tabla N°4 Tabla de los parámetros utilizados para la síntesis de nanopartículas de plata parte 4 de 6.....	47
Tabla N°4 Tabla de los parámetros utilizados para la síntesis de nanopartículas de plata parte 5 de 6.....	48
Tabla N°4 Tabla de los parámetros utilizados para la síntesis de nanopartículas de plata parte 6 de 6.....	49
Tabla N°5 Tabla de la comparación de la relación nitrato de plata: extracto vegetal para la síntesis verde de nanopartículas de plata	51
Tabla N°6 Tabla de caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis verde parte 1 de 7.....	55

Tabla N°6 Tabla de caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis verde parte 2 de 7.....	56
Tabla N°6 Tabla de caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis verde parte 3 de 7.....	57
Tabla N°6 Tabla de caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis verde parte 4 de 7.....	58
Tabla N°6 Tabla de caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis verde parte 5 de 7.....	59
Tabla N°6 Tabla de caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis verde parte 6 de 7.....	60
Tabla N°6 Tabla de caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis verde parte 7 de 7.....	61
Tabla N°7 Tabla de capacidad antimicrobiana de las nanopartículas de plata sintetizadas con extractos vegetales sobre <i>E. coli</i> . parte 1 de 2	67
Tabla N°7 Tabla de capacidad antimicrobiana de las nanopartículas de plata sintetizadas con extractos vegetales sobre <i>E. coli</i> . parte 2 de 2	68
Tabla N°8 Tabla de capacidad antimicrobiana de las nanopartículas de plata sintetizadas con extractos vegetales sobre <i>P. aeruginosa</i>	69
Tabla N°9 Tabla de capacidad antimicrobiana de las nanopartículas de plata sintetizadas con extractos vegetales sobre <i>S. aureus</i> parte 1 de 2.....	70
Tabla N°9 Tabla de capacidad antimicrobiana de las nanopartículas de plata sintetizadas con extractos vegetales sobre <i>S. aureus</i> parte 2 de 2.....	71
Tabla N°10 Tabla de capacidad antimicrobiana de las nanopartículas de plata sintetizadas con extractos vegetales sobre <i>S. Typhi</i>	71

Índice de figuras

Figura N°1 Síntesis de nanopartículas de plata.....	19
Figura N° 2 Nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis química.....	26
Figura N° 3 Nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis verde.....	27
Figura N°4 Artículos científicos encontrados en Science Direct.....	32
Figura N°5 Artículos científicos encontrados en Scopus	32
Figura N°6 Metodología de elección de los artículos científicos	34
Figura N°7 Gráfico de los métodos de extracción utilizados por los estudios	41
Figura N°8 Grafico de la comparación de las partes de la planta que han sido utilizados por los estudios	42
Figura N°9 Grafico de la comparación de los solventes comúnmente utilizados que han sido utilizados por los estudios.....	43
Figura N°10 Gráfico de la comparación de la concentración de nitrato de plata utilizado para la síntesis verde de nanopartículas de plata	49
Figura N°11 Gráfico de la comparación del rango de temperaturas para la síntesis verde de nanopartículas de plata.....	52
Figura N°12 Gráfico de la comparación de la duración de la reacción de la síntesis verde de nanopartículas de plata.....	53
Figura N°13 Figura de la comparación de la forma de las nanopartículas de plata generadas por síntesis verde con extractos vegetales.....	62
Figura N°14 Gráfico de la comparación de las longitudes de onda de las nanopartículas de plata generadas por síntesis verde con extractos vegetales	63
Figura N°15 Gráfico de la comparación del tamaño de las nanopartículas de plata generadas por síntesis verde con extractos vegetales.....	64
Figura N°16 Gráfico de los fitocomponentes que posiblemente reduzcan las nanopartículas de plata generadas por síntesis verde con extractos vegetales.....	65

Lista de abreviaturas

NP: nanopartículas

Ag: plata

NPAg: nanopartículas de plata

ZOI: zona de inhibición

mL: mililitro

ug: microgramo

MIC: concentración mínima inhibitoria

AgNO₃: nitrato de plata

ppm: partes por millón

mM: milimolar

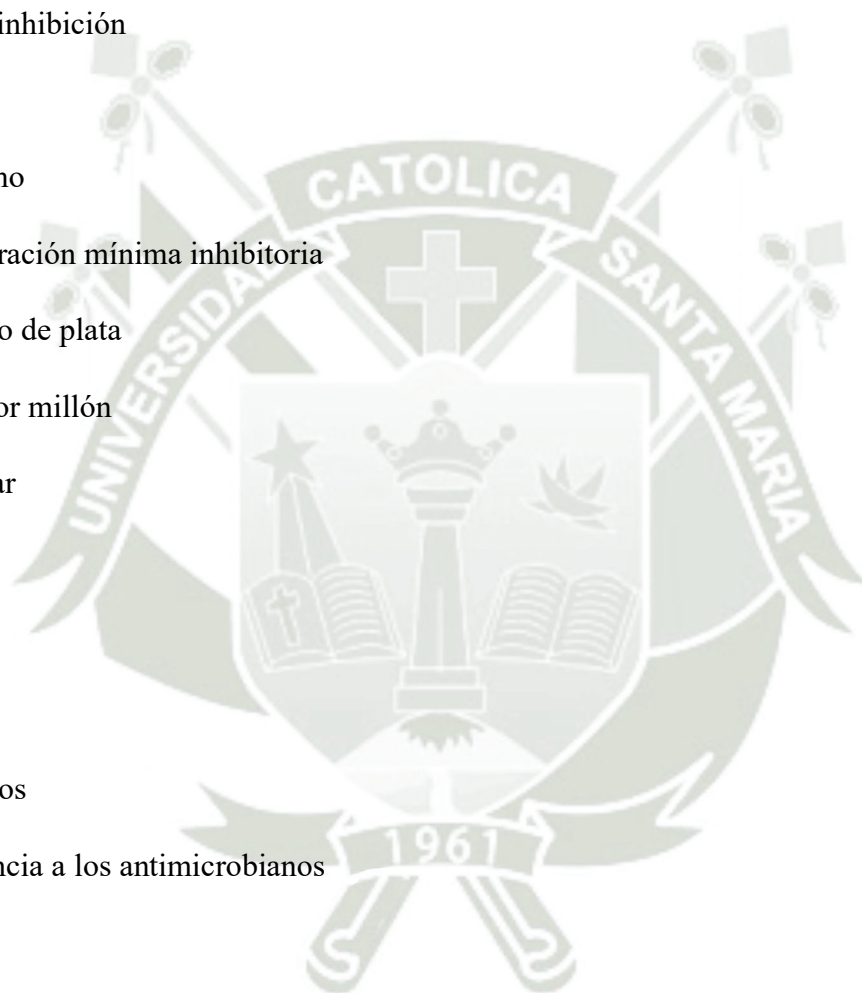
g: gramos

h: horas

min.: Minutos

nm: nanómetros

RAM: resistencia a los antimicrobianos



1. INTRODUCCIÓN:

En la actualidad, existe una creciente preocupación sobre el aumento de la resistencia a los antibióticos, esta resistencia es el resultado de mutaciones en las bacterias como respuesta al uso excesivo de estos fármacos, este proceso de resistencia dificulta la eficacia de los tratamientos convencionales y representa un grave riesgo para la salud pública. Ante esta problemática, la Organización Mundial de la Salud propone, en primera instancia promover un cambio en la forma de prescribir y utilizar los antibióticos, en segundo lugar, implementar nuevas terapias ya que a medida que pasa el tiempo los antibióticos son cada vez más ineficaces lo que conduce a un aumento de la mortalidad y a las posibles complicaciones que se puedan generar las infecciones bacterianas. La resistencia a los antibióticos también genera el incremento de los costos médicos ya que los pacientes pueden requerir prolongación de las estancias hospitalarias y aumentar la probabilidad de una muerte. Un nuevo implemento para el tratamiento de infecciones bacterianas es el uso de nanopartículas de plata, sin embargo, la fabricación de las nanopartículas de plata es bastante costosa y utiliza bastantes químicos que son tóxicos para el planeta, por lo cual es necesaria la implementación de un método menos caro y más amigable con el planeta (1).

La nanotecnología ha sido una herramienta importante en distintos ámbitos, tales como la medicina, la ingeniería de materiales y la ciencia ambiental. Las nanopartículas, pueden ser definidas como partículas con tamaños que oscilan en el rango de 10 a 100 nanómetros, las cuales presentan propiedades físicas y químicas diferentes a las de las partículas macroscópicas, lo que les confiere un gran potencial en aplicaciones biomédicas y ambientales. Entre las nanopartículas metálicas, las nanopartículas de plata son de gran interés debido a su alta superficie específica y capacidad de conjugación con diversos ligandos, lo que les permite adquirir propiedades únicas. Estas propiedades incluyen la capacidad para degradar contaminantes orgánicos, efectos antimicrobianos, efectos citotóxicos y capacidad para mejorar la absorción de fármacos en células. Debido a sus propiedades únicas, las nanopartículas de plata han sido objeto de un gran número de estudios en los últimos años. Se ha demostrado que las nanopartículas de plata pueden tener efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente, sin embargo, las nanopartículas de plata son dosis dependientes así que al tener una menor concentración se podrían controlar estos efectos

negativos, por lo cual, se están llevando a cabo investigaciones para entender estos efectos y minimizar sus impactos negativos (2).

Existen diversos enfoques, protocolos o procedimientos sintéticos para la preparación de nanopartículas de plata. Normalmente, los procedimientos se pueden clasificar en dos, de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba. El enfoque de arriba hacia abajo se explica mediante la transformación mecánica del metal a granel en nanoestructuras utilizando agentes estabilizadores adecuados. Contrariamente a esto, el enfoque de abajo hacia arriba se refiere a la transformación o nucleación y posterior estabilización de la materia a escala atómica en nanoestructuras. Típicamente, todos los enfoques de abajo hacia arriba comparten algunas características comunes, como la reducción de los iones del metal obtenidos a partir de precursores metálicos mediante el uso de agentes reductores adecuados y agentes protectores o estabilizantes en la preparación y administración de las nanopartículas (3).

Como se menciona en los diferentes documentos de investigación, las nanopartículas de plata pueden ser sintetizadas por tres métodos diferentes: físico, químico y biológico. Los diversos métodos físicos incluyen descarga por chispa, pirólisis, horno tubular (evaporación-condensación), ablación láser, radiación gama, procesamiento de microondas, entre otros. Estos métodos implican ciertas desventajas o inconvenientes, como lo es el alto consumo de energía, bajo rendimiento y la distribución no uniforme de nanopartículas. Sin embargo, tienen el lado positivo de no usar productos químicos peligrosos para el medio ambiente. Los métodos químicos para sintetizar nanomateriales de plata incluyen el método Sol-Gel, coprecipitación, pirólisis, métodos sonoquímicos, electroquímicos, entre otros. Estos métodos son fáciles, económicos y eficientemente productivos en comparación con los métodos físicos. Pero tienen desventajas significativas en el uso de productos químicos nocivos y tóxicos, lo que los hace menos biocompatibles y ambientalmente tóxicos (4).

Todos los inconvenientes de los métodos físicos y químicos están siendo superados o reemplazados por el método más ampliamente adoptado o utilizado por investigadores, que es el método biológico. Este método de síntesis de nanopartículas emplea sistemas biológicos como plantas o partes de plantas, bacterias, hongos, algas, tejidos o células animales, proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas, entre otros, en la síntesis de nanomateriales. Este enfoque de síntesis de nanoestructuras es ecológico, biocompatible, fácil y de alto rendimiento. Otro enfoque, además

del biológico, es el enfoque sintético verde, que incluye la síntesis de nanopartículas únicamente a partir de extractos de plantas. Actualmente, se da énfasis a la síntesis de nanopartículas mediante la adopción de un enfoque sintético verde debido a la ecología, la productividad, costos de producción, De igual manera, se ha encontrado que la estabilidad y la capacidad de almacenamiento a largo plazo de las nanopartículas de plata sintetizadas a través del método biológico y sintético verde son comparativamente superiores a las obtenidas a través de métodos físicos y químicos (5).

Es por este motivo que se realizó la respectiva revisión bibliográfica con el fin de recopilar y analizar información relevante y actualizada sobre el uso de los extractos vegetales como agentes estabilizantes para la síntesis verde de nanopartículas de plata con actividad antimicrobiana.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general:

Proporcionar información respecto al uso de los extractos vegetales como agentes estabilizantes para la síntesis verde de nanopartículas de plata con actividad antimicrobiana.

2.2. Objetivos específicos:

- 1) Describir el método de extracción vegetal más utilizado, asimismo describir el solvente más utilizado para la preparación del extracto vegetal.
- 2) Describir la parte del material vegetal que fue más utilizado, para la preparación del extracto vegetal.
- 3) Describir los parámetros (temperatura, relación nitrato de plata: extracto vegetal, concentración de nitrato de plata, duración de la reacción) más utilizados para la síntesis verde de nanopartículas de plata.
- 4) Describir los fitocomponentes de los extractos vegetales que podrían estar involucrados en la reducción y estabilización de la síntesis verde de nanopartículas de plata.
- 5) Comparar los diferentes tamaños y formas de las nanopartículas producidas por síntesis verde de nanopartículas de plata obtenidos con extractos vegetales.
- 6) Describir la diferente actividad antimicrobiana de las nanopartículas de plata obtenidos con extractos vegetales.

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de estudio

Para la selección de la literatura internacional utilizada se llevó a cabo una revisión bibliográfica a partir de artículos de investigación científica sobre el uso de los extractos vegetales como agentes estabilizantes para la síntesis verde de nanopartículas de plata con actividad antimicrobiana.

3.2. Fundamentación de la metodología

La revisión de la literatura científica se presenta como un procedimiento sistemático de recopilación de información, el cual surge en respuesta a la necesidad de profundizar el conocimiento científico y abordar diversas problemáticas. Este enfoque permite sintetizar los resultados de investigaciones previas y, por ende, mejorar la comprensión sobre una temática determinada.

3.3. Proceso de recolección de la información

La presente investigación se llevó a cabo mediante una revisión sistemática de la literatura científica, en la que se utilizaron bases de datos reconocidas y de alta calidad, como Scopus y Science Direct. Para la selección de los términos de búsqueda, se realizó un análisis previo de la terminología adecuada para la investigación documental, y se utilizaron las palabras clave "SILVER NANOPARTICLES", "PLANT EXTRACT", "GREEN SYNTHESIS", "ANTIBACTERIAL". En Scopus, se llevó a cabo una búsqueda en los campos "Título, Resumen y Palabras Clave", mientras que en Science Direct la búsqueda se limitó a los "keywords". La selección de los artículos se realizó de acuerdo con criterios de inclusión y exclusión bien definidos. Los criterios de inclusión se basaron en estudios que investigaran el uso de extractos vegetales como agentes estabilizantes para la síntesis verde de nanopartículas de plata, y su alta capacidad antibacteriana. Los criterios de exclusión incluyeron estudios que no cumplieran con los objetivos de la investigación, artículos repetidos, artículos no publicados en inglés y artículos que no estuvieran disponibles en texto completo. Para llevar a cabo la gestión de las referencias, se utilizó el gestor de referencias Zotero, lo que permitió una organización efectiva de los artículos seleccionados.

3.3.1. Los criterios de inclusión fueron:

- Que posean las palabras clave: "SILVER NANOPARTICLES" "EXTRACT" "ANTIMICROBIAL ACTIVITY"
- Documentos que sean de acceso libre.
- Artículos científicos experimentales *in vitro*.
- Documentos de ciencia medioambiental.

3.3.2. Los criterios de exclusión fueron:

- Documentos que no estén publicados dentro del rango de años del 2018 al 2022.
- Documentos que necesiten de previo pago para ser utilizados.
- Libros o páginas de libros.
- Documentos que no se encuentren en el idioma inglés.

4. CUERPO DE LA REVISIÓN

4.1. Extracto vegetal

Un extracto vegetal es una preparación concentrada obtenida a partir de una planta o parte de ella, que contiene una variedad de compuestos bioactivos como polifenoles, flavonoides, terpenos, alcaloides, entre otros. Estos compuestos pueden tener propiedades antimicrobianas los cuales se han utilizado en la medicina tradicional y en la industria alimentaria como conservantes naturales. El proceso de extracción implica la separación de los componentes activos de la planta utilizando métodos como la maceración, percolación, decocción, destilación, entre otros. Los extractos se pueden obtener utilizando diferentes disolventes como agua, alcohol, éter, cloroformo, acetona, etc. La elección del disolvente dependerá de la naturaleza química de los compuestos a extraer (6).

4.1.1. Tipos de extractos vegetales

Hay diferentes formas de obtener extractos vegetales como lo son la extracción mecánica, destilación, extracción con disolventes, extracción con gases. De las cuales es esta revisión se vio los siguientes tipos de extracciones.

4.1.1.1. Maceración

La maceración es un método de extracción bastante usado por su sencillez y un buen rendimiento a la hora de extraer metabolitos activos de las plantas este método se da mediante el uso de un material vegetal que posee los principios activos y el solvente capaz de extraer esos metabolitos. Usualmente este método no necesita de calor y debe estar protegido de la luz para evitar posibles reacciones o descomposición de los metabolitos activos de las plantas. Para lograr este método se coloca el material vegetal en forma de trozos o polvo, según sea el caso, en un recipiente lleno del solvente y se deja reposar por tres o más días, con agitación frecuente hasta completar la extracción del material vegetal. Al final de este período se filtra y el resto sólido se exprime hasta lograr quitar el líquido remanente (7).

4.1.1.2. Infusión

La infusión es un método de extracción utilizado para obtener compuestos bioactivos de plantas, donde se coloca la materia prima en un recipiente y se agrega agua caliente o vapor para extraer los componentes solubles en agua. Este método se emplea comúnmente para preparar infusiones de hierbas y tés que se consumen por sus propiedades terapéuticas o su sabor. La infusión se caracteriza por ser un proceso sencillo, rápido y económico para la extracción de compuestos bioactivos de plantas que son solubles en agua. Este método se utiliza a menudo para extraer compuestos como polifenoles, flavonoides, taninos y ácidos orgánicos. Las condiciones de extracción en la infusión son importantes para obtener un extracto de alta calidad, incluyendo el tiempo de infusión, la temperatura del agua, la proporción de materia prima y agua, y el tipo de agua utilizada. En concreto, a dicho material vegetal se le vierte agua caliente o se introduce en agua caliente, sin que llegue al punto de ebullición. Esta técnica es útil para evitar la pérdida de aceites volátiles (8).

4.1.1.3. Percolación

La percolación es un método de extracción de compuestos bioactivos de plantas que se utiliza ampliamente en la industria debido a su eficiencia y efectividad. En este proceso, se recurre a un disolvente para extraer los componentes solubles de un material vegetal colocado en un recipiente de percolación.

A pesar de ser una de las técnicas más costosa y compleja que otros tipos de métodos de

extracción, la percolación es considerada una técnica de extracción eficiente y selectiva que puede ser utilizada para la producción a gran escala de extractos vegetales.

El percolador es un dispositivo cónico con una abertura superior, que cuenta con una tapa circular horadada para el paso del líquido, la cual genera una ligera presión en los materiales colocados en él. La velocidad del líquido se controla mediante un cierre regulable en la parte inferior del recipiente. Antes de su colocación, el material vegetal se humedece con el solvente apropiado, permitiendo la extracción uniforme de los compuestos bioactivos. Una vez que se ha empaquetado el material vegetal, se llena el percolador con el solvente más adecuado y se cierra para permitir la maceración del material durante 24 horas. Después de este tiempo, se inicia el goteo uniforme y se adiciona más solvente para cubrir el material vegetal. La concentración de las tinturas se puede controlar mediante la velocidad del goteo y la adición de solvente. Posteriormente, se completa la cantidad necesaria de solvente, se presiona la masa húmeda residual para extraer la mayor cantidad de líquido y se filtra o se clarifica por decantación. La percolación es una técnica de extracción eficiente y selectiva, que permite la preparación de tinturas y extractos fluidos de alta calidad. La percolación es un método de extracción utilizado en la industria farmacéutica, alimentaria y cosmética. Este método permite la obtención de compuestos bioactivos de plantas y la producción a gran escala de extractos de plantas.

La selección del disolvente y el lecho de material vegetal son importantes para la obtención de un extracto de alta calidad. Adicionalmente, la velocidad de flujo del disolvente, el tiempo de contacto y la temperatura son factores críticos que deben ser controlados cuidadosamente para obtener un extracto con una alta concentración de compuestos bioactivos (9).

4.1.1.4. Soxhlet

El método Soxhlet es una técnica de extracción que se utiliza para separar compuestos de una muestra sólida mediante el uso de un disolvente. Esta técnica se fundamenta en el principio de extracción por solventes, en el cual la muestra sólida se coloca en un extractor Soxhlet, el cual está conectado a un matraz de destilación que contiene el disolvente. El matraz se calienta, y el disolvente se evapora y condensa en la parte superior del extractor. La condensación continúa hasta que el disolvente se satura y gotea de nuevo al extractor, disolviendo y extrayendo los compuestos de la muestra.

Las principales características del método Soxhlet son su alta eficiencia y capacidad para extraer compuestos de forma continua hasta que se agota la muestra. Incluso, el uso de un disolvente permite la extracción selectiva de los compuestos deseados, lo que facilita su posterior análisis y purificación. Sin embargo, el uso de disolventes puede ser costoso y el tiempo de extracción es prolongado, lo que puede limitar su aplicabilidad en algunas situaciones (6) (10).

4.1.1.5. Decocción

La decocción es una técnica de extracción que se emplea para extraer compuestos de plantas medicinales mediante el uso de agua caliente. Esta técnica radica en el principio de que los compuestos solubles en agua se disuelven y se extraen más eficazmente a temperaturas elevadas. En la decocción, la planta se coloca en agua fría y se calienta lentamente hasta que hierve. Luego, se mantiene a fuego lento durante un período de tiempo determinado para permitir que los compuestos se extraigan completamente. Dependiendo de la consistencia del material vegetal variara el tiempo de cocción por ejemplo las flores, hojas, raíces se hierven aproximadamente por 15 minutos mientras que la corteza o las ramas pueden necesitar más de una hora, requiriendo reponer el volumen de agua perdido por evaporación. Las decocciones preparadas no se pueden almacenar por más de 1 día ya que pierden bastantes propiedades por desnaturalización de los principios activos de la planta (11).

4.1.1.6. Extracción mecánica

La extracción mecánica es una técnica de extracción que se aplica para separar compuestos de una muestra sólida mediante el uso de una fuerza mecánica. Esta técnica se sustenta en el principio de que la fuerza mecánica puede separar físicamente los componentes de una muestra, por ejemplo, por agitación, molienda, prensado o filtrado. Las principales características de la extracción mecánica son su simplicidad y rapidez, ya que el proceso puede llevarse a cabo en pocos minutos. Adicionalmente, no se requiere el uso de disolventes, lo que reduce los costos y los residuos. Sin embargo, la extracción mecánica puede generar altas temperaturas o fricción que pueden afectar la estabilidad y la calidad de los compuestos, lo que puede limitar su aplicabilidad en algunos casos (10).

4.1.1.7. Extracción de microondas asistida

La extracción asistida por microondas es una técnica de extracción que usa principalmente microondas para calentar la muestra y acelerar la liberación de los componentes deseados en un solvente. Esta técnica es utilizada en la extracción de una amplia gama de muestras, incluyendo productos naturales, alimentos, materiales de origen biológico y farmacéuticos. El proceso de extracción asistida por microondas (EMA) se realiza en un horno de microondas que tiene una fuente de microondas que emite energía de microondas para calentar la muestra. El solvente se agrega a la muestra y se calienta mediante la exposición a la energía de microondas. La energía de microondas se absorbe selectivamente por los componentes de la muestra, lo que provoca que se caliente y se liberen en el solvente. Entre las ventajas de la extracción asistida por microondas se encuentran una mayor eficiencia y velocidad de extracción, menor consumo de solvente y menor tiempo de procesamiento en comparación con las técnicas de extracción convencionales. Así mismo, EMA puede ser automatizado y es fácil de llevar a cabo (12).

4.1.1.8. Reflujo

El reflujo es un método de extracción que es utilizado para separar y purificar compuestos líquidos o gaseosos a través de la repetida evaporación y condensación de una solución en un sistema cerrado. Este proceso se lleva a cabo utilizando un aparato de reflujo, que consta de un matraz, un condensador, un refrigerante y un termómetro. Durante el proceso de reflujo, la solución se coloca en el matraz y se calienta hasta que hierve. Los vapores se condensan en el refrigerante y caen de vuelta al matraz en forma líquida. La solución continúa evaporándose y condensándose repetidamente, lo que permite la separación y purificación de los componentes de la solución. El reflujo es un método eficaz y ampliamente utilizado para la síntesis de compuestos orgánicos, la purificación de productos químicos y la eliminación de impurezas de las soluciones. También es útil en la extracción de componentes de plantas o semillas, como aceites esenciales, en la industria alimentaria y farmacéutica. El uso del reflujo permite la eliminación de impurezas de la solución, así como la purificación y concentración de los componentes deseados. Por otra parte, este método permite el control de la temperatura y la presión en el sistema, lo que puede ser crucial en la síntesis de compuestos orgánicos. Sin embargo, el proceso de reflujo puede ser largo y requiere una gran cantidad de energía para

calentar la solución. Además de ello, es importante tomar precauciones para evitar la formación de presiones excesivas en el sistema y el riesgo de explosión (13).

4.1.1.9. Extracción mediante ultrasonido

La extracción mediante ultrasonido para la extracción de plantas es una técnica basada en la aplicación de ultrasonidos de alta frecuencia a una solución que contiene material vegetal, con el propósito de obtener compuestos bioactivos. La técnica se basa en el fenómeno de la cavitación, que ocurre cuando las ondas mecánicas generadas por los ultrasonidos crean burbujas microscópicas en la solución, lo que puede romper las células vegetales y liberar los compuestos activos. Esta técnica es utilizada en la industria farmacéutica, cosmética y alimentaria debido a su eficiencia y rapidez en comparación con otros métodos de extracción. Además, la extracción mediante ultrasonidos permite obtener una mayor cantidad de compuestos bioactivos con una mayor pureza, lo que la hace una técnica de gran importancia en la investigación y desarrollo de nuevos productos (14).

En la tabla N°3 podremos apreciar el tipo de planta, tipo de extracción, condiciones para la extracción, solvente utilizado, volumen del solvente utilizado, peso de la planta, parte de la planta utilizada y sus respectivas referencias.

4.2. Nano formulaciones

Las nanopartículas son partículas con un diámetro que varía entre 1 y 100 nanómetros, exhibiendo características físicas y químicas únicas en comparación con las partículas a mayor escala. Debido a su pequeño tamaño, presentan una mayor interacción con su entorno, una mayor reactividad y capacidad de difusión en los tejidos biológicos. Asimismo, su tamaño les permite atravesar barreras biológicas que las partículas más grandes no pueden, lo que las convierte en una herramienta valiosa en diversas aplicaciones, desde la medicina hasta la electrónica, energía, alimentación y cosmética.

Entre las características más notables de las nanopartículas se encuentra su alta área superficial, lo que las hace especialmente útiles en la liberación controlada de fármacos y en la detección temprana de enfermedades. Sin embargo, su uso también ha generado preocupaciones en cuanto a su toxicidad y su posible impacto en el medio ambiente, lo que ha llevado a la implementación de regulaciones y normativas para su uso seguro.

A pesar de esto, las nanopartículas de plata (NP Ag) son consideradas el pináculo de la nanotecnología debido a su naturaleza polivalente. Las NP Ag presentan características mejoradas en términos de conductividad eléctrica, óptica y térmica, lo que las hace útiles para una variedad de propósitos, desde la catálisis y las imágenes hasta la electrónica y la optoelectrónica.

Asimismo, las nanopartículas parecen tener un mayor grado de biocompatibilidad en comparación con los fármacos convencionales. Las NP Ag tienen propiedades físicas, químicas y biológicas que las hacen inmensamente valiosas en el campo de la terapia, asegurando una entrega más específica y aumentando la eficacia del tratamiento. Esto, a su vez, reduce los efectos secundarios indeseables y tóxicos. Incluso, las NP Ag poseen una variedad de propiedades, como actividad antimicrobiana, antiviral, anticancerígena, trombolítica y anticoagulante, e incluso son útiles en el campo del diagnóstico y la imagen (15).

4.2.1. Aplicaciones de nanopartículas

En los últimos años ha sido evidente que el uso de nanopartículas está aumentando gracias a sus grandes aplicaciones en áreas como la biomédica, tratamiento de aguas, industria de pinturas, dispositivos médicos, dispositivos electrónicos, cosméticos, textiles entre otros.(16) Las nanopartículas de plata también han exhibido propiedades anticancerígenas las cuales se demuestran en varios trabajos de investigación. Extensos y elaborados trabajos de investigación realizados en esta área nos indican que las NP Ag pueden emerger como un viable y quizás, incluso mejor alternativa a la quimioterapia. Las NP Ag pueden desempeñar un papel doble mientras se trata el cáncer: las nanopartículas tienen propiedades anticancerígenas y también pueden actuar como portadores de otros fármacos contra el cáncer. El uso de Ag NP como portadores de fármacos contra el cáncer muestra que son más sitio específicas, causando así menos daño a los tejidos sanos y disminuyendo la probabilidad de sufrir efectos secundarios (17).

Las propiedades anticancerígenas innatas de las NP Ag son logradas mediante la inducción de estrés oxidativo, la interacción de Ag⁺ con las proteínas celulares y el ADN en las células cancerosas, lo que conduce a daños en el ADN y aumento de la permeabilidad de la membrana, que eventualmente conlleva a la lisis celular. Por ende, es evidente que las

nanopartículas y las nanopartículas de plata en particular, tienen innumerables usos en el campo de la medicina. Sin embargo, este documento de revisión se enfoca principalmente en una propiedad significativa mostrada por estas nanopartículas, la capacidad para comportarse como agentes antimicrobianos. Las nanopartículas de plata se pueden utilizar como agentes antibacterianos y antifúngicos. Estas también se pueden utilizar para la administración de fármacos y para la fabricación de diversos dispositivos biomédicos (18).

En una época marcada por el surgimiento de la resistencia a los antimicrobianos (RAM), un fenómeno declarado como una amenaza masiva para la salud mundial por la OMS (1), las nanopartículas de plata podrían proporcionar un camino alternativo para superar esta resistencia. La mayoría de los estudios están de acuerdo que se podría encontrar en las nanopartículas una forma de eludir los mecanismos de resistencia microbiana, y hay muy poca evidencia de lo contrario. Es más, se ha descubierto que las nanopartículas de plata muestran una actividad antimicrobiana incluso mayor que la de algunos antibióticos. Sin mencionar que las nanopartículas de plata también pueden ayudar en construir un sofisticado sistema de administración de medicamentos, principalmente debido a su pequeño tamaño y grandes proporciones de superficie a volumen (19).

4.2.2. Tipos de síntesis de nanopartículas

Existen dos grupos de métodos fundamentales para la síntesis de nanopartículas las cuales son el método de arriba hacia abajo y el método de abajo hacia arriba. Dentro de los métodos de arriba hacia abajo tenemos a los métodos físicos, y dentro de los métodos abajo hacia arriba tenemos a los métodos químicos y biológicos.

4.2.2.1. Métodos de arriba hacia abajo

En este tipo de métodos, el material a granel se convierte en pequeñas partículas de tamaño nanométrico. La preparación de nanopartículas se basa en la reducción del tamaño del material de partida mediante diferentes tratamientos físicos y químicos. Incluye métodos como la molienda mecánica, la ablación láser, la evaporación térmica, etc. Aunque los métodos de arriba hacia abajo son fáciles de realizar, no son métodos adecuados para preparar partículas de forma homogénea y de tamaño pequeño. El principal problema asociado con

estos métodos es que el cambio en la superficie y las propiedades fisicoquímicas de las nanopartículas. Por lo que estos métodos no siempre garantizan un control completo sobre el tamaño, la forma y la distribución de las nanopartículas resultantes, lo que puede limitar su uso en algunas aplicaciones (20).

4.2.2.1.1. Métodos físicos

Los métodos físicos son una de las formas más utilizadas para la síntesis de nanopartículas debido a su alta eficiencia y control sobre el tamaño de partícula. Dos de los métodos físicos más comunes son el método de evaporación-condensación y la ablación láser. En el método de evaporación-condensación, se utiliza un horno tubular a presión atmosférica para llevar a cabo la síntesis. Aunque este método puede proporcionar un rendimiento considerable de nanopartículas, tiene ciertas desventajas el proceso consume grandes cantidades de energía, lo que puede aumentar la temperatura del entorno y afectar negativamente el equilibrio térmico necesario para la formación de nanopartículas homogéneas. De esta manera, el equilibrio térmico no se logra fácilmente, lo que puede dificultar la obtención de un tamaño uniforme de nanopartículas. Sumado a eso, el tubo horno ocupa mucho espacio y aumenta la temperatura del entorno. Por otro lado, el método de ablación con láser se ha considerado como un proceso eficiente y respetuoso con el medio ambiente ya que no utiliza ningún reactivo químico. Esto lo hace amigable con el quinto principio de la química verde. Incluso, estos métodos permiten controlar el tamaño de partícula de la nanopartícula ajustando el número de pulsos de láser. Las nanopartículas sintetizadas a través de este método se han demostrado como altamente eficientes en la acción antimicrobiana. Aunque estos métodos parecen ser una excelente opción, también tiene ciertas limitaciones ya que se requieren temperaturas muy altas y consume grandes cantidades de energía. Estas características no se adhieren al sexto principio de la química verde, que habla sobre minimizar los requisitos de energía de los procesos químicos. Sumado a ello, la baja productividad de este método ha limitado su aplicación a la escala industrial (21).

4.2.2.2. Métodos de abajo hacia arriba

La síntesis de nanopartículas utilizando un enfoque ascendente se basa en la formación de

nanopartículas a partir de moléculas más pequeñas, como la unión de átomos, moléculas o partículas pequeñas. En estos métodos, los bloques de construcción nanoestructurados de las nanopartículas se forman primero y luego se ensamblan para producir nanopartículas finales.

4.2.2.2.1. Métodos químicos

Los métodos químicos son bastante comunes y ampliamente utilizados para sintetizar nanopartículas de plata. Estos procedimientos emplean agua o disolventes orgánicos y constan de tres componentes reactivos: un precursor de metal, agentes reductores y un agente estabilizador. Entre los agentes reductores utilizados se incluyen el citrato, ascorbato, borohidruro y gas hidrógeno, mientras que los agentes estabilizadores son tensioactivos y ligandos o polímeros con grupos funcionales específicos como la polivinilpirrolidona y el polietilenglicol. El método más sencillo consiste en reducir el nitrato de plata en una solución acuosa en presencia de un agente reductor y estabilizador. El tamaño de las nanopartículas depende en gran medida de la concentración inicial de la solución de nitrato de plata, la concentración del agente estabilizador y la relación molar de nitrato de plata al agente reductor. El proceso del poliol es otro método químico comúnmente utilizado para sintetizar nanopartículas de plata. En este método, el nitrato de plata se reduce en presencia de etilenglicol, que actúa como disolvente y agente estabilizador. Se emplean reactivos y agentes reductores específicos para obtener el tamaño y forma de nanopartícula deseado. Aunque los métodos químicos son versátiles, económicos, capaces de producir nanopartículas de tamaño, dimensión y estructura definidos, su principal desventaja es su bajo nivel de sostenibilidad. Los disolventes y agentes reductores utilizados en la síntesis química son tóxicos para la salud humana y el medio ambiente. Incluso, los residuos químicos del disolvente pueden permanecer en la superficie de las nanopartículas de plata sintetizadas, lo que las convierte en portadoras de sustancias químicas peligrosas y dañinas si se utilizan para la administración de medicamentos, la acción antimicrobiana o cualquier otro uso que implique la inserción de las nanopartículas en el cuerpo humano (3).

La Tabla N°1 nos proporciona una idea del riesgo para la salud asociado con los productos químicos primarios utilizados durante la síntesis química de nanopartículas de plata. Muchos de los reactivos también son perjudiciales para el medio ambiente, como oleil amina, que es

perjudicial para la vida acuática. Como resultado, es evidente que la síntesis química de nanopartículas, aunque eficiente y sencilla, viola varios principios de la química verde, principalmente debido a dependencia de productos químicos tóxicos que son peligrosos para la salud humana en un mundo que busca lograr objetivos de desarrollo sostenible, a gran escala la síntesis de nanopartículas de plata utilizando métodos químicos no es una opción práctica.

Tabla N°1 Tabla de impacto a la salud de agentes usados en la síntesis de nanopartículas

Químico	Función en la síntesis	Impacto en la salud	Posibles implicaciones en el medio ambiente	Ref.
Borohidruro de sodio	Agente reductor y estabilizante	Puede ser tóxico si se inhala o ingiere en grandes cantidades. Irritación de la piel, ojos y mucosas.	Puede generar hidrógeno como subproducto, lo que aumenta el riesgo de explosiones en la manipulación y el almacenamiento.	(22)
Hidróxido de sodio	Agente alcalinizante	Irritación de la piel, ojos y mucosas. Puede ser tóxico si se inhala o ingiere en grandes cantidades.	Tóxico para los organismos acuáticos. Puede ser difícil de eliminar del agua y contaminar los ecosistemas.	(23)
Oleil amina	Solvente	Su descomposición térmica puede dar lugar a la liberación de vapores y gases irritantes. El producto provoca quemaduras en los ojos, la piel y las membranas mucosas.	Si se utiliza en grandes cantidades y si no se elimina adecuadamente puede ser toxica para la fauna y flora acuática.	(24)
Citrato de sodio	Agente reductor y estabilizador	Generalmente no es tóxico, pero puede causar irritación de la piel y los ojos en algunos casos.	Bajo impacto ambiental.	(25)
Etilen Glicol	Solvente y estabilizante	Puede ser toxico cuando se ingiere o se inhala en grandes cantidades. Cuando el etilenglicol es degradado en el cuerpo, forma sustancias químicas que cristalizan, y los cristales pueden acumularse en los riñones y afectar la función del riñón. El etilenglicol también forma sustancias ácidas en el cuerpo, las que pueden alterar el equilibrio ácido/base del cuerpo y afectar el sistema nervioso, los pulmones y el corazón.	Si se utiliza en grandes cantidades y si no se elimina adecuadamente puede ser toxica para la fauna y flora acuática.	(26)

Elaboración propia

4.2.2.2. Métodos biológicos

Una alternativa adecuada y ecológica a los métodos químicos y físicos de síntesis son los métodos biológicos. Los organismos vivos, como plantas, algas, microbios y hongos, juegan un papel vital en la síntesis de nanopartículas debido a las biomoléculas constituyentes, incluyendo algunas enzimas, que se pueden extraer de ellos y ayudan en la reducción in situ de iones de plata para formar nanopartículas de plata. El principal beneficio de la síntesis biológica es la seguridad asociada con el proceso y la pureza de las nanopartículas resultantes. Dado que sólo se utilizan agentes benignos para facilitar la producción de nanopartículas de plata utilizando este método, podemos estar seguros de que el producto formado estará libre de cualquier contaminación. Esto resulta en un impacto mínimo en la salud humana, especialmente porque estas nanopartículas se utilizan para una variedad de propósitos médicos.

Además, los métodos biológicos también resultan en un alto rendimiento de nanopartículas que tienen una forma bien definida y un tamaño uniforme, a veces incluso más que las técnicas fisicoquímicas. Estos aspectos de la síntesis biológica cumplen con varios principios fundamentales de la química sostenible, por lo que el método de biosíntesis se considera sostenible. También, la acción antimicrobiana de las nanopartículas sintetizadas a través de métodos biológicos se mejora, ya que los agentes de protección y estabilización utilizados son biomoléculas. Esto mejora la capacidad de las nanopartículas de plata para combatir a los microbios (27).

4.2.2.3. Síntesis de nanopartículas a partir de extractos vegetales

La producción de nanopartículas de plata a partir de extractos vegetales es un proceso comúnmente utilizado que se conoce como fitosíntesis. En comparación con los métodos de síntesis química y microbiológica, la fitosíntesis es más económica y se puede escalar fácilmente para fines industriales. Para sintetizar las nanopartículas, se utiliza un extracto acuoso obtenido de las hojas, raíces o tallos de la planta, al cual se agrega una solución acuosa de una sal de plata. El mecanismo de síntesis se produce mediante la reducción de los iones de plata con biomoléculas presentes en los extractos vegetales. Los extractos vegetales cumplen una doble función como agentes reductores y estabilizantes, por lo que se utiliza menos cantidad de reactivos que en los métodos químicos.

La síntesis de nanopartículas de plata a través de extractos vegetales es un proceso eficiente y rápido. Se pueden generar nanopartículas en tan solo 10 minutos de reacción, visualizándolo con un cambio de color. La velocidad de síntesis depende de factores como la temperatura y el pH. Además, el tamaño y la forma de las nanopartículas resultantes pueden regularse variando la temperatura, la concentración de nitrato de plata y la concentración del extracto vegetal (28).

Los extractos de hojas son los más utilizados para la producción de nanopartículas de plata debido a su facilidad de uso. Sin embargo, las propiedades de las nanopartículas pueden variar dependiendo del tipo de planta utilizada, ya que el contenido de fitocomponentes es diferente. Estas propiedades incluyen el tamaño de las nanopartículas sintetizadas, su dispersión, sus actividades terapéuticas y su estabilidad. Otra ventaja de la síntesis de nanopartículas de plata a partir de extractos vegetales es que las nanopartículas resultantes tienen una mayor actividad antioxidante que las producidas por otros métodos. Los antioxidantes son importantes para eliminar los radicales libres no deseados en el cuerpo, que pueden causar problemas de salud como el cáncer. La biosíntesis de nanopartículas puede ocurrir de dos maneras: biorreducción o biosorción. En la biorreducción, los iones de plata se reducen a formas más estables biológicamente, mientras que, en la biosorción, el metal se une al organismo a través de la pared celular.

En conclusión, la síntesis de nanopartículas de plata a partir de extractos vegetales es un proceso económico, eficiente y rápido que ofrece diversas ventajas. Se pueden regular varias propiedades de las nanopartículas resultantes, lo que las hace adecuadas para una amplia gama de aplicaciones. Adicionalmente, las nanopartículas resultantes tienen propiedades antioxidantes, lo que las hace beneficiosas para la salud (29).

En la Tabla N°2 se podrá apreciar la comparación de los métodos de síntesis de nanopartículas de plata en la cual se podrá ver los parámetros como lo son la energía que utilizan, costo de producción, solventes utilizados, control y calidad de las nanopartículas de plata

Tabla N°2 Tabla de la comparación de los métodos de síntesis de nanopartículas

Factores	Métodos físicos	Métodos químicos	Métodos biológicos
Energía	En este caso se necesita una gran cantidad de energía para la formación de NP requiriendo así altas temperaturas y una presión adecuada para la síntesis	En caso de los métodos químicos depende de los agentes reductores algunos necesitaran de otros factores y dependiendo de ello pueden ser eficientes o ineficientes	En caso de los métodos biológicos es eficientemente buena con respecto a la energía ya que la reacción ocurre a una temperatura ambiente al igual que la presión
Costo de producción	En este método el costo de producción es bastante elevado ya que es necesario un tipo especial de maquinaria además que utiliza bastante electricidad.	El costo de producción dependerá de los solventes a utilizar para la síntesis	Es de muy bajo costo por el uso de extractos vegetales en comparación con los otros métodos
Solvente utilizado	Usualmente la reacción ocurre en un medio libre de solventes	Los solventes utilizados para la reducción y estabilización de NP la mayoría son tóxicos para la salud y medio ambiente	La reacción se realiza en un medio libre de solventes o solventes que no son tóxicos con el medio ambiente o salud de las personas
Control sobre las características de las NP	Es difícil el control de características de las nanopartículas como lo puede ser la forma y el tamaño	Es relativamente más fácil controlar las características de las NPs con este método que con el método biológico	Es un poco difícil de controlar las características de las NPs por la diversidad de fitocomponentes en las plantas.
Seguridad de las NPs	Son bastantes seguras para la aplicación farmacéutica y biomédica	No son tan seguras ya que puede haber presencia de residuos tóxicos en la superficie de la nanopartícula	Son bastantes seguras para la aplicación farmacéutica y biomédica

Elaboración propia

4.2.3. Formación de las nanopartículas

La formación de nanopartículas sigue un proceso de síntesis que se divide en tres etapas: reducción, crecimiento o nucleación y estabilización, como se ilustra en la Figura N°1. La reducción de las nanopartículas es posible gracias a la presencia de agentes biorreductores, tales

como enzimas, proteínas, flavonoides y terpenoides, que facilitan este proceso. La estabilidad de las nanopartículas es crucial para preservar diversas propiedades, incluyendo la composición, la cristalinidad, la forma, el tamaño y la química superficial, las cuales influyen significativamente en la actividad microbiana de las nanopartículas. Por esa razón, el último paso, la estabilización, adquiere una importancia crítica, especialmente cuando se emplean las nanopartículas sintetizadas por su actividad antimicrobiana.

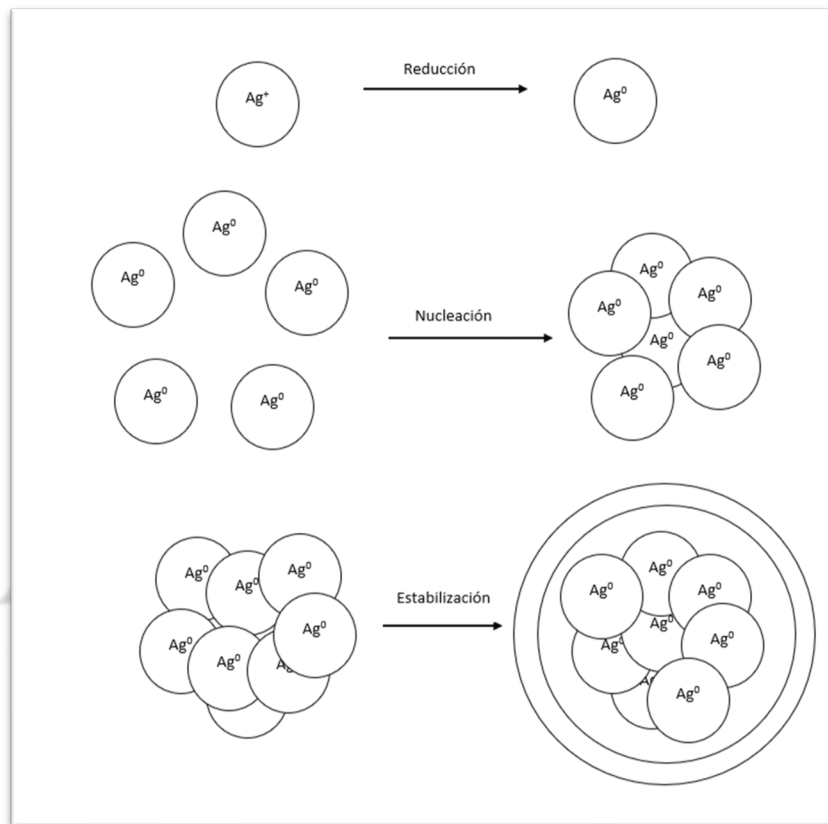


Figura N°1 Síntesis de nanopartículas de plata.

Elaboración Propia

Cada una de estas propiedades, en especial la composición, el tamaño y la forma, tienen un impacto significativo en la actividad microbiana de las nanopartículas, por lo que se debe prestar especial atención a su estabilización.

4.2.4. Efectos de los parámetros operacionales para la síntesis de nanopartículas de plata

La síntesis de nanopartículas de plata depende en gran medida de algunos parámetros

Estos parámetros influyen en la síntesis de nanopartículas. independientemente de la técnica utilizada.

4.2.4.1. Efectos de la concentración de iones de plata en la síntesis de nanopartículas de plata.

La concentración de iones de plata en la solución de síntesis puede afectar la tasa de formación de nanopartículas de plata, el tamaño y la forma de las partículas y su estabilidad a largo plazo. En particular, se ha observado que la concentración de iones de plata influye en la tasa de nucleación y crecimiento de las nanopartículas de plata. A bajas concentraciones de iones de plata, la tasa de nucleación puede ser lenta, lo que puede llevar a la formación de partículas más grandes. Por otro lado, a altas concentraciones de iones de plata, la tasa de nucleación puede ser alta y la formación de partículas más pequeñas. Además, la forma de las nanopartículas de plata también puede verse afectada por la concentración de iones de plata. Se ha observado que a concentraciones bajas, las nanopartículas tienden a ser esféricas, mientras que a concentraciones más altas, las nanopartículas pueden tener formas irregulares (30).

4.2.4.2. Efectos de la temperatura para la síntesis de nanopartículas de plata.

En la síntesis de nanopartículas de plata, se ha observado que el aumento de la temperatura puede acelerar el proceso de formación debido a que incrementa la velocidad de la reacción química y nucleación de las partículas. No obstante, es necesario tener cuidado con la temperatura, ya que, si se sobrepasa cierto umbral, puede generar una aglomeración excesiva de partículas, lo que resulta en la formación de nanopartículas más grandes o incluso en la degradación de estas. Además, la temperatura también tiene un efecto en la forma y tamaño de las nanopartículas de plata, donde a temperaturas más altas, las partículas suelen presentar una forma más irregular y menor tamaño en comparación con las sintetizadas a temperaturas más bajas (31).

4.2.4.3. Efectos del tiempo de reacción para la síntesis de nanopartículas de plata

Según las investigaciones revisadas, se ha observado que, al prolongar el tiempo de reacción en la síntesis de nanopartículas de plata, se puede obtener una formación de

partículas más grande y con una distribución más amplia de tamaños de partículas. Por el contrario, tiempos de reacción más cortos pueden dar lugar a una formación de partículas más pequeñas y con una distribución más estrecha de tamaños de partículas. Es importante destacar que el tiempo de reacción es un factor que puede verse afectado por otros aspectos, como la concentración de iones de plata, la temperatura y la velocidad de agitación, los cuales pueden influir en la tasa de nucleación y crecimiento de las partículas. En razón de esto, es fundamental considerar de manera cuidadosa la interacción entre estos factores en la síntesis de nanopartículas de plata y llevar a cabo pruebas experimentales para determinar el tiempo de reacción óptimo en las condiciones de síntesis específicas (31).

4.2.4.4. Efectos del pH para la síntesis de nanopartículas de plata

Al aumentar el valor del pH, se puede incrementar tanto la tasa de nucleación como la velocidad de crecimiento de las partículas de plata, lo que se traduce en una formación acelerada de nanopartículas. En cambio, cuando se disminuye el valor del pH, se puede reducir tanto la tasa de nucleación como la velocidad de crecimiento de las partículas, lo que puede resultar en una formación más lenta de nanopartículas de plata. Además, el pH puede influir en la forma y tamaño de las partículas. Se ha evidenciado que, en valores de pH más altos, las nanopartículas pueden presentar formas irregulares y un tamaño menor, en comparación con las partículas sintetizadas en valores de pH más bajos. En consecuencia, es fundamental seleccionar adecuadamente el valor de pH para la síntesis de nanopartículas de plata, según las características específicas requeridas para su uso, y llevar a cabo pruebas experimentales para determinar el pH óptimo en las condiciones de síntesis (31).

4.2.5. Estabilidad de las nanopartículas sintetizadas

El método de síntesis elegido debe dar como resultado la formación de nanopartículas. La estabilidad de las nanopartículas de plata es importante, especialmente en el contexto de la entrega de fármacos. Si la nanopartícula sintetizada es inestable, entonces hay una tendencia a que reaccionen entre ellas o con otras sustancias, lo que a menudo conduce a

resultados no deseados. Al mismo tiempo, si la nanopartícula resultante es demasiado estable, entonces su reactividad será demasiado baja. Esto también podría ser indeseable. Por ende, mientras se preparan nanopartículas de plata, se necesita un estabilizador o agente de protección adecuado adicional. Estos agentes juegan un papel clave en la síntesis de nanopartículas como previenen el crecimiento excesivo de nanopartículas al controlar el paso de oxidación y agregación. El uso de agentes reductores modifica las propiedades de las nanopartículas sintetizadas, haciéndolas así más adecuadas para aplicaciones en el sector de la salud. Estos agentes suelen ser de naturaleza anfifílica, es decir, permiten que la nanopartícula tenga afinidad para medios hidrofílicos y lipofílicos, un criterio crucial para la administración de fármacos. En métodos físicos y químicos de síntesis, necesitan de protección externa durante la síntesis de NP por lo cual se añaden agentes como EDTA, PEG y alcohol polivinílico (3).

En base a los métodos biológicos, no existe la necesidad de la adición de un agente de protección, esto es debido a que el microorganismo/planta o un extracto del propio microorganismo/planta contiene sustancias como aminoácidos, péptidos, otras sustancias orgánicas que pueden actuar como agentes de cobertura y estabilizadores. Por consiguiente, el número de productos químicos necesarios para nanopartículas la síntesis disminuye, haciendo así que los métodos biológicos sean más ecológicos y económicos.

4.2.6. Contexto verde de síntesis biológica

Primeramente, debemos conocer el concepto de química verde este método se enfoca en la síntesis de sustancias químicas de forma nueva y revolucionaria promoviendo así una química más amigable con el medio ambiente y la salud. La química verde contribuye a reducir el riesgo químico asociado al uso y manufactura de productos químicos; reduce o elimina el impacto ambiental de las aguas residuales y la dispersión de contaminantes en la atmósfera; reduce el alto consumo de energía y agua; reduce el impacto ambiental que puedan producir los productos químicos una vez usados; y por último minimiza el flujo de los materiales no renovables (32).

Si bien hemos establecido que la síntesis biológica de nanopartículas de plata es la más ecológica, es importante comprender las características exactas que hacen que este proceso sea ecológico. Como se mencionó anteriormente, los procesos físicos y químicos de

síntesis violan varios principios de química verde y, por ello, no se consideran ecológicos como se ve en la Tabla N°2. Sin embargo, la síntesis biológica parece haber superado este inconveniente de métodos químicos y físicos en gran medida. El método biológico verde para la síntesis de nanopartículas pretende minimizar los residuos generados durante la reacción. La reacción transcurre sin la formación de ningún subproducto significativo. Además, no hay ningún requisito para la drástica condición de reacción. Así, la energía total consumida durante el curso de la reacción se mantiene al mínimo. No se utilizan productos químicos tóxicos, y todos los agentes reductores utilizados son biomoléculas. Estos agentes biorreductores pueden ser reciclados y regenerados, y no aumentan los residuos netos en el ambiente. El producto final de las nanopartículas de plata también tiende a ser más puro. Esto se debe a que el riesgo de contaminación en caso de biosíntesis es relativamente bajo. Esto implica que las nanopartículas de plata sintetizadas por este método son inherentemente más seguras y puras que las sintetizadas por métodos físicos o métodos químicos. Por lo que, la síntesis biológica de nanopartículas de plata encarna un aspecto muy importante de la química verde de "química inherentemente más segura". Adicionalmente, una ventaja bastante significativa de la síntesis biológica es que utiliza recursos renovables para la fabricación de nanopartículas de plata. En conclusión, el impacto sobre el medio ambiente es mínimo. Esto es una importante ventaja de la síntesis biológica en la era del calentamiento, especialmente si la industria farmacéutica acaba comercializando la síntesis de nanopartículas de plata (33).

4.2.7. Métodos de caracterización de nanopartículas

Luego de llevar a cabo la síntesis de las nanopartículas de plata, es de vital importancia realizar una caracterización detallada de las mismas. Esto implica la medición rigurosa de sus propiedades físicas y químicas, lo cual resulta especialmente crítico en el caso de su utilización en aplicaciones biomédicas. La caracterización es esencial para garantizar la seguridad y eficacia de las nanopartículas y para detectar cualquier alteración en sus propiedades, que pudiera afectar su efecto terapéutico. Existen diversos métodos para caracterizar las nanopartículas, aunque el método más habitual es la microscopía electrónica de barrido (SEM) y el análisis espectroscópico mediante Espectroscopia UV-Visible.

Cabe destacar que las nanopartículas de plata exhiben el fenómeno de resonancia de plasmón superficial (RPS), el cual se produce cuando se absorbe energía luminosa y se produce una resonancia entre las bandas de valencia y conducción de los átomos de plata. El pico de absorción en la banda RPS depende de diversos parámetros, como la forma y tamaño de las nanopartículas. Al comparar el valor máximo de absorción obtenido con los valores disponibles en la literatura, se puede realizar una caracterización eficiente de las nanopartículas sintetizadas. No obstante, para llevar a cabo una caracterización más completa, se prefiere el empleo de La microscopía electrónica de barrido SEM ya que proporciona información sobre las propiedades físicas, como la forma y tamaño, así como las propiedades químicas de las nanopartículas.

4.2.7.1. Espectroscopia UV

La Espectroscopía UV-Visible es una técnica analítica que es utilizada principalmente para medir la absorbancia de la luz en una muestra. Este método es fundamentado en la interacción entre la radiación electromagnética y los electrones de los átomos o moléculas presentes en la muestra. La luz absorbida produce una señal que se mide en función de la longitud de onda.

En la espectroscopía UV-Visible, la muestra se expone a una fuente de luz que abarca un rango de longitudes de onda que va desde la región ultravioleta (UV) hasta la región visible del espectro electromagnético. La cantidad de luz absorbida por la muestra se mide en función de la longitud de onda, lo que permite determinar la concentración de la especie absorbente presente en la muestra.

Este método es considerablemente beneficioso para la caracterización de nanopartículas, ya que permite obtener información sobre la forma, tamaño y distribución de tamaño de las partículas. La posición del pico de absorbancia se relaciona con el tamaño y la forma de las nanopartículas. Asimismo, la espectroscopía UV-Vis se puede utilizar para medir la estabilidad y la aglomeración de las nanopartículas en una solución (34).

En el presente documento se recopiló las máximas longitudes de onda para cada tipo de nanopartícula lo que nos permite identificar a las nanopartículas de plata por su resonancia de plasmones que se puede encontrar en los rangos de 400nm a 450nm, este es un gran indicador de la formación de nanopartículas y los resultados se pueden encontrar en la

tabla N°6.

4.2.7.2. Espectroscopia IR

La espectroscopia infrarroja (IR) es una técnica analítica no destructiva que se emplea para identificar y analizar compuestos orgánicos e inorgánicos en una muestra. Esta técnica radica en la absorción de radiación infrarroja por las moléculas de la muestra, lo que produce un espectro de absorción característico.

La muestra se coloca en un instrumento de espectroscopia infrarroja, donde se expone a un haz de radiación infrarroja. Las moléculas en la muestra absorben la radiación infrarroja en frecuencias específicas que son características de las vibraciones moleculares. El espectro de absorción resultante muestra bandas o picos de absorción que corresponden a las vibraciones moleculares específicas de los compuestos presentes en la muestra.

La espectroscopia infrarroja se utiliza en una amplia variedad de campos, incluyendo la química, la ciencia de materiales, la farmacología y la biología. Esta técnica se utiliza para cuantificar e identificar los compuestos presentes en una muestra, determinar la estructura química de los compuestos, y monitorear cambios en las propiedades de los compuestos debido a cambios en las condiciones ambientales (35).

En todos los documentos revisados trabajaron con espectroscopia infrarroja ya que nos da una idea de los grupos funcionales que eran responsables de la reducción y estabilización de las nanopartículas que se pueden ver en la tabla N°6.

4.2.7.3. Difracción de rayos x (XRD)

La difracción de rayos X (XRD) es una técnica analítica que es utilizada para identificar la estructura cristalina de materiales sólidos. Esta técnica está basada en la difracción de rayos X por los átomos de una muestra, lo que produce un patrón de difracción característico que puede ser analizado para determinar la estructura cristalina de la muestra.

La muestra se coloca en un instrumento de difracción de rayos X, donde se bombardea con un haz de rayos X. Los átomos de la muestra difractan los rayos X en diferentes ángulos, lo que produce un patrón de difracción en una pantalla o detector. El patrón de difracción resultante es único para cada estructura cristalina y se puede utilizar para identificar la

estructura cristalina de la muestra.

La difracción de rayos X es una técnica no destructiva y altamente precisa para determinar la estructura cristalina de los materiales sólidos. Además de la identificación de la estructura cristalina, la difracción de rayos X también se utiliza para cuantificar la cantidad de fases cristalinas presentes en una muestra, determinar el tamaño y la forma de los cristales, y medir la tensión en los materiales cristalinos (36).

4.2.7.4. Microscopia electrónica de barrido (SEM)

En la microscopia electrónica de barrido se utilizan electrones en lugar de luz para lograr formar una imagen, esto se da gracias a que el microscopio electrónico de barrido cuenta con un dispositivo llamado como filamento que genera un haz de electrones para iluminar la muestra y con diferentes detectores del dispositivo se pueden recoger los electrones generados de la interacción con la muestra pudiendo así obtener una imagen que refleja las características superficiales de la muestra proporcionando así formas texturas y composición química de sus constituyentes (37).

Como se mencionó anteriormente este análisis junto con la difracción de rayos X nos ayudó a tener una aproximación del tamaño y forma de las nanopartículas reducidas y estabilizadas con extractos vegetales todos estos resultados se aprecian en la tabla N°6.

En la Figura N° 2 podemos apreciar a la nanopartícula de plata generada por síntesis química caracterizada por un análisis SEM en la cual se observa que la nanopartícula es de forma definida y lisa mientras que la Figura N° 3 se aprecia a la nanopartícula generada por síntesis verde que tiene cierta rugosidad.

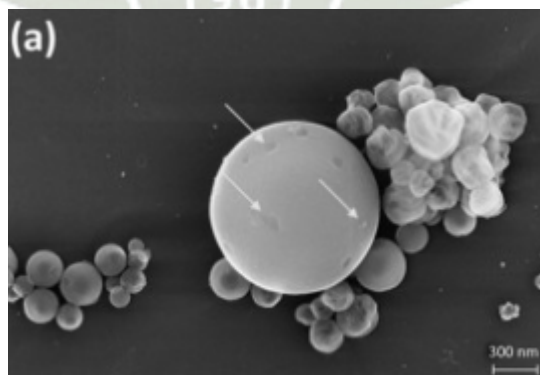


Figura N° 2 Nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis química (38).

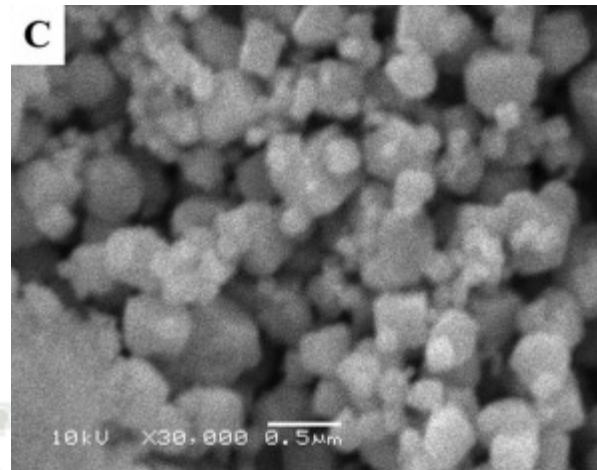


Figura N° 3 Nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis verde (39).

4.2.8. Acción antimicrobiana de las nanopartículas de plata

Las nanopartículas de plata son conocidas por su actividad antibacteriana. Las tablas N° 7 muestran su alta eficacia contra una variedad de bacterias. Aunque el mecanismo exacto de su actividad aún no se ha establecido, se cree que las nanopartículas liberan iones de plata que son tóxicos para los microbios. Se especula que estas partículas causan la lisis de las células microbianas.

Las nanopartículas de plata tienen la capacidad de adherirse a la pared celular y la membrana citoplasmática de la célula bacteriana. A medida que se adhieren, la permeabilidad de la membrana aumenta, lo que conduce a la destrucción de la célula. La acumulación de nanopartículas de plata en las paredes celulares también puede causar su desnaturalización o incluso modificar la estructura de la membrana celular.

La eficacia de las propiedades antibacterianas de las nanopartículas de plata depende del tipo de bacteria. Se ha observado que las nanopartículas de plata son más adecuadas para luchar contra bacterias gramnegativas que grampositivas debido a las diferencias en las estructuras de sus paredes celulares. Las nanopartículas de plata también se han convertido en una herramienta esencial para combatir la creciente resistencia a los medicamentos en los microbios, especialmente en las bacterias resistentes. Se supone que los microbios tendrán menos tendencia a desarrollar resistencia contra las nanopartículas metálicas, lo que las convierte en una solución a largo plazo (40).

Algunos estudios incluso postulan que las nanopartículas de plata causan la destrucción

de microbios a través de la formación de radicales libres que finalmente resultan en la alteración de la membrana microbiana. En cuanto a la actividad antifúngica de las nanopartículas de plata, la literatura indica que estas partículas interfieren con el ciclo celular fúngico, provocando su destrucción. Al igual que en las bacterias, las nanopartículas también provocan la ruptura de membranas de células fúngicas alterando el potencial de membrana y, por lo tanto, rompiendo las barreras de permeabilidad de la membrana. La investigación muestra que las nanopartículas de plata podrían incluso funcionar eficazmente contra bacterias multirresistentes. Varios trabajos de investigación han demostrado que el uso cooperativo de nanopartículas de plata con antibióticos aumenta su actividad contra las bacterias multirresistentes. La acción sinérgica de las nanopartículas de plata y los antibióticos conduce a una variedad de ataques contra las bacterias resistentes a múltiples fármacos, conduciendo a su muerte (41).

Incluso cuando no se usan en combinación con antibióticos, las nanopartículas de plata pueden por sí solas trabajar eficazmente contra las bacterias multirresistentes. Se piensa que esto puede deberse a la facilidad con la que las nanopartículas de plata pueden ser internalizadas por la célula bacteriana, lo que finalmente conduce a la toxicidad de la célula. Como resultado, hay suficiente evidencia preliminar para demostrar que las nanopartículas de plata tienen un inmenso potencial de superar el problema de la farmacorresistencia bacteriana y fungicida. Añadido a eso, las nanopartículas de plata también tienen aplicaciones en otras áreas, como en la industria alimentaria, donde se pueden utilizar para inhibir el crecimiento de bacterias y prolongar la vida útil de los alimentos (42).

4.2.8.1. Técnica de difusión en disco

La técnica de difusión en disco es un método utilizado para evaluar la sensibilidad de las bacterias a los antibióticos. La técnica consiste en colocar discos que contienen diferentes tipos de antibióticos en una placa de agar que ha sido previamente inoculada con una cepa bacteriana. Después de la incubación, se evalúa la zona de inhibición alrededor de cada disco, que es una zona clara donde no hay crecimiento bacteriano. El tamaño de la zona de inhibición se mide y se compara con los valores de referencia para determinar si la bacteria es sensible, resistente o intermedia a un antibiótico determinado. Esta técnica es ampliamente utilizada en laboratorios de microbiología y clínicos para orientar la

selección de los tratamientos antibióticos y para monitorear la resistencia a los antibióticos en las bacterias (43).

4.2.8.2. Concentración mínima inhibitoria

La Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) es un valor utilizado para evaluar la efectividad de un antibiótico contra una cepa bacteriana específica. Este valor indica la concentración más baja de un antibiótico que es capaz de inhibir el crecimiento bacteriano. La técnica de dilución en caldo es utilizada para determinar la CMI. Esta técnica involucra la colocación de diferentes concentraciones de un antibiótico en una serie de tubos de ensayo que contienen una suspensión de bacterias. Luego, después de la incubación, se observa visualmente la presencia o ausencia de crecimiento bacteriano en cada tubo. La CMI se define como la concentración más baja de antibiótico que inhibe el crecimiento bacteriano. La determinación de la CMI es importante para seleccionar el tratamiento antibiótico adecuado y para identificar la resistencia bacteriana a los antibióticos. Además, también es utilizada para evaluar la eficacia de nuevos compuestos antibióticos. La técnica de dilución en caldo es ampliamente utilizada en laboratorios clínicos y de microbiología para determinar la CMI (44).

4.2.9. Criterios para garantizar una acción antimicrobiana eficaz

La síntesis de nanopartículas de plata con distintos métodos produce partículas con propiedades físicas ligeramente diferentes, como forma, tamaño y distribución uniforme. Antes de estudiar los métodos de síntesis, es fundamental comprender las propiedades que afectan la acción antimicrobiana de las nanopartículas. La citotoxicidad de las nanopartículas de plata depende de varias propiedades, incluyendo tamaño, forma, composición y tipo de agente reductor utilizado. Es importante asegurar que las nanopartículas de plata sintetizadas sean uniformes en cuatro parámetros: tamaño, forma, morfología y funcionalidad. En cuanto al tamaño, se ha encontrado que las nanopartículas más pequeñas son más estables y muestran una mayor actividad antimicrobiana. Se ha demostrado una relación entre el tamaño y la actividad antimicrobiana en diferentes estudios, donde se analizó la actividad de nanopartículas de plata de diferentes diámetros (5 nm, 15 nm y 55 nm), encontrando que la nanopartícula de 5 nm mostró la máxima

actividad biológica. Esta relación ha sido corroborada por varios estudios disponibles en la literatura. También se ha establecido que, a medida que el tamaño de las nanopartículas de plata disminuye, aumenta la citotoxicidad. Esto se debe a que las nanopartículas más pequeñas tienen un área de superficie más grande que permite una interacción más significativa con el microbio, penetrando a través de las paredes celulares de manera efectiva, causando daño a la membrana y mayor permeabilidad, lo que eventualmente conduce a la lisis celular. Además, las nanopartículas más pequeñas pueden asegurar una mayor disponibilidad intracelular, aumentando así la citotoxicidad. La forma de la nanopartícula también influye en su biodisponibilidad y actividad antimicrobiana. Las nanopartículas existen en una variedad de formas, incluyendo esféricas, triangulares y hexagonales. Se ha encontrado que la toxicidad de las nanopartículas hexagonales es máxima. La dependencia de la toxicidad de la forma se ha relacionado con la diferencia en el área de superficie para varias formas de la nanopartícula. Como resultado, es evidente que el tamaño y la forma de la nanopartícula tienen un impacto significativo en su citotoxicidad y actividad como agente antimicrobiano. En conclusión, el método de síntesis elegido para producir nanopartículas de plata debe garantizar un alto rendimiento en el tamaño y la forma correctos para asegurar su eficacia como agente antimicrobiano (45).

4.2.10. Toxicidad y suministro de nanopartículas de plata

Mientras que las nanopartículas de plata ejercen potentes actividades antimicrobianas, su toxicidad a largo y corto plazo para el ser humano necesita ser analizada. Las pruebas in vitro sugieren que las NP de Ag podrían tener un potencial para causar daño a las células humanas, al causar graves dolencias como daño en el ADN, apoptosis celular y deterioro mitocondrial, funcionando principalmente debido al estrés oxidativo. Sin embargo, los iones de plata, liberados tras la oxidación de las nanopartículas, son potencialmente menos tóxicos que las propias nanopartículas. Así pues, cuanto más dirigido sea el método de administración, menor es la toxicidad y mayor es la biodisponibilidad (46).

La síntesis de nanopartículas mediante métodos tradicionales es costosa, peligrosa y perjudicial para el medio ambiente. Para superar estas dificultades, los investigadores descubrieron metodologías ecológicas específicas para la fabricación de nanopartículas.

Las plantas y sus extractos han adquirido una valiosa importancia en la síntesis verde de nanopartículas debido a su técnica rápida de desarrollo, rentabilidad, y características ecológicamente beneficiosas. Se han utilizado eficazmente las raíces, tallos, hojas, flores, brotes, semillas, cortezas y sus derivados para la biosíntesis de nanopartículas. Los componentes de la planta son dependientes de la cantidad de fitoconstituyentes funcionales, como los compuestos fenólicos, flavonoides y otros compuestos. Adicionalmente, los desechos agroalimentarios son una fuente importante de fitoquímicos, y su uso en la síntesis verde les da un valor agregado (47).



5. RESULTADOS

En primer lugar, se aplicó la metodología propuesta obteniendo los siguientes resultados bibliométricos:

5.1. Análisis bibliométrico

Utilizando el criterio de búsqueda señalado en la parte metodológica, La Figura N°4 y la Figura N°5 muestran el número de artículos encontrados en Science Direct y Scopus, siendo un total de 413 y 313 artículos publicados respectivamente hasta el 26 de noviembre del 2022.

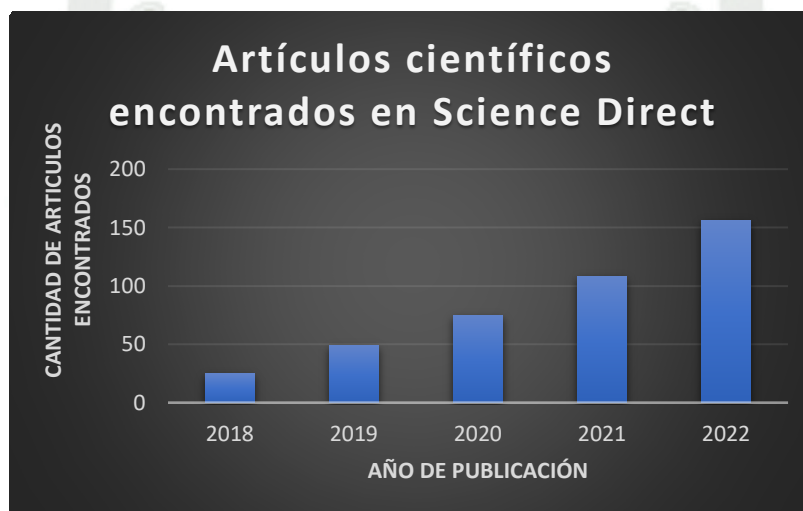


Figura N°4 Artículos científicos encontrados en Science Direct

Elaboración propia

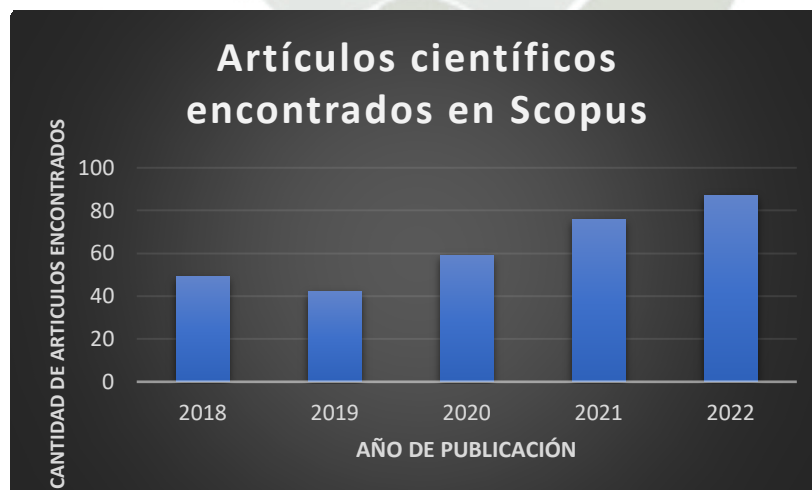


Figura N°5 Artículos científicos encontrados en Scopus

Elaboración propia

Después de analizar los resultados de ambas bases de datos, se excluyeron un total de 336 artículos de Science Direct y 263 artículos de Scopus, ya que varios documentos no contenían información fuertemente relacionada con el tema. Además, se eliminaron los documentos duplicados de las bases de datos, obteniendo un total de 75 artículos científicos en total. De los artículos excluidos, la mayoría trataban sobre estudios que evaluaban la actividad antifúngica, otros artículos se excluyeron porque utilizaban otro metal que no fuera la plata, y por último se excluyó a los artículos que utilizaban otro tipo de material que no fueran extractos vegetales. Posteriormente se trabajó la metodología de elección de los artículos científicos mediante el siguiente diagrama representado por la figura N°6.



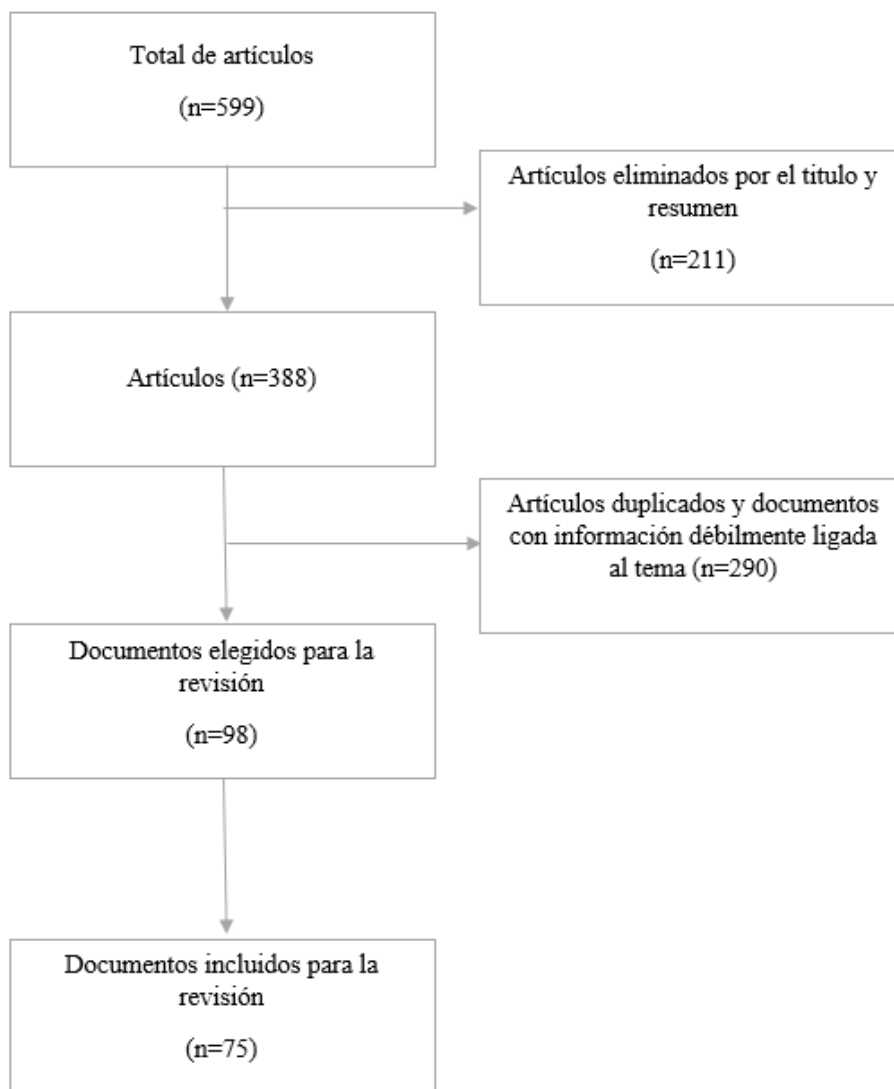


Figura N°6 Metodología de elección de los artículos científicos

Elaboración propia

Llegando a la conclusión de utilizar 75 artículos científicos. Añadiendo a ello, se utilizaron 117 artículos científicos con información relevante para contextualizar el tema, visualizados en la lista de referencias bibliográficas. Luego, se procedió a clasificar los documentos experimentales en tablas para, posteriormente, realizar un análisis exhaustivo de los mismos con el fin de identificar patrones, tendencias y relaciones significativas entre los datos.

A continuación, se presentarán los resultados obtenidos tras la clasificación y el análisis de los datos documentales, destacando los principales hallazgos y conclusiones que se han obtenido a partir de la interpretación de los mismos.

Tabla N°3 Tabla de la síntesis de extractos vegetales parte 1 de 6

Planta estudiada	Tipo de extracción	Características de la extracción	Solvente utilizado	Lugar de recolección de la planta	Parte de la planta	Ref.
<i>Fragaria ananassa</i>	Agitación	200rpm/2h	Agua destilada	Swat, Pakistán.	Fruta	(48)
<i>Persea americana</i>	Agitación	30min	Metanol	Yogyakarta, Indonesia	Pulpa de fruta liofilizada	(49)
<i>Jatropha integririma</i>	Agitación	15min	Agua bidestilada	Tamil Nadu, India	Flores	(50)
<i>Rhus javanica</i>	Agitación	60 °C /2h	Agua desionizada	Dir Upper, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistán	Corteza pulverizada	(51)
<i>Punica granatum L.</i>	Agitación	25°C/1h	Metanol	Arabia Saudita	Cascara de fruta seca	(52)
<i>Calotropis gigantea (L.)</i>	Agitación	25°C/15min	Agua destilada	Thrissur, Kerala	Hojas trituradas	(53)
<i>Rumex nervosus</i>	Decocción	100°C	Agua desionizada	Taiz, República de Yemen	Hojas pulverizadas	(54)
<i>Passiflora subpeltata</i>	Decocción	100°C/30min	Agua destilada	Tamil Nadu, India.	Hojas pulverizadas	(55)
<i>Brillantaisia patula</i>	Decocción	100°C/15min	Agua destilada	Kinshasa, RD Congo.	Hojas pulverizadas	(56)
<i>Allium fistulosum</i>	Decocción	100°C/45min	Agua destilada	Tamil Nadu, India.	Hojas pulverizadas	(57)
<i>Cinnamomum tamala</i>	Decocción	100°C/15min	Agua destilada	Jhenaidah, Bangladés	Hojas pulverizadas	(58)

Tabla N°3 Tabla de la síntesis de extractos vegetales parte 2 de 6

<i>Couroupita guianensis</i>	Decocción	100°C/20min	Agua destilada	Salem, Tamil Nadu, India.	Flores pulverizadas	(59)
<i>Ocimum canum</i>	Decocción	80°C/10min	Agua destilada	Chittorgarh Fort en el distrito de Chittorgarh de Rajasthan	Hojas frescas	(60)
<i>Parkia speciosa</i>	Decocción	100°C/5min	Agua desionizada	Bedong, Malasia	Hojas frescas	(61)
<i>Quercus coccifera L.</i>	Decocción	90°/30min	Agua destilada	Izmir, Turquía.	Hojas pulverizadas	(62)
<i>Acalypha wilkesiana</i>	Decocción	100°C/ 10min	Agua destilada	Nigeria	Hojas pulverizadas	(63)
<i>Dudleya brittonii</i>	Decocción	110°C/10min	Agua destilada	Asan, Corea.	Hojas frescas	(64)
<i>Cocos nucifera L.</i>	Decocción	100°C/20min	Agua destilada	Seúl, República de Corea.	Fruta	(65)
<i>Neurada procumbens</i>	Decocción	100°C/10min	Agua destilada	Riad, Arabia Saudita.	Hojas frescas	(39)
<i>Coriander sativum</i>	Decocción	100°C/20min	Agua ultrapura	Dhahran, Arabia Saudita.	Hojas frescas	(66)
<i>Scutellaria barbata</i>	Decocción	90 °C /30min	Agua desionizada	Jinan, China	Toda la planta pulverizada	(67)
<i>Azadirachta indica</i>	Decocción	100°C/10min	Agua Milli-Q	Anand, Gujarat, India.	Hojas secas	(68)
<i>Boerhaavia diffusa</i>	Decocción	100 °C /20 min	Agua destilada	Kuzhithurai, India	Hojas pulverizadas	(69)
<i>Calophyllum tomentosum</i>	Decocción	100°C/10min	Agua destilada	Karnataka, India.	Hojas secas	(70)

Tabla N°3 Tabla de la síntesis de extractos vegetales parte 3 de 6

<i>Barleria cristata</i>	Decocción	100°C/10min	Agua desionizada	Tamil Nadu, India	Hojas frescas	(71)
<i>Tridax procumbens</i>	Decocción	100 °C /2h	Agua desionizada	Tamil Nadu, sur de la India.	Inflorescencia	(72)
<i>Galphimia glauca</i>	Decocción	80 °C /60min	Agua destilada	Karnatak, Dharwad, India	Hojas cortadas	(73)
<i>Cynara cardunculus l</i>	Decocción	100°C/20min	Agua desionizada	Michoacán México	Hojas pulverizadas	(74)
<i>Allium cepa L</i>	Decocción	100°C/15min	Agua desionizada	Karnataka, India	Cascaras picadas	(75)
<i>Aloe vera</i>	Decocción	100°C/10min	Agua destilada	Lahore, Pakistan	Hojas picadas	(76)
<i>Myrsine africana</i>	Decocción	60°C/1h	Agua destilada	Kahuta, Pakistán	Hojas pulverizadas	(77)
<i>Poa bulbosa</i>	Decocción	87°C/2h	Agua destilada	Isfahan, Iran	Hojas pulverizadas	(78)
<i>Erythrina abyssinica</i>	Digestión	60°C/10min	Metanol	Zimbabue, África	Hojas pulverizadas	(2)
<i>Hagenia abyssinica (Bruce) J.F. Gmel</i>	Digestión	65°C/1h	Agua destilada	Delhi, India	Hojas pulverizadas	(30)
<i>Acacia cyanophylla</i>	Digestión	60°C/20min	Agua destilada	Siria	Hojas pulverizadas	(79)
<i>Salacia chinensis L.</i>	Digestión	80°C/4h	Etanol	Tamil Nadu, India.	Raíz pulverizada	(80)
<i>Flos Sophorae Immaturus</i>	Digestión	60°C/1h	Agua destilada	Chongqing, China.	Hojas pulverizadas	(81)
<i>Gymnema sylvestre</i>	Digestión	60°C/30min	Agua desionizada	Tamil Nadu, India	Hojas picadas	(82)

Tabla N°3 Tabla de la síntesis de extractos vegetales parte 4 de 6

<i>Pisum sativum L</i>	Digestión	60°C/10min	Agua bidestilada	Tamil Nadu, India	Vaina pulverizada	(83)
<i>Aloe vera</i>	Digestión	40°C/10min	Agua bidestilada	El Cairo, Egipto.	Penca de aloe vera	(84)
<i>Ficus microcarpa linn. F</i>	Digestión	60°C/20min	Agua Milli- Q	Andhra Pradesh, India	Hojas pulverizadas	(85)
<i>Azadirachta indica</i>	Digestión	70 °C /10min	Agua destilada	Jartum, Sudán	Hojas pulverizadas	(86)
<i>Cannabis sativa</i>	Digestión	60°C/20min	Agua bidestilada	Kashmir, India	Hojas pulverizadas	(87)
<i>Commiphora myrrha</i>	Digestión	65 °C/5h	Agua triplemente desionizada	Riyadh, Arabia Saudita.	Hojas pulverizadas	(88)
<i>Persea americana</i>	Digestión	65°C/1h	Agua desionizada	Toluca, México	Semillas pulverizadas	(89)
<i>Cestrum nocturnum</i>	Digestión	70°C/2h	Agua desionizada	Varanasi, India.	Hojas pulverizadas	(90)
<i>Ixora brachypoda</i>	Digestión	60°C/1h	Agua desionizada	Karnataka, India	Hojas frescas	(91)
<i>Torreya nucifera</i>	Digestión	60°C/15min	Agua destilada	Wando, Corea del Sur	Hojas pulverizadas	(92)
<i>Plantago major L.</i>	Extracción mediante ultrasonidos	37khz/20min	Etanol	Indonesia	Hojas pulverizadas	(93)
<i>Carthamus tinctorius L.</i>	Extracción mediante ultrasonidos	40khz/99min	Agua destilada	Sonora, México	Tallo y hojas pulverizadas	(94)
<i>Aquilegia pubiflora</i>	Extracción mediante ultrasonidos	10min	Agua destilada	Jaiber Pastunjuá, Pakistán	Toda la planta pulverizada	(95)

Tabla N°3 Tabla de la síntesis de extractos vegetales parte 5 de 6

<i>Dovyalis caffra</i>	Extracción mediante batidora	5min	Agua destilada	Menoufia, Egipto	Fruto fresco	(96)
<i>Rosa canina</i>	Extracción de microondas asistida	5min	-	Turquía	Fruta pulverizada	(97)
<i>Phoenix Dactylifera L</i>	Irradiación de microondas	300W/2min/25 °c	Agua bidestilada	Errachidia, Marruecos.	Corteza pulverizada	(98)
<i>Parkia biglandulosa</i>	Maceración	50°C/12h	Agua destilada	Bangalore, India	Hojas pulverizadas	(42)
<i>Annona senegalensis</i>	Maceración	25°C/12h	Agua destilada	Ogbomoso, Nigeria	Tallo	(99)
<i>Berberis vulgaris</i>	Maceración	25°C/42h	Agua destilada	Birjand, Irán	Raíz pulverizada	(100)
<i>Medicago sativa</i>	Maceración	25°C/72h	Metanol	Birjand, Irán	Toda la planta pulverizada	(101)
<i>Sophora pachycarpa</i>	Maceración	25°C/24h	Metanol	Khorasan Irán	Raíz pulverizada	(102)
<i>Tecoma stans</i>	Maceración	25°C/3días	Agua desionizada	Lahore, Pakistan	Hojas pulverizadas	(103)
<i>Eichhornia crassipes</i>	Maceración	25°C/7h	Acetona	Hubballi, Karnataka, India	Hojas pulverizadas	(104)
<i>Persicaria hydropiper</i>	Maceración	25°C/14días	Metanol	Pakhtunkhwa, Pakistán.	Hojas secas	(105)
<i>Aegle marmelos</i>	Maceración	25°C/24h	Agua desionizada	Bilaspur, Himachal Pradesh, India	Hojas pulverizadas	(106)

Tabla N°3 Tabla de la síntesis de extractos vegetales parte 6 de 6

<i>Syzygium cumini</i> (L) Skeels	Maceración	25°C/25días	Etanol	Sao Paulo, Brasil.	Semillas pulverizadas	(107)
<i>Sambucus ebulus</i>	Percolación	-	Metanol	Mazandaran en Irán.	Hojas pulverizadas	(108)
<i>Carya illinoensis</i>	Percolación	25°C/24h	Metanol	Golestán, Irán.	Hojas pulverizadas	(109)
<i>Conocarpus Lancifolius</i>	Reflujo	110°C/20min	Agua desionizada	Jeddah, Arabia Saudita	Hojas pulverizadas	(110)
<i>Malva verticillata</i>	Reflujo	100°C/4h	Agua destilada	Distrito de Alipurduar, Bengala Occidental, India.	Hojas pulverizadas	(111)
<i>Oxalis griffithii</i> (Wood Sorrel)	Soxhlet	48h	Metanol	Sirmaur, Himachal Pradesh, India	Hojas pulverizadas	(112)
<i>Ipomoea carnea</i> Jacq.	Soxhlet	48h	Agua bidestilada	Haridwar, India	Hojas pulverizadas	(113)
<i>Ipomoea carnea</i> Jacq.	Soxhlet	100°C/ 72h	Metanol	Uttarakhand, India.	Hojas pulverizadas	(114)
<i>Kaempferia angustifolia</i>	Soxhlet	72h	Etanol	Howrah, India.	Hojas pulverizadas	(115)

Elaboración propia

5.2. Comparación de los métodos de extracción

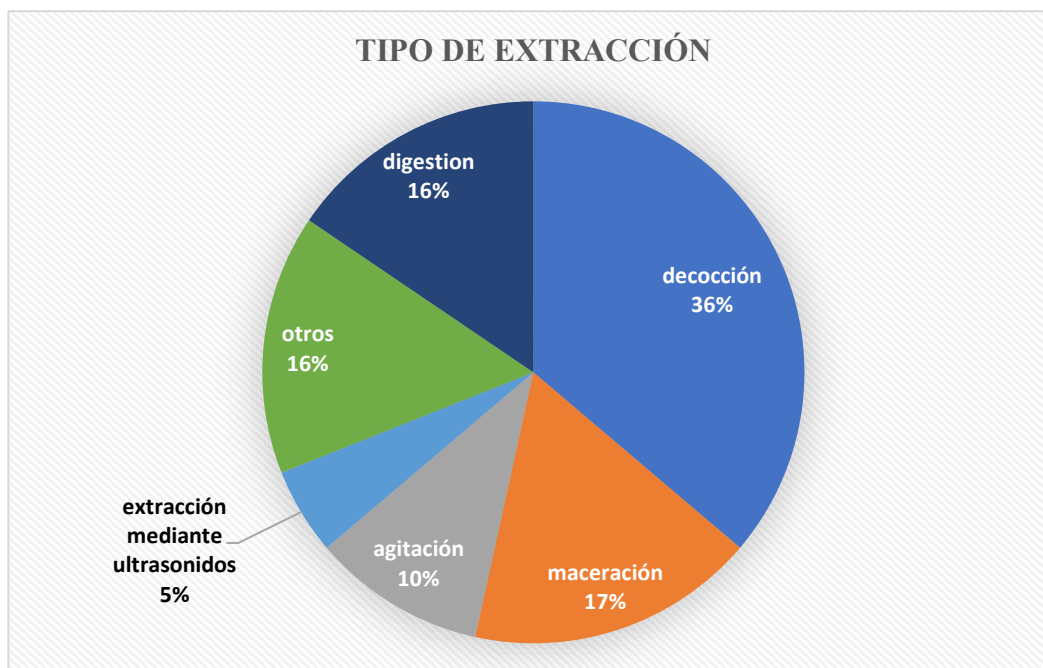


Figura N°7 Gráfico de los métodos de extracción utilizados por los estudios

Elaboración Propia

Según los resultados que se obtuvieron en la Figura N°7 se puede indicar que el método más utilizado por los estudios fue la decocción. La principal razón del amplio uso de la decocción en los documentos analizados podría ser debido a su alta capacidad de extracción en un periodo corto de tiempo. Asimismo, la decocción se lleva a cabo utilizando solventes no tóxicos como el agua, lo que garantiza una extracción selectiva y no tóxica de los compuestos deseados sin alterar su estructura química. Por otra parte, el uso de agua como solvente en la decocción es ventajoso debido a su amplia disponibilidad y bajo costo en comparación con otros solventes orgánicos o reactivos ácidos utilizados en otros métodos de extracción. La decocción permite la extracción eficiente de una amplia gama de compuestos bioactivos presentes en las plantas, como polifenoles, flavonoides y taninos. Estos compuestos juegan un papel esencial en la reducción y estabilización de nanopartículas durante la síntesis. También, la decocción es considerada un método sostenible y seguro, ya que utiliza solventes naturales y no tóxicos, lo que reduce el impacto ambiental y los riesgos para la salud. Por otra parte, la simplicidad y facilidad de escalamiento de la decocción la convierten en una opción práctica para aplicaciones a gran escala en la industria.

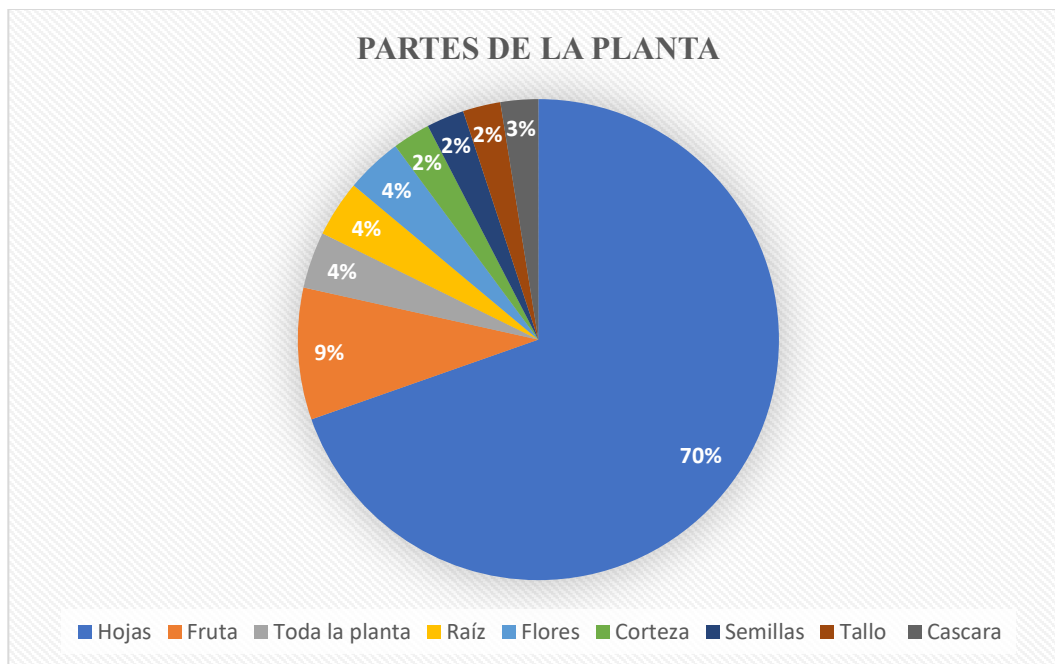


Figura N°8 Gráfico de la comparación de las partes de la planta que han sido utilizados por los estudios

Elaboración propia

Según los datos representados en la Figura N°8 nos indican que los estudios principalmente usaron las hojas de las plantas ya que, las hojas ofrecen una mayor disponibilidad y abundancia en comparación con las flores, lo que permite un suministro constante de materia prima para la síntesis de nanopartículas. También, las hojas contienen una concentración más alta de compuestos bioactivos, como polifenoles, flavonoides y taninos, los cuales desempeñan un papel crucial en la reducción y estabilización de las nanopartículas de plata durante la síntesis. La composición química y el perfil metabólico de las hojas son más adecuados para la síntesis de nanopartículas en comparación con las flores. Las hojas contienen sustancias químicas, como ácidos orgánicos y enzimas, que actúan como agentes reductores y estabilizadores efectivos en la formación de las nanopartículas. Además, la estructura y morfología de las hojas, que presentan un área superficial mayor y una disposición celular especializada, proporcionan un entorno propicio para la interacción de los compuestos bioactivos con los precursores de plata y la subsiguiente formación de las nanopartículas.

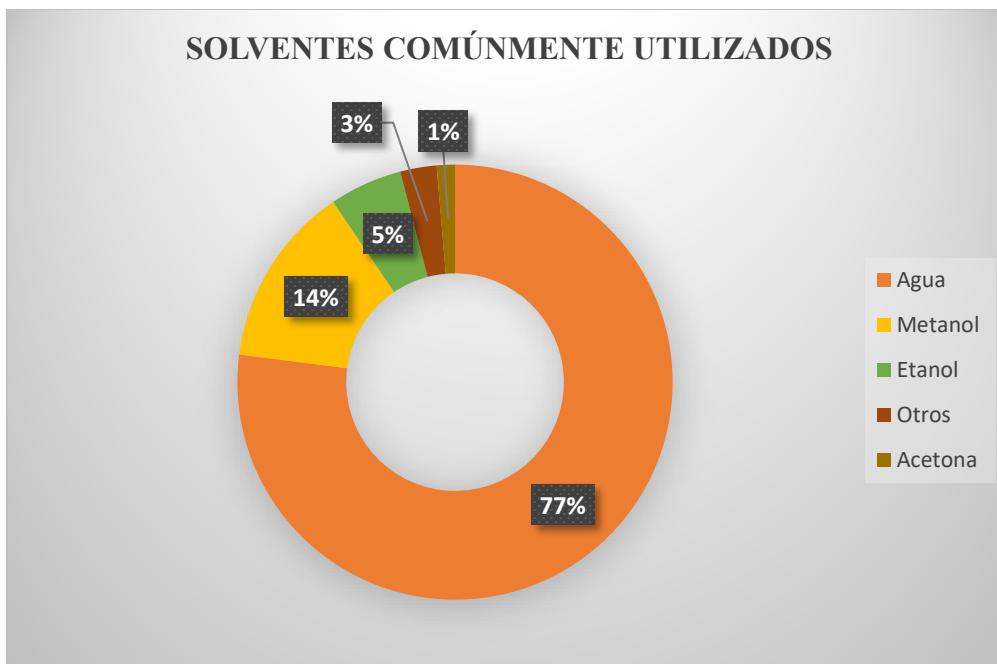


Figura N°9 Grafico de la comparación de los solventes comúnmente utilizados que han sido utilizados por los estudios

Elaboración propia

En la revisión bibliográfica realizada se encontró diferentes solventes en la preparación de extractos vegetales representados en la Figura N°9. El solvente más utilizado en los estudios recopilados fue el agua ya que, el agua destaca como el solvente predominante en la síntesis verde de nanopartículas de plata debido a que el agua es un solvente ampliamente disponible y económicamente viable, se posiciona como una opción preferida en comparación con otros solventes orgánicos o inorgánicos utilizados en síntesis químicas. Por otra parte, el agua es reconocida por su naturaleza sostenible y segura, al ser un solvente no tóxico y fácilmente reciclable, lo cual minimiza los impactos ambientales y los riesgos para la salud.

La polaridad del agua permite la disolución de una amplia gama de compuestos iónicos y polares, incluyendo muchos precursores de plata utilizados en la síntesis de nanopartículas. Esta capacidad de disolución facilita la manipulación y reacción de los precursores en soluciones acuosas. Asimismo, las propiedades de superficie del agua, como su alta tensión superficial y capacidad de formar puentes de hidrógeno, influyen en las interacciones entre las nanopartículas y los estabilizadores presentes en la solución acuosa, favoreciendo la formación de una capa de estabilización en la superficie de las nanopartículas.

Incluso, el agua ofrece un mayor control sobre las reacciones químicas, ya que sus condiciones de temperatura y pH pueden ser fácilmente ajustadas y controladas para optimizar las condiciones de reacción y obtener nanopartículas con propiedades deseadas, como tamaño, forma y estabilidad. En la tabla N°4 podremos observar los parámetros utilizados para la síntesis verde de nanopartículas de plata donde se ordenó mediante la relación nitrato de plata : extracto vegetal.

Tabla N°4 Tabla de los parámetros utilizados para la síntesis verde de nanopartículas de plata parte 1 de 6

Planta estudiada	Relación nitrato de plata: extracto vegetal	Concentración del nitrato de plata (mM)	Temperatura	Tiempo	Ref.
<i>Parkia speciosa</i>	1:1	10	25°C	24 h	(61)
<i>Dudleya brittonii</i>	1:1	1	35°C	15 min	(64)
<i>Medicago sativa</i>	1:1	10	20°C	60 min	(101)
<i>Conocarpus Lancifolius</i>	1:1	0.1	30°C	2 h	(110)
<i>Malva verticillata</i>	1:1	1	45°C	20 min	(111)
<i>Hagenia abyssinica (Bruce) J.F. Gmel</i>	1:2	4	40°C	20 min	(30)
<i>Brillantaisia patula</i>	1:4	5	70°C	24 h	(56)
<i>Tridax procumbens</i>	1:4	10	60°C	30 min	(72)
<i>Persea americana</i>	1:9	10	25°C	5 h	(89)
<i>Sambucus ebulus</i>	2:1	20	20°C	2 h	(108)
<i>Fragaria ananassa</i>	3:1	2	50°C	2 h	(48)
<i>Poa bulbosa</i>	3:2	1	25°C	5 min	(78)

**Tabla N°4 Tabla de los parámetros utilizados para la síntesis de nanopartículas de plata
parte 2 de 6**

<i>Erythrina abyssinica</i>	4:1	1	35°C	10 min	(2)
<i>Myrsine africana</i>	4:1	1	25°C	3 h	(77)
<i>Carthamus tinctorius L.</i>	4:1	100	25°C	15 min	(94)
<i>Punica granatum L.</i>	5:1	1	25°C	1 h	(52)
<i>Barleria cristata</i>	5:1	100	60°C	5 min	(71)
<i>Galphimia glauca</i>	5:1	1	25°C	12 h	(73)
<i>Eichhornia crassipes</i>	5:1	10	25°C	1 h	(104)
<i>Syzygium jambolanum</i>	5:1	1	70-80 °C	30 min	(116)
<i>Cinnamomum tamala</i>	6:1	1	20°C	120 min	(58)
<i>Rosa canina</i>	6:1	1	85°C	30 min	(97)
<i>Calotropis gigantea (L.)</i>	7:1	9.4	25°C	24 h	(53)
<i>Parkia biglandulosa</i>	10:1	0.1	radiación de microondas	2 min	(42)

**Tabla N°4 Tabla de los parámetros utilizados para la síntesis de nanopartículas de plata
parte 3 de 6**

<i>Rumex nervosus</i>	10:1	10	25°C	1 h	(54)
<i>Passiflora subpeltata</i>	10:1	1	20°C	24 h	(55)
<i>Allium fistulosum</i>	10:1	2	20°C	-	(57)
<i>Cocos nucifera L.</i>	10:1	1	-	-	(65)
<i>Neurada procumbens</i>	10:1	1	25°C	10 min	(39)
<i>Coriander sativum</i>	10:1	1	25°C	10 min	(66)
<i>Scutellaria barbata</i>	10:1	1	25°C	30 min	(67)
<i>Boerhaavia diffusa</i>	10:1	5	30°C	7 h	(69)
<i>Acacia cyanophylla</i>	10:1	1	80°C	24 h	(79)
<i>Flos Sophorae Immaturus</i>	10:1	4	20°C	5 h	(81)
<i>Pisum sativum L</i>	10:1	1	-	-	(83)
<i>Aloe vera</i>	10:1	10	60°C	30 min	(84)
<i>Ficus microcarpa linn. F</i>	10:1	4	90 °C.	60 min	(85)
<i>Azadirachta indica</i>	10:1	1	25°C	48 h	(86)
<i>Cannabis sativa</i>	10:1	3	25°C	48 h	(87)

**Tabla N°4 Tabla de los parámetros utilizados para la síntesis de nanopartículas de plata
parte 4 de 6**

<i>Persea americana</i>	10:1	5	20°C	24 h	(49)
<i>Jatropha integerrima</i>	10:1	1	25°C	1 h	(50)
<i>Calophyllum tomentosum</i>	10:1	5	26°C	1 h	(70)
<i>Allium cepa L</i>	10:1	1	-	-	(75)
<i>Aloe vera</i>	10:1	10	65°C	48 h	(76)
<i>Commiphora myrrha</i>	10:1	10	25°C	3 h	(88)
<i>Cestrum nocturnum</i>	10:1	1	25°C	7 días	(90)
<i>Ixora brachypoda</i>	10:1	1	25°C	48 h	(91)
<i>Torreya nucifera</i>	10:1	1	20°C	30 min	(92)
<i>Annona senegalensis</i>	10:1	5	25°C	30 min	(99)
<i>Sophora pachycarpa</i>	10:1	0.09	20°C	-	(102)
<i>Tecoma stans</i>	10:1	1	25°C	24 h	(103)
<i>Persicaria hydropiper</i>	10:1	1	45°C	24 h	(105)
<i>Aegle marmelos</i>	10:1	1	-	-	(106)
<i>Oxalis griffithii</i> (Wood Sorrel)	10:1	1	37°C	4 h	(112)

Tabla N°4 Tabla de los parámetros utilizados para la síntesis de nanopartículas de plata
parte 5 de 6

<i>Plantago major L.</i>	10:1	1	80°C	1 h	(93)
<i>Dovyalis caffra</i>	10:1	1	25°C	1 h	(96)
<i>Phoenix Dactylifera L</i>	10:1	50	25°C	10 min	(98)
<i>Carya illinoensis</i>	10:1	10	25°C	24 h	(109)
<i>Ipomoea carnea Jacq.</i>	10:1	1	25°C	24 h	(113)
<i>Kaempferia angustifolia</i>	10:1	1	45°C	10 h	(115)
<i>Rivina humilis</i>	10:1	1	25°C	1 h	(117)
<i>Couroupita guianensis</i>	11:1	1	20°C	30 min	(59)
<i>Azadirachta indica</i>	10:2	1	25°C	20 min	(68)
<i>Salacia chinensis L.</i>	13:1	1	20°C	36 h	(80)
<i>Gymnema sylvestre</i>	40:1	0.1	20°C	20 min	(82)
<i>Quercus coccifera L.</i>	100:1	1	50°C	4 h	(62)
<i>Acalypha wilkesiana</i>	100:1	1	25°C		(63)

Tabla N°4 Tabla de los parámetros utilizados para la síntesis de nanopartículas de plata parte 6 de 6

<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	100:1	1	90°C	2 h	(107)
<i>Ipomoea carnea</i> Jacq.	100:1	1	25°C	24 h	(114)

Elaboración propia

5.3. Comparación de la síntesis verde de nanopartículas de plata

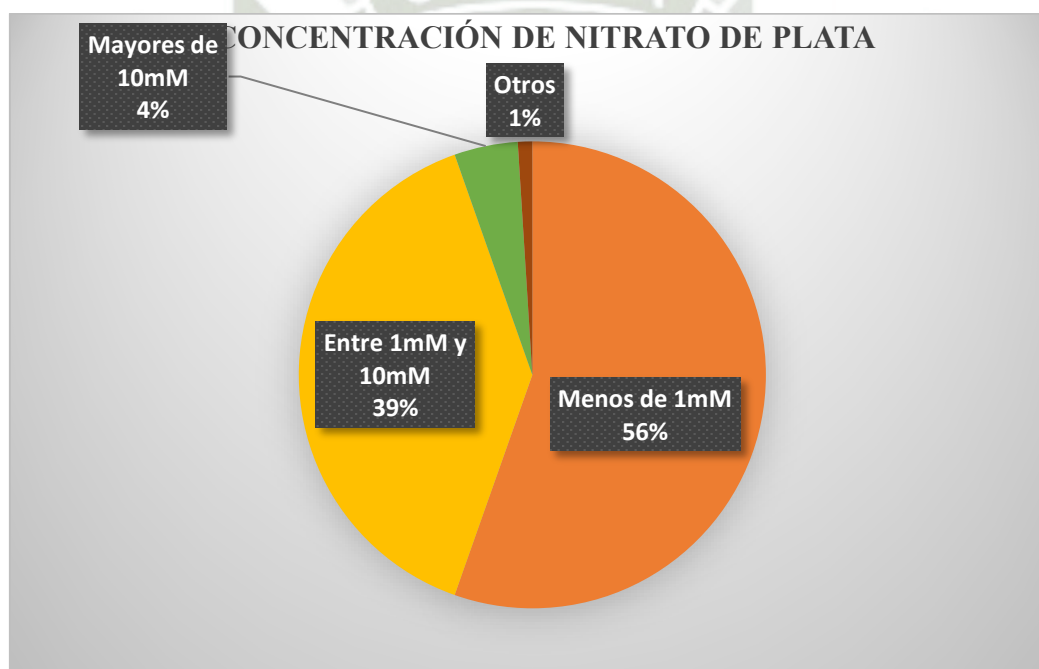


Figura N°10 Gráfico de la comparación de la concentración de nitrato de plata utilizado para la síntesis verde de nanopartículas de plata

Elaboración propia

En cuanto a la concentración de nitrato de plata utilizada en la síntesis, donde los datos fueron representados en la Figura N°10 se observó que el 55.4 % de las muestras fueron sintetizadas con concentraciones menores a 1 mM, el 39.2 % con concentraciones entre 1 mM y 10 mM, y solo el 4.4 % con concentraciones mayores a 10 mM. Usualmente, el aumento de la concentración del

nitrate de plata usualmente provoca una aceleración en la velocidad de reacción. Este fenómeno se debe a que un mayor número de moléculas de nitrate de plata se encuentra disponible para interactuar con los demás reactivos y participar en el proceso de formación de las nanopartículas. Como resultado de esta situación, favorece una mayor tasa de nucleación y crecimiento de las partículas, lo cual puede resultar en la generación de nanopartículas de mayor tamaño. No obstante, es fundamental tener en consideración que existe un punto óptimo de concentración en el cual un incremento adicional puede tener un efecto limitado o incluso perjudicial sobre el tamaño y la uniformidad de las nanopartículas. En concentraciones extremadamente elevadas, es probable que se produzca una mayor aglomeración de las partículas, lo que conlleva a una distribución menos homogénea y la formación de estructuras indeseadas.

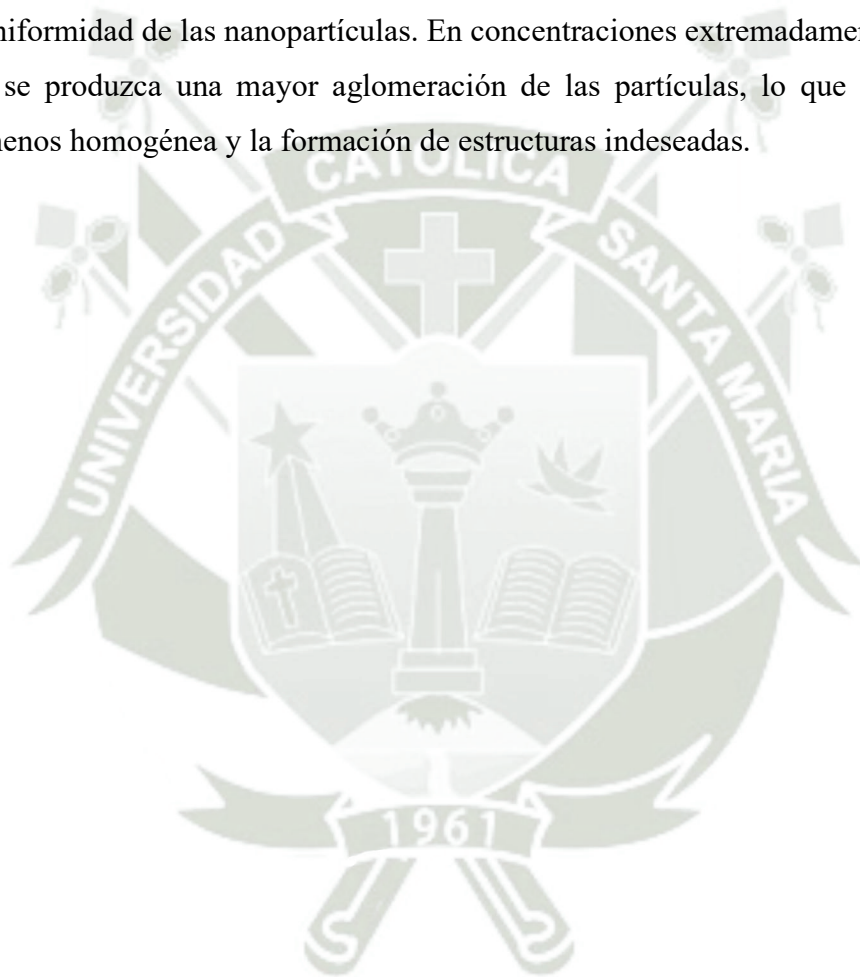


Tabla N°5 Tabla de la comparación de la relación nitrato de plata: extracto vegetal para la síntesis verde de nanopartículas de plata

Relación nitrato de plata: extracto vegetal	Porcentaje de aparición en los documentos revisados (%)
10:1	45.97
1:1	20.27
5:1	6.76
4:1	4.05
100:1	4.05
6:1	2.70
3:1	2.70
1:4	2.70
13:1	1.35
10:2	1.35
7:1	1.35
3:2	1.35
2:1	1.35
1:9	1.35
1:2	1.35
40:1	1.35

Elaboración propia

En la Tabla N°5 se pudo observar que la relación 10:1 entre el nitrato de plata y el extracto vegetal es comúnmente utilizada en la generación de nanopartículas de plata (NPAg). Esto es debido a que el extracto vegetal contiene compuestos con propiedades reductoras, como polifenoles entre ellos los flavonoides y taninos, que son eficientes en la reducción del nitrato de plata a plata metálica.

La relación 10:1 ha demostrado ser eficiente y produce un alto rendimiento en la generación de NPAg con propiedades físicas y químicas óptimas. Proporciona un equilibrio adecuado entre el nitrato de plata y el extracto vegetal, lo que resulta en una síntesis controlada y estabilidad en las propiedades de las nanopartículas.

Sin embargo, la elección de la relación nitrato de plata: extracto vegetal puede variar según el tipo de extracto vegetal utilizado, las propiedades deseadas de las NPAg y los objetivos del estudio. Se requieren más investigaciones y experimentos para determinar la relación óptima en diferentes contextos y aplicaciones.

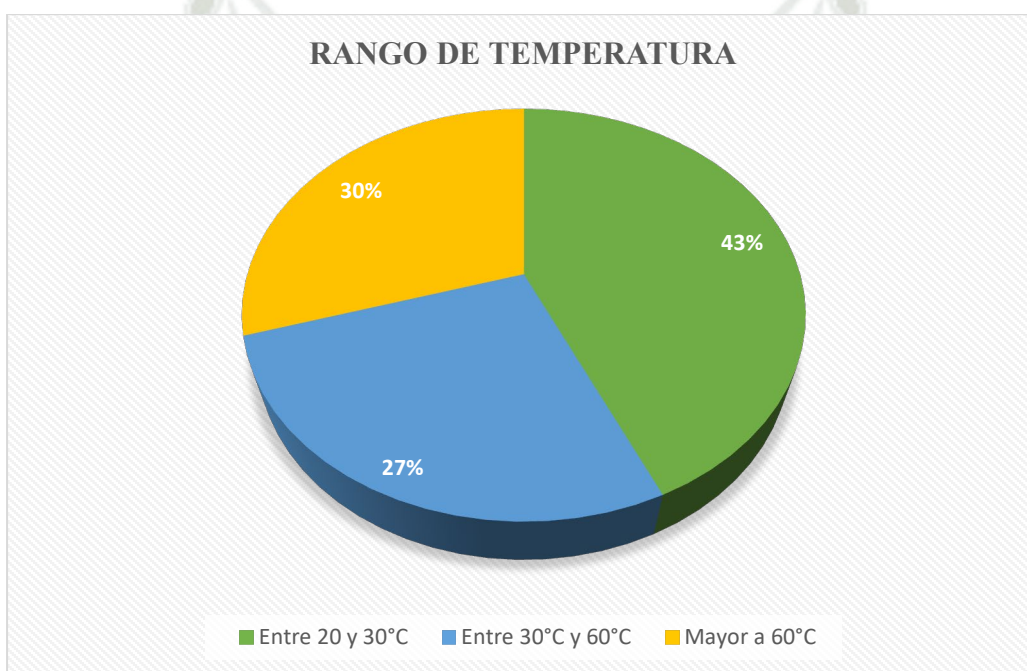


Figura N°11 Gráfico de la comparación del rango de temperaturas para la síntesis verde de nanopartículas de plata

Elaboración propia

Con respecto a la temperatura se puede observar que de los documentos analizados representados en la Figura N°11 el 43.3 % utilizó una temperatura ambiente para la síntesis de nanopartículas, un 27.0 % utilizó una temperatura entre 30 y 60°C, por último el 29.7 % de los estudios realizados utilizó una temperatura mayor a 60°C por lo cual se puede decir que la temperatura más utilizada para la síntesis de nanopartículas ha sido en el rango de 20 a 30 grados centígrados promoviendo

así que la temperatura ambiente sea suficiente para la síntesis de nanopartículas de plata con un tamaño y forma adecuados.

El incremento en la temperatura de reacción ejerce un efecto acelerador sobre la cinética de la reacción, lo que implica una mayor velocidad en la ocurrencia de las reacciones químicas. Este aumento térmico favorece la nucleación y el crecimiento de las nanopartículas de plata, propiciando así la generación de partículas de mayor tamaño. Asimismo, en temperaturas elevadas, los precursores de plata exhiben una mayor reactividad, lo cual conduce a un aumento en la tasa de formación de nanopartículas.

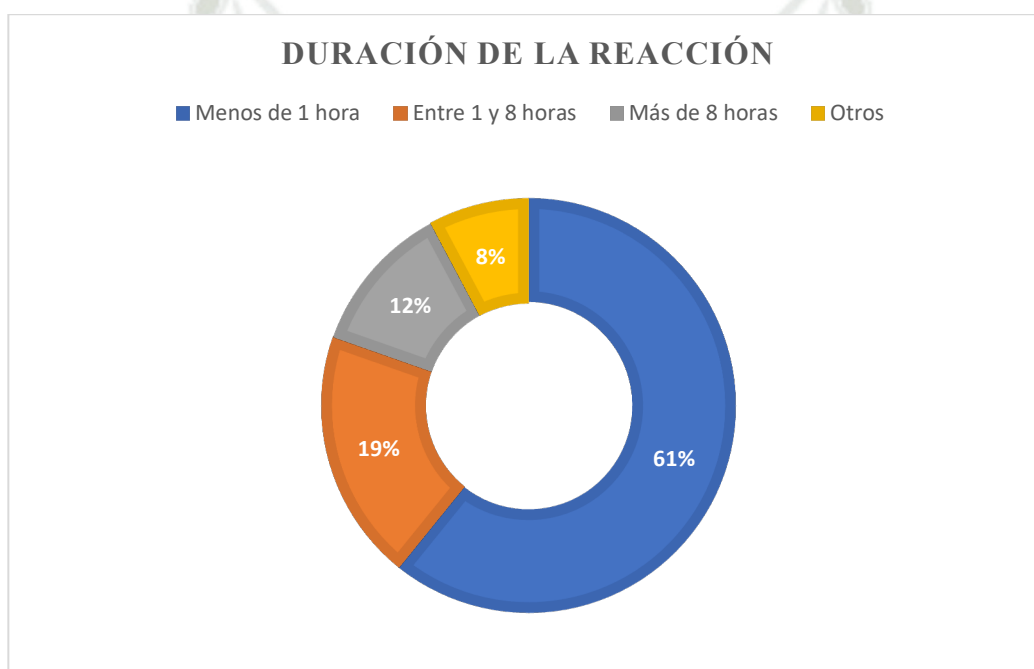


Figura N°12 Gráfico de la comparación de la duración de la reacción de la síntesis verde de nanopartículas de plata

Elaboración propia

Con respecto a la duración de la síntesis de nanopartículas de plata, en la Figura N°12 se observa que el 60.8% de los estudios realizados tuvo una duración menor a 1 hora, mientras que el 19.6 % de los estudios tuvo una duración entre 1 y 8 horas. Por otro lado, el 11.8 % de los estudios presentó una duración mayor a 8 horas y un 7.8 % se clasificó en la categoría de "otros". Es importante mencionar que por lo general una duración de reacción más larga tiende a favorecer la formación de partículas más grandes. Esto se debe a que un tiempo de reacción prolongado

permite una mayor nucleación y crecimiento de las partículas, lo que conduce a un aumento en el tamaño promedio de las nanopartículas. Sin embargo, también existe el riesgo de que las partículas crezcan demasiado y se aglomeren, lo que puede afectar negativamente su estabilidad y dispersión en una matriz o solvente. Por otro lado, una duración de reacción más corta puede resultar en la formación de nanopartículas de plata más pequeñas y uniformes. Esto se debe a que se limita el tiempo de nucleación y crecimiento de las partículas, lo que favorece la formación de partículas más pequeñas. Sin embargo, es importante encontrar un equilibrio, ya que una duración de reacción demasiado corta puede resultar en una conversión incompleta de los precursores de plata en nanopartículas.



Tabla N°6 Tabla de caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis verde parte 1 de 7

Planta estudiada	Pico máximo de absorción	Tamaño de nanopartícula	Forma de la nanopartícula	Posibles responsables de la formación de nanopartículas	Ref.
<i>Erythrina abyssinica</i>	420 nm	8.4 nm a 10 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos	(2)
<i>Hagenia abyssinica (Bruce) J.F. Gmel</i>	406 nm	22.2 nm.	-	Alcaloides, saponinas, polifenoles, ácidos fenolicos	(30)
<i>Parkia biglandulosa</i>	439 nm	15 nm	esférica	Saponinas, polifenoles, ácidos fenolicos terpenos, proteínas, glucósidos cardíacos y azúcares reductores	(42)
<i>Fragaria ananassa</i>	405nm	50 a 70 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos, azúcares reductores	(48)
<i>Persea americana</i>	420 nm	20 nm a 50 nm	cubica	Polifenoles, ácidos fenolicos, luteína	(49)
<i>Jatropha integerrima</i>	422 nm	17 y 45 nm	esférica	Polifenoles	(50)
<i>Rhus javanica</i>	430 nm	67 nm	cubica	Polifenoles	(51)
<i>Punica granatum L.</i>	450 nm	20 nm	esférica	Polifenoles	(52)
<i>Calotropis gigantea (L.)</i>	422 nm	-	-	Polifenoles, ácidos fenolicos	(53)

Tabla N°6 Tabla de caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis verde parte 2 de 7

<i>Rumex nervosus</i>	450 nm	56±2 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos, ácido tartárico, ácidos cítrico	(54)
<i>Passiflora subpeltata</i>	456 nm	20 y 40 nm	cubica	Polifenoles, aminoácidos	(55)
<i>Brillantaisia patula</i>	434 nm	-	-	Polifenoles, ácidos fenolicos alcaloides, terpenoides	(56)
<i>Allium fistulosum</i>	429 nm	57 nm	cubica	Polifenoles, ácidos fenolicos	(57)
<i>Cinnamomum tamala</i>	416 nm	25 nm	cubica	Terpenoides	(58)
<i>Couroupita guianensis</i>	663 nm	34 nm	cubica	Polifenoles, ácidos fenolicos terpenoides y azúcares reductores	(59)
<i>Ocimum canum</i>	-	15.76 nm	esférica	Proteínas, carbohidratos, polifenoles, ácidos fenolicos	(60)
<i>Parkia speciosa</i>	410.5 nm	31 nm	esférica	Aminoácidos	(61)
<i>Quercus coccifera L.</i>	-	20nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos, azúcares reductores	(62)
<i>Acalypha wilkesiana</i>	447 nm	-	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos terpenoides, saponinas	(63)
<i>Dudleya brittonii</i>	456 nm	30 nm	esférica	Azúcares, polifenoles, ácidos fenolicos	(64)
<i>Cocos nucifera L.</i>	447 nm	-	esférica	Azúcares y polifenoles	(65)
<i>Neurada procumbens</i>	-	35 a 65 nm	esférica	Polifenoles	(39)

Tabla N°6 Tabla de caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis verde parte 3 de 7

<i>Coriander sativum</i>	400 nm	110 nm	esférica	Polifenoles	(66)
<i>Scutellaria barbata</i>	400 nm	20 y 40 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos	(67)
<i>Azadirachta indica</i>	440 nm	67.94 y 133.2 nm	esférica	Terpenoides, Polifenoles	(68)
<i>Boerhaavia diffusa</i>	420 y 427 nm	13.268 nm	esférica	Polifenoles	(69)
<i>Calophyllum tomentosum</i>	428 nm	24 nm	-	Polifenoles, ácidos fenolicos, glucósidos, saponinas	(70)
<i>Barleria cristata</i>	429.7 nm	26.39 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos y aminoácidos	(71)
<i>Tridax procumbens</i>	420 nm	40,0 y 52.5 nm	esférica	Proteínas, Polifenoles, ácidos fenolicos y terpenoides	(72)
<i>Galphimia glauca</i>	402 nm	27.3 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos, proteínas y aminoácidos	(73)
<i>cynara cardunculus l</i>	435nm	9.649 nm	-	Polifenoles, ácido gálico y ácido benzoico	(74)
<i>Allium cepa L</i>	460 nm	-	-	Polifenoles, ácidos fenolicos, azúcares reductores	(75)
<i>Aloe vera</i>	425 nm	30 y 80 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos, Aminoácidos, proteínas, enzimas, terpenoides, saponinas, minerales, vitaminas,	(76)

Tabla N°6 Tabla de caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis verde parte 4 de 7

<i>Myrsine africana</i>	460 nm	28.32 nm	-	Polifenoles, aminoácidos	(77)
<i>Poa bulbosa</i>	430 nm	119.26±26.2 nm	esférica	Alcaloide, Polifenoles, ácidos fenolicos, polisacáridos, terpenoides, saponinas	(78)
<i>Acacia cyanophylla</i>	460 nm	86.98 nm	esféricas	Alcaloides, fitoesteroles, polifenoles, ácidos fenolicos	(79)
<i>Salacia chinensis L.</i>	447 nm	172.6 nm	cubica	Polifenoles, ácidos fenolicos, terpenoides, alcaloides, esteroides	(80)
<i>Flos Sophorae ImMaturus</i>	450 nm	27.8 a 34.3 nm	cubica	Polifenoles, ácidos fenolicos	(81)
<i>Gymnema sylvestre</i>	442 nm	20 a 30 nm	esférica y ovalada	Polifenoles, ácidos fenolicos aminoácidos	(82)
<i>Pisum sativum L</i>	-	30 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos	(83)
<i>Aloe vera</i>	400 y 450 nm	15.22 nm	esférica	Polifenoles	(84)
<i>ficus microcarpa linn. f</i>	423 nm	22 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos	(85)
<i>Azadirachta indica</i>	440 nm	171 y 183.2mm	esférica	Polifenoles	(86)
<i>Cannabis sativa</i>	450 nm	26.52 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos	(87)

Tabla N°6 Tabla de caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis verde parte 5 de 7

<i>Commiphora myrrha</i>	445 nm	22.57 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos y aminoácidos	(88)
<i>Persea americana</i>	430 nm	40 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos	(89)
<i>Cestrum nocturnum</i>	442 nm	20 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos, glucósidos, saponinas esteroidales, fenoles.	(90)
<i>Ixora brachypoda</i>	423 nm	18.6 nm	esférica	Alcaloides terpenoides Polifenoles	(91)
<i>Torreya nucifera</i>	432 nm	10 nm	esférica	Polifenoles	(92)
<i>Plantago major L.</i>	420 nm	12.2 ± 5.11 nm	-	Polifenoles, ácidos fenolicos alcaloides, terpenoides y polisacáridos	(93)
<i>Carthamus tinctorius L.</i>	-	8.67 ± 4.7 nm	esférica	Polifenoles, proteínas, azúcares reductores, esteroides, ácidos grasos, ácidos fenólicos, antocianinas, derivados del ácido gálico .	(94)
<i>Aquilegia pubiflora</i>	425 nm	19 nm	cubica	Flavonoides	(95)
<i>Dovyalis caffra</i>	415 nm	12 a 53 nm	esférica	Polifenoles, azúcares reductores	(96)
<i>Rosa canina</i>	422 nm	13 a 21 nm	ovoide y esférica	Polifenoles y aminoácidos	(97)
<i>Phoenix Dactylifera L</i>	450 nm	25 nm	esférica	Polifenoles, carotenoides	(98)
<i>Annona senegalensis</i>	431.19 nm	11 a 24.76 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos , Proteínas, aminoácidos, enzimas, esteroides, alcaloides, quinonas, saponinas, carbohidratos, terpenoides y vitaminas	(99)

Tabla N°6 Tabla de caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis verde parte 6 de 7

<i>Berberis vulgaris</i>	450 nm	30 y 70 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos	(100)
<i>Medicago sativa</i>	400 nm y 430 nm	15 y 35 nm	esférica y elíptica	Polifenoles, ácidos fenolicos	(101)
<i>Sophora pachycarpa</i>	420 nm	30 y 40 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos	(102)
<i>Tecoma stans</i>	410 y 420 nm	10 y 50 nm	-	Sapogeninas, carbohidratos, y polifenoles	(103)
<i>Eichhornia crassipes</i>	450 nm	15 a 25 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos y aminoácidos	(104)
<i>Persicaria hydropiper</i>	370 nm	39 nm	rectangular	Polifenoles, ácidos fenolicos y aminoácidos	(105)
<i>Aegle marmelos</i>	436 nm	181.36 nm	esférica	Polifenoles, saponinas, esteroides, alcaloides, y glucósidos.	(106)
<i>syzygium cumini (L.) skeels</i>	-	37.21 y 46.48 nm	-	Polifenoles	(107)
<i>Sambucus ebulus</i>	432 y 438 nm	40 a 60 nm	ovalada	Polifenoles, ácidos fenolicos	(108)
<i>Carya illinoensis</i>	440 nm	20.34±1.69 nm	esférica	Polifenoles	(109)
<i>Conocarpus Lancifolius</i>	410 y 443 nm	5 y 30 nm	esférica	Polifenoles, ácidos fenolicos, proteínas	(110)

Tabla N°6 Tabla de caracterización de nanopartículas de plata sintetizadas por síntesis verde parte 7 de 7

<i>Malva verticillata</i>	425 nm	20 nm	esférica	Polifenoles	(111)
<i>Oxalis griffithii</i> (Wood Sorrel)	408 y 412 nm	151 nm	esféricas	Ácido tánico fitoesteroles; Polifenoles, ácidos fenolicos, ácido tartárico y ácido cítrico	(112)
<i>Ipomoea carnea</i> Jacq.	410 nm	46.90 nm	cubica	Polifenoles, ácidos fenolicos y aminoácidos	(113)
<i>Ipomoea carnea</i> Jacq.	390 a 410 nm	15.93 nm	cubica	Polifenoles, ácidos fenolicos y aminoácidos	(114)
<i>Kaempferia angustifolia</i>	420 nm	36.36 nm	esférica	Polifenoles	(115)
<i>Syzygium jambolanum</i>	395 nm	20.2 y 24.5 nm	cubica	Polifenoles	(116)
<i>Rivina humilis</i>	440 y 460 nm	51 nm	-	Polifenoles	(117)

Elaboración propia

5.4. Comparación de la caracterización de las nanopartículas de plata generadas por síntesis verde con extractos vegetales

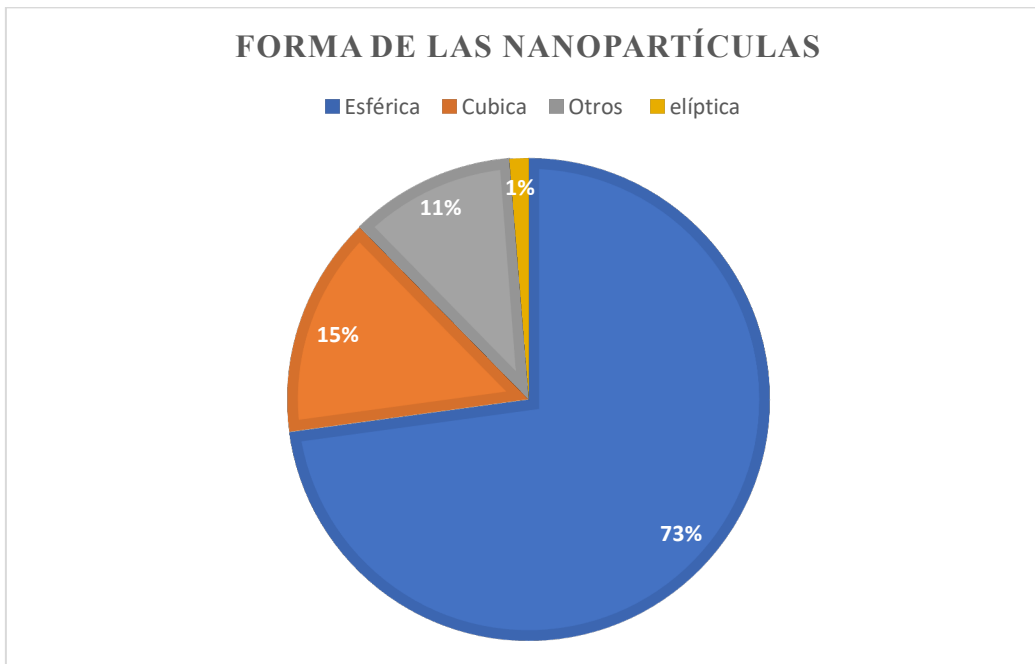


Figura N°13 Figura de la comparación de la forma de las nanopartículas de plata generadas por síntesis verde con extractos vegetales

Elaboración propia

La Figura N°13 nos indica que la forma más común de las partículas obtenidas por síntesis verde es esférica, con un porcentaje del 73 %. La forma cúbica es menos común, representando solo el 15 % de las partículas observadas. Adicionalmente, se identificaron otras formas menos frecuentes, como elíptica, ovoide, rectangular y ovalada, que juntas representaron el 12 % de las partículas. Estos resultados son consistentes con estudios previos que han demostrado que las nanopartículas de plata sintetizadas a partir de extractos vegetales suelen tener una forma esférica debido a la presencia de moléculas orgánicas que favorecen la formación de dicha forma y la resonancia de plasmones superficiales en la región visible del espectro electromagnético.

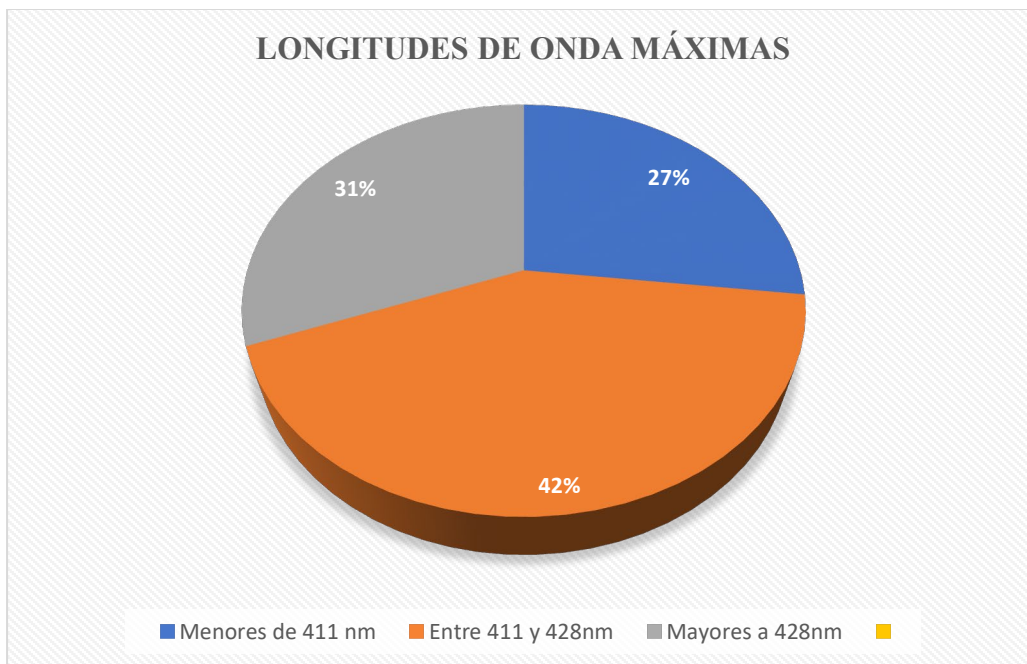


Figura N°14 Gráfico de la comparación de las longitudes de onda de las nanopartículas de plata generadas por síntesis verde con extractos vegetales

Elaboración propia

Los resultados de esta recopilación en la Figura N°14 muestran que la síntesis de nanopartículas de plata utilizando extractos vegetales produce partículas con una distribución de tamaños que se refleja en el espectro UV-Visible. La distribución del tamaño de las partículas influye en la frecuencia de resonancia de plasmones, lo que puede ser detectado por el espectrofotómetro UV-Visible. En este caso, el análisis de las longitudes de onda muestra que el 42 % de las muestras tienen una resonancia de plasmones en la región de longitud de onda de 411 a 428 nm. Además, el 31 % de las muestras muestran una resonancia en longitudes de onda mayores a 428 nm, lo que sugiere una distribución de tamaños más grande de partículas de plata. Por otro lado, el 27 % de las muestras tienen una resonancia en longitudes de onda menores de 411 nm, lo que puede estar relacionado con partículas más pequeñas o la presencia de otros componentes en la muestra que influyen en la resonancia de plasmones.

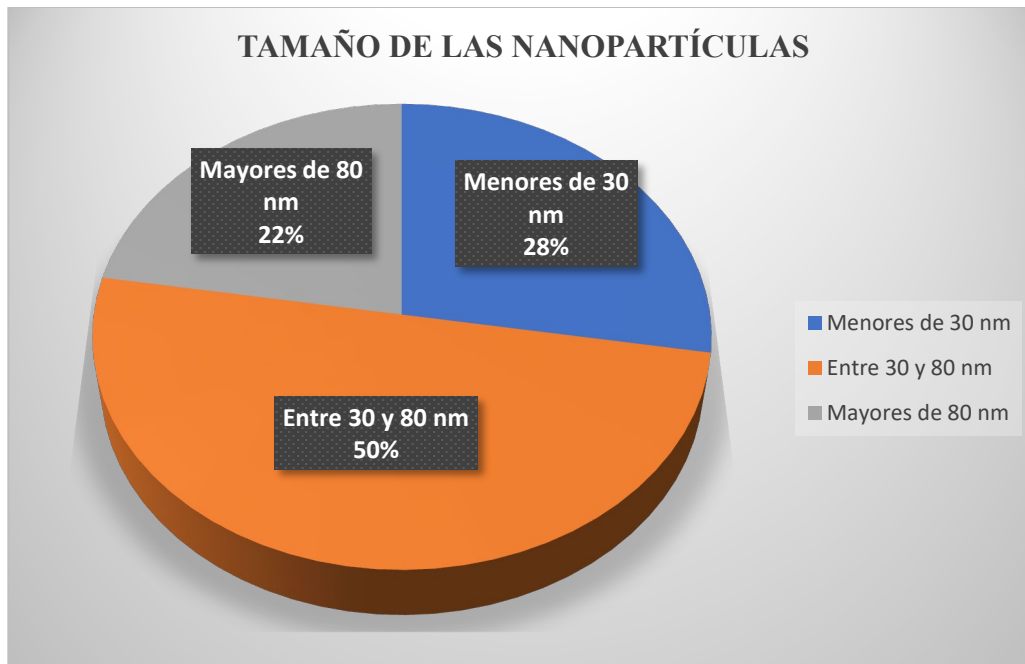


Figura N°15 Gráfico de la comparación del tamaño de las nanopartículas de plata generadas por síntesis verde con extractos vegetales

Elaboración propia

Estos datos de la Figura N°15 indican que las nanopartículas sintetizadas en los documentos recopilados tienen un tamaño variado, siendo la mayoría de ellas de entre 30 y 80 nm de diámetro. Las nanopartículas más pequeñas (menores de 30 nm) representan el 27.6 % del total, mientras que las más grandes (mayores de 80 nm) solo representan el 22.4 %. Es importante mencionar que el tamaño de las nanopartículas es un factor crucial para determinar sus propiedades físicas y químicas, incluyendo la absorción y emisión de luz, así como la estabilidad y la actividad catalítica. En consecuencia, conocer el tamaño de las nanopartículas es fundamental para entender su comportamiento y aplicaciones potenciales. En particular, las nanopartículas de plata en el rango de tamaño de 30 a 80 nm tienen propiedades ópticas y catalíticas óptimas debido a su resonancia de plasmones superficiales en la región visible del espectro electromagnético, lo que los hace útiles en aplicaciones biomédicas, electrónicas y ambientales.

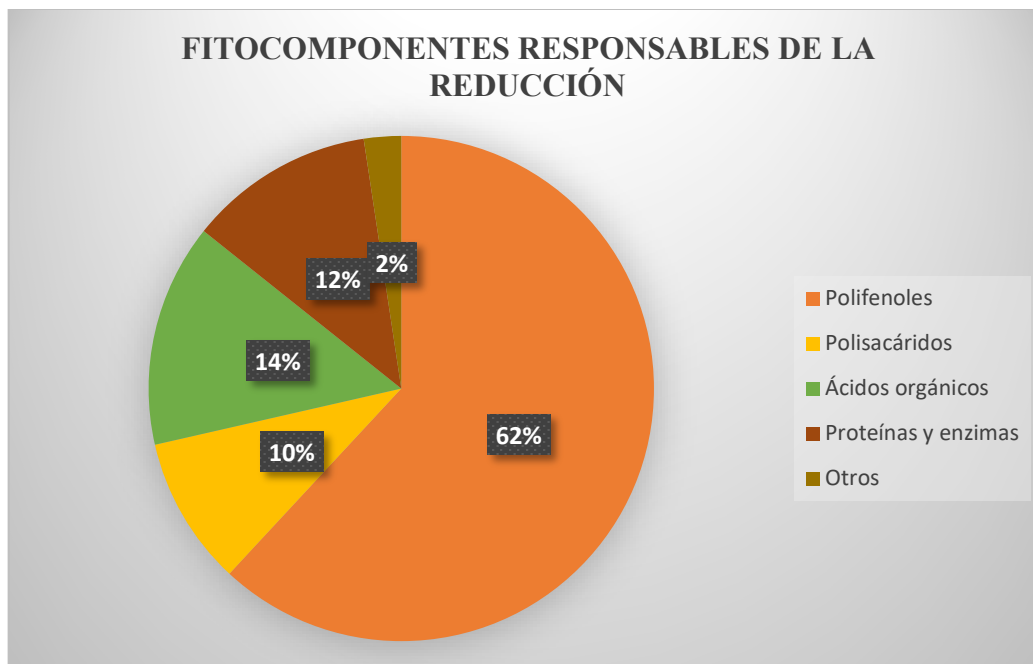


Figura N°16 Gráfico de los fitocomponentes que posiblemente reduzcan las nanopartículas de plata generadas por síntesis verde con extractos vegetales

Elaboración propia

La Figura N°16 muestra la prevalencia aproximada de ciertos fitocomponentes en plantas estudiadas en relación con la generación de nanopartículas de plata por métodos verdes. Según los datos recopilados, se observa que los polifenoles son los fitocomponentes más comunes, presentes en alrededor del 62 % de las plantas investigadas. Estos compuestos, que incluyen flavonoides y taninos, se consideran relevantes en la síntesis de nanopartículas de plata. En segundo lugar, se encuentran los polisacáridos, que se observan en aproximadamente el 10 % de las plantas estudiadas. Estos polisacáridos naturales, extraídos de fuentes vegetales, han demostrado su capacidad para actuar como agentes reductores y estabilizadores en la generación de nanopartículas de plata. Los ácidos orgánicos ocupan el tercer lugar en términos de frecuencia, con una aparición aproximada del 14 % en las plantas estudiadas. Estos ácidos, como el ácido ascórbico (vitamina C) y el ácido cítrico, se han utilizado en la síntesis de nanopartículas de plata debido a su capacidad para reducir los iones de plata y estabilizar las partículas resultantes. Las proteínas y enzimas, presentes en alrededor del 12.5 % de las plantas investigadas, también se han estudiado por su papel en la generación de nanopartículas de plata. Estas biomoléculas pueden actuar como agentes reductores y estabilizadores durante el proceso de síntesis. Por último,

aproximadamente el 2 % restante de los fitocomponentes estudiados se clasifican como "otros", lo que implica la presencia de compuestos secundarios que también pueden contribuir a la generación de nanopartículas de plata. Estos fitocomponentes ofrecen propiedades reductoras, estabilizantes y antioxidantes, lo que los convierte en candidatos valiosos para la producción de nanopartículas de plata con aplicaciones potenciales en diversas áreas, como la medicina y la nanotecnología.

5.5. Descripción de las actividades antimicrobianas de las nanopartículas sintetizadas con extractos vegetales.

Los estudios que se recopilaron utilizaron en su mayoría la técnica de difusión en disco. La técnica de difusión en disco es un método utilizado para evaluar la sensibilidad de las bacterias a los antibióticos. La técnica consiste en colocar discos que contienen diferentes tipos de antibióticos en una placa de agar que ha sido previamente inoculada con una cepa bacteriana. Después de la incubación, se evalúa la zona de inhibición alrededor de cada disco, que es una zona clara donde no hay crecimiento bacteriano. El tamaño de la zona de inhibición se mide y se compara con los valores de referencia para determinar si la bacteria es sensible, resistente o intermedia a un antibiótico determinado. Esta técnica es ampliamente utilizada en laboratorios de microbiología y clínicos para orientar la selección de los tratamientos antibióticos y para monitorear la resistencia a los antibióticos en las bacterias.(43) a continuación se podrá apreciar los resultados que se recopilaron.

Tabla N°7 Tabla de capacidad antimicrobiana de las nanopartículas de plata sintetizadas con extractos vegetales sobre *E. coli*. parte 1 de 2

Planta estudiada	Concentración de nanopartículas	Diámetro de Inhibición (mm)	Ref.
<i>Erythrina abyssinica</i>	50 µg/mL	12.5 ± 0.10	(2)
<i>Fragaria ananassa</i>	0.72 ug/mL	15.4 ± 0.6	(48)
<i>Jatropha integerrima</i>	40 ug/mL	23.33 ± 0.58	(50)
<i>Rhus javanica</i>	52.1 ug/mL	10.0	(51)
<i>Calotropis gigantea (L.)</i>	100 ug/uL	9.5 ± 0.1	(53)
<i>Rumex nervosus</i>	12.5 ug/mL	17	(54)
<i>Passiflora subpeltata</i>	25 ug/mL	17.5 ± 0.5	(55)
<i>Allium fistulosum</i>	10 ug/mL	9	(57)
<i>Couroupita guianensis</i>	20 ug/mL	14	(59)
<i>Ocimum canum</i>	30 ug/mL	29	(60)
<i>Parkia speciosa</i>	100 ug/mL	9	(61)
<i>Acalypha wilkesiana</i>	100 ug/uL	17	(63)
<i>Dudleya brittonii</i>	20 ug/uL	11	(64)
<i>Tridax procumbens</i>	10 ug/mL	12 ± 1.3	(72)
<i>Neurada procumbens</i>	100 ug/mL	18	(39)
<i>Coriander sativum</i>	25 ug/mL	10	(66)
<i>Scutellaria barbata</i>	60 ug/mL	21	(67)
<i>Calophyllum tomentosum</i>	100 ug/mL	7	(70)
<i>Tridax procumbens</i>	10 ug/mL	12 ± 1.3	(72)
<i>Galphimia glauca</i>	100 ug/uL	22	(73)
<i>Myrsine africana</i>	0.13 mg/mL	17	(77)
<i>Salacia chinensis L.</i>	500 ug/mL	4.5 ± 0.5	(80)

Tabla N°7 Tabla de capacidad antimicrobiana de las nanopartículas de plata sintetizadas con extractos vegetales sobre *E. coli*. parte 2 de 2

<i>Flos Sophorae Immaturus</i>	2 ug/mL	16.28 ± 0.55	(81)
<i>Gymnema sylvestre</i>	20 ug/mL	22	(82)
<i>ficus microcarpa linn. f</i>	100 ug/mL	14	(85)
<i>Azadirachta indica</i>	20 ug/mL	18.8 ± 1.2	(86)
<i>Cannabis sativa</i>	20 ug/uL	28.00	(87)
<i>Commiphora myrrha</i>	100 ug/mL	30	(88)
<i>Persea americana</i>	823.34 ug/mL	1	(89)
<i>Cestrum nocturnum</i>	16 ug/mL	23	(90)
<i>Plantago major L.</i>	20 µg/mL	9.91 ± 0.22	(93)
<i>Aquilegia pubiflora</i>	5 mg/mL	10.9 ± 0.29	(95)
<i>Dovyalis caffra</i>	30 mg/mL	27.25±0.03	(96)
<i>Phoenix Dactylifera L</i>	100 ug/uL	22	(98)
<i>Berberis vulgaris</i>	5 ug/mL	20	(100)
<i>Eichhornia crassipes</i>	1000 ug/mL	14	(104)
<i>Persicaria hydropiper</i>	100 ug/mL	22	(105)
<i>Aegle marmelos</i>	40 ug/uL	15.15 ± 0.62	(106)
<i>Carya illinoensis</i>	20 mg/mL	15	(109)
<i>Oxalis griffithii</i>	0.2 ug/µL	10 ± 0.91	(112)
<i>Syzygium jambolanum</i>	250 ug/mL	21	(116)
<i>Rivina humilis</i>	100 ug/mL	7.5±0.05	(117)

Elaboración propia

Tabla N°8 Tabla de capacidad antimicrobiana de las nanopartículas de plata sintetizadas con extractos vegetales sobre *P. aeruginosa*.

Planta estudiada	Concentración de nanopartículas	Diámetro de Inhibición (mm)	Ref.
<i>Hagenia abyssinica</i>	200 µg/mL	8.6	(30)
<i>Cinnamomum tamala</i>	128 ug/mL	17.67 ± 0.577	(58)
<i>Parkia speciosa</i>	100 ug/mL	8	(61)
<i>Coriander sativum</i>	25 ug/mL	9	(66)
<i>Scutellaria barbata</i>	60 ug/mL	21	(67)
<i>Calophyllum tomentosum</i>	100 ug/mL	8	(70)
<i>Galphimia glauca</i>	100 ug/uL	25	(73)
<i>Myrsine africana</i>	0.13 mg/mL	14	(77)
<i>Flos Sophorae Immaturus</i>	2 ug/mL	14.42 ± 0.08	(81)
<i>Azadirachta indica</i>	20 ug/mL	18.0±0.9	(86)
<i>Plantago major L.</i>	20 µg/mL	8.59±0.58	(93)
<i>Aquilegia pubiflora</i>	5 mg/mL	9,1 ± 0,34	(95)
<i>Dovyalis caffra</i>	30 mg/mL	28.40±0.15	(96)
<i>Phoenix Dactylifera L</i>	100 ug/uL	18	(98)
<i>Annona senegalensis</i>	500 ug/mL	33.75 ±0.03	(99)
<i>Aegle marmelos</i>	40 ug/uL	16.50 ± 0.3	(106)
<i>Carya illinoensis</i>	20 mg/mL	13	(109)
<i>Ipomoea carnea Jacq.</i>	100 ppm	32	(113)
<i>Ipomoea carnea Jacq.</i>	50 ug/mL	22.33±0.33	(114)
<i>Syzygium jambolanum</i>	250 ug/mL	25	(116)
<i>Rivina humilis</i>	100 ug/mL	6±0.01	(117)

Elaboración propia

Tabla N°9 Tabla de capacidad antimicrobiana de las nanopartículas de plata sintetizadas con extractos vegetales sobre *S. aureus* parte 1 de 2

Planta estudiada	Concentración de nanopartículas	Diámetro de Inhibición (mm)	Ref.
<i>Jatropha integerrima</i>	40 ug/mL	14.67±0.33	(50)
<i>Rhus javanica</i>	52.1 ug/mL	19.0	(51)
<i>Rumex nervosus</i>	12.5 ug/mL	15	(54)
<i>Allium fistulosum</i>	10 ug/mL	08	(57)
<i>Parkia speciosa</i>	100 ug/mL	11	(61)
<i>Acalypha wilkesiana</i>	100 ug/uL	19	(63)
<i>Coriander sativum</i>	25 ug/mL	13	(66)
<i>Scutellaria barbata</i>	60 ug/mL	20	(67)
<i>Boerhaavia diffusa</i>	20 ug/mL	18	(69)
<i>Calophyllum tomentosum</i>	100 ug/mL	16	(70)
<i>Galphimia glauca</i>	100 ug/uL	20	(73)
<i>Myrsine africana</i>	0.13 mg/mL	10	(77)
<i>Salacia chinensis L.</i>	500 ug/mL	19.5 ± 0.5	(80)
<i>Flos Sophorae Immaturus</i>	2 ug/mL	16.28 ±0.77	(81)
<i>Gymnema sylvestre</i>	20 ug/mL	20	(82)
<i>Azadirachta indica</i>	20 ug/mL	17.4±0.6	(86)
<i>Cannabis sativa</i>	20 ug/uL	17.50	(87)
<i>Commiphora myrrha</i>	100 ug/mL	45	(88)
<i>Plantago major L.</i>	20 µg/mL	7.31±0.53	(93)
<i>Dovyalis caffra</i>	30 mg/mL	23.21±0.35	(96)
<i>Phoenix Dactylifera L</i>	100 ug/uL	11	(98)
<i>Eichhornia crassipes</i>	1000 ug/mL	15	(104)
<i>Aegle marmelos</i>	40 ug/uL	15.22 ± 0.52	(106)

Tabla N°9 Tabla de capacidad antimicrobiana de las nanopartículas de plata sintetizadas con extractos vegetales sobre *S. aureus* parte 2 de 2

<i>Carya illinoensis</i>	20 mg/mL	11	(109)
<i>Conocarpus Lancifolius</i>	50 mg/mL	24	(110)
<i>Ipomoea carnea Jacq.</i>	100 ug/mL	16	(113)
<i>Passiflora subpeltata</i>	25 ug/mL	16.33±0.33	(114)
<i>Syzygium jambolanum</i>	250 ug/mL	19	(116)
<i>Rivina humilis</i>	100 ug/mL	4±0.05	(117)

Elaboración propia

Tabla N°10 Tabla de capacidad antimicrobiana de las nanopartículas de plata sintetizadas con extractos vegetales sobre *S. Typhi*

Planta estudiada	Concentración de nanopartículas	Diámetro de Inhibición (mm)	Ref.
<i>Erythrina abyssinica</i>	50 µg/mL	8.63 ± 0.10	(2)
<i>Allium fistulosum</i>	10 ug/mL	18	(57)
<i>Dudleya brittonii</i>	20 ug/uL	9	(64)
<i>Boerhaavia diffusa</i>	20 ug/mL	15	(69)
<i>Cestrum nocturnum</i>	16 ug/mL	28	(90)
<i>Persicaria hydropiper</i>	100 ug/mL	19	(105)
<i>Aegle marmelos</i>	40 ug/uL	14.50 ± 0.70	(106)

Elaboración propia

En esta revisión bibliográfica se ha recopilado la diferente capacidad antimicrobiana de las nanopartículas representadas en las tablas Tabla N°7, Tabla N°8, Tabla N°9 y Tabla N°10, analizando las zonas de inhibición publicadas en los diferentes artículos científicos. Los resultados de los estudios indican que las nanopartículas efectivamente poseen una alta capacidad antimicrobiana. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los resultados de los estudios no pueden ser comparados directamente unos con otros debido a que las condiciones experimentales utilizadas en cada caso pueden variar significativamente. La variación en las condiciones

experimentales, tales como la concentración de las nanopartículas, el tipo de microorganismo utilizado, el medio de cultivo y la temperatura, pueden afectar significativamente los resultados obtenidos. En consecuencia, es importante asegurarse de que las condiciones experimentales sean estandarizadas y reproducibles para poder comparar los resultados de diferentes estudios. Adicionalmente, es importante destacar que los resultados obtenidos en esta revisión son una indicación de la capacidad antimicrobiana de las nanopartículas en las condiciones específicas utilizadas en los documentos analizados. Debido a esto, se debe tener precaución al generalizar estos resultados a otras situaciones o condiciones de uso. Por lo que es necesario realizar estudios adicionales para evaluar la efectividad de las nanopartículas en diferentes condiciones y situaciones, antes de poder considerar su uso como un agente antimicrobiano en diferentes aplicaciones.

6. PERSPECTIVAS FUTURAS

Las NPAg (nanopartículas de plata) son consideradas una verdadera maravilla, para combatir la resistencia microbiana. Si bien la plata ha sido examinada como un agente antimicrobiano hace mucho tiempo atrás, la nanotecnología ha permitido explotar sus propiedades al máximo.

Si las NPAg se administran de manera adecuada pueden aumentar su especificidad, lo que garantiza una entrega específica en el área deseada, evitando la formación de efectos secundarios promoviendo así su seguridad y eficacia. Asimismo, el uso de NPAg tiene un enorme potencial para ayudar a resolver la creciente crisis de resistencia microbiana debido a sus mecanismos de unión no específicos. Esto se puede explicar, ya que las NPAg no se unen a un sitio particular dentro de la célula bacteriana, lo que reduce las posibilidades de desarrollar resistencia microbiana. Por ello, es bastante probable que el uso de las NPAg podrían revolucionar la administración de fármacos dentro de poco tiempo.

Durante las últimas décadas, se han empleado métodos químicos y físicos de síntesis para la producción de NPAg, pero estos métodos han demostrado ser altamente perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana. A medida que el cambio climático y el calentamiento global han aumentado, es crucial que las empresas adopten técnicas de producción apropiadas y amigables con el medio ambiente. Por lo tanto, al tratar de resolver una crisis de resistencia a los antimicrobianos, se debe tener precaución de no producir otra crisis ambiental.

Los métodos biológicos de síntesis han sido reconocidos como alternativas viables. La

investigación preliminar y la literatura existente confirman que estos métodos parecen prometedores en varios aspectos, incluso en el contexto de la química verde. Mediante el uso de métodos biológicos, las nanopartículas de plata se pueden sintetizar a través de plantas, las cuales son fuentes renovables.

La reacción para formular nanopartículas de plata a través de métodos biológicos se adhiere a los principios de la química verde obedeciendo las reglas de un método económico y dando lugar a buenos rendimientos del producto, el método es sencillo de realizar y no implica derivatizar a otros sectores innecesariamente, es energéticamente eficiente, utiliza químicos que no son tóxicos y por último este método tiene un diseño inherentemente más seguro.

En el contexto de su actividad antimicrobiana, la formulación de nanopartículas de plata a través de métodos biológicos no compromete su eficacia. Si bien muchos artículos científicos destacan la síntesis de Ag NP a partir de plantas y microbios, y demuestran con éxito su consiguiente actividad en bacterias y hongos, la investigación se mantiene a pequeña escala. Existe la necesidad de desarrollar y fortalecer los métodos biológicos, de modo que puedan ampliarse para uso industrial. En adición a la síntesis, también deben estudiarse otros aspectos, como las técnicas de administración principalmente para combatir la toxicidad potencial que puede surgir debido a las nanopartículas de plata. Teniendo en cuenta todos los beneficios potenciales de las nanopartículas de plata.

La producción de NP_{Ag} utilizando extractos de plantas y microorganismos como agentes reductores y estabilizantes se está convirtiendo en un campo de investigación atractivo y prometedor en el que se están llevando a cabo en abundantes estudios. Por lo cual, existe la posibilidad de que las industrias farmacéuticas y otros laboratorios adopten la metodología de la síntesis biológica de las nanopartículas de plata.

Las NP_{Ag} sintetizadas por métodos biológicos se ha evidenciado que tienden a ser más eficaces y menos tóxicas que las NP (nanopartículas) sintetizadas por métodos químicos convencionales. Incluso, los métodos biológicos son más amigables con el planeta y económicamente más viables, ya que consumen una menor cantidad de energía y no producen residuos tóxicos para la salud y medioambiente. Sin embargo, a pesar de su productividad y beneficios potenciales, el uso de nanopartículas de plata también genera preocupaciones en cuanto a su seguridad y posibles efectos tóxicos, especialmente en lo que respecta a su uso en productos alimentarios y en aplicaciones médicas.

Los estudios han constatado que las nanopartículas de plata pueden tener efectos tóxicos en los organismos acuáticos y en ciertas células humanas, y se necesita una investigación más profunda del caso para determinar los efectos a largo plazo en la salud humana y en el medio ambiente. Por consiguiente, es importante que se realicen estudios adicionales para comprender de mejor manera las propiedades y la toxicidad de las nanopartículas de plata sintetizadas por métodos biológicos y cómo se pueden utilizar de manera segura y efectiva en aplicaciones prácticas. Adicionalmente, se deben diseñar estrategias de medición y monitoreo para detectar y prevenir cualquier impacto negativo en la salud humana y en el medio ambiente.

En el Perú, existe una amplia diversidad de plantas que aún no han sido investigadas, la biodiversidad del país y la riqueza de su flora pueden ser aprovechadas para formular nuevas soluciones en la lucha contra la resistencia microbiana, la cual se ha convertido en un grave problema de salud pública en todo el mundo. Lo cual promueve de manera significativa la probabilidad del uso de estos nuevos recursos que pueden ser utilizados para la síntesis de nanopartículas con extractos vegetales.

En conclusión, las nanopartículas de plata sintetizadas por métodos biológicos son una tecnología emergente prometedora en el campo de la medicina, la industria alimentaria y otros campos relacionados. Su eficacia antimicrobiana, su bajo costo y su menor impacto ambiental los hacen una alternativa atractiva a las nanopartículas de plata sintetizadas por métodos químicos. Sin embargo, es necesario realizar más investigaciones para comprender completamente sus propiedades y su seguridad, y desarrollar técnicas de evaluación y monitoreo para garantizar su uso seguro y responsable.

7. CONCLUSIONES

- 1) El método de extracción vegetal más prevalente en la síntesis verde de nanopartículas de plata fue la decocción, debido a su conveniencia práctica y a su alta capacidad de extracción en un periodo corto de tiempo. El solvente predominante utilizado en esta síntesis fue el agua, dado que los componentes extraídos presentaban una mayor afinidad por lo hidrofílico.
- 2) Dentro de los diferentes componentes vegetales empleados, las hojas se destacaron como el material más utilizado para la síntesis verde de nanopartículas de plata.
- 3) Los parámetros más frecuentemente empleados en la síntesis verde de nanopartículas de plata incluyeron: temperatura ambiente como condición predominante, una proporción de nitrato de plata: extracto vegetal de 10:1 en la mayoría de los casos, una concentración típica de nitrato de plata de 1mM, y una duración de reacción inferior a una hora.
- 4) Los fitocomponentes presentes en los extractos vegetales podrían estar implicados en los procesos de reducción y estabilización durante la síntesis verde de nanopartículas de plata, principalmente los polifenoles. entre ellos los flavonoides y taninos.
- 5) Las nanopartículas de plata producidas mediante síntesis verde con extractos vegetales mostraron principalmente tamaños que oscilaban entre 30 y 80 nm, presentando una forma predominantemente esférica. Estas características son favorables para su aplicación en diversas áreas, como la nanomedicina y la nanotecnología.
- 6) Las nanopartículas de plata obtenidas mediante síntesis verde exhibieron una notable actividad antimicrobiana contra una variedad de bacterias, entre ellas *E. coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa* y *S. Typhi*. Estos resultados resaltan su potencial como agentes antimicrobianos eficaces y prometedores.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Organización mundial de la Salud [Internet]. 2020 [citado 28 de noviembre de 2022]. Resistencia a los antimicrobianos. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>
2. Mukaratirwa-Muchanyereyi N, Gusha C, Mujuru M, Guyo U, Nyoni S. Synthesis of silver nanoparticles using plant extracts from *Erythrina abyssinica* aerial parts and assessment of their anti-bacterial and anti-oxidant activities. *Results Chem.* 1 de enero de 2022;4:100402.
3. Aragaw BA, Alula MT, Majoni S, King'ondeu CK. Chapter 2 - Chemical synthesis of silver nanoparticles. En: Abd-Elsalam KA, editor. *Green Synthesis of Silver Nanomaterials* [Internet]. Elsevier; 2022 [citado 2 de diciembre de 2022]. p. 21-53. (Nanobiotechnology for Plant Protection). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128245088000174>
4. Recent advances in membrane reactors for hydrogen production by steam reforming of ethanol as a renewable resource [Internet]. [citado 21 de abril de 2023]. Disponible en: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/revce-2017-0083/html>
5. Kaur H, Rauwel P, Rauwel E. Chapter 6 - Antimicrobial nanoparticles: Synthesis, mechanism of actions. En: Guisbiers G, editor. *Antimicrobial Activity of Nanoparticles* [Internet]. Elsevier; 2023 [citado 4 de diciembre de 2022]. p. 155-202. (Advanced Topics in Biomaterials). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128216378000080>
6. Thakur A, Assad H, Kaya S, Kumar A. Chapter 17 - Plant extracts as environmentally sustainable corrosion inhibitors II. En: Guo L, Verma C, Zhang D, editores. *Eco-Friendly Corrosion Inhibitors* [Internet]. Elsevier; 2022 [citado 2 de diciembre de 2022]. p. 283-310. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323911764000179>
7. Azmir J, Zaidul ISM, Rahman MM, Sharif KM, Mohamed A, Sahena F, et al. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *J Food Eng.* 1 de agosto de 2013;117(4):426-36.

8. Žugić A, Đorđević S, Arsić I, Marković G, Živković J, Jovanović S, et al. Antioxidant activity and phenolic compounds in 10 selected herbs from Vrujci Spa, Serbia. *Ind Crops Prod.* 1 de enero de 2014;52:519-27.
9. Sever K, Tavman İH, Seki Y, Turgut A, Omastova M, Ozdemir I. Electrical and mechanical properties of expanded graphite/high density polyethylene nanocomposites. *Compos Part B Eng.* 1 de octubre de 2013;53:226-33.
10. Zhao LC, He Y, Deng X, Yang GL, Li W, Liang J, et al. Response Surface Modeling and Optimization of Accelerated Solvent Extraction of Four Lignans from Fructus Schisandrae. *Molecules.* abril de 2012;17(4):3618-29.
11. Bajpai M, Pande A, Tewari SK, Prakash D. Phenolic contents and antioxidant activity of some food and medicinal plants. *Int J Food Sci Nutr.* 1 de enero de 2005;56(4):287-91.
12. Jovanović MS, Milutinović M, Lazarević Z, Mudrić J, Matejić J, Kitić D, et al. Heat- and microwave-assisted extraction of bioactive compounds from *Gentiana asclepiadea* L. underground parts: Optimization and comparative assessment using response surface methodology. *J Appl Res Med Aromat Plants.* 11 de abril de 2023;100483.
13. Oprescu EE, Enascuta CE, Radu E, Ciltea-Udrescu M, Lavric V. Does the ultrasonic field improve the extraction productivity compared to classical methods – Maceration and reflux distillation? *Chem Eng Process - Process Intensif.* 1 de septiembre de 2022;179:109082.
14. Wang Y, Xiong X, Huang G. Ultrasound-assisted extraction and analysis of maidenhairtree polysaccharides. *Ultrason Sonochem.* 1 de mayo de 2023;95:106395.
15. Gomes HIO, Martins CSM, Prior JAV. Silver Nanoparticles as Carriers of Anticancer Drugs for Efficient Target Treatment of Cancer Cells. *Nanomaterials.* abril de 2021;11(4):964.
16. Sharma R, Tripathi A. Green synthesis of nanoparticles and its key applications in various sectors. *Mater Today Proc.* 1 de enero de 2022;48:1626-32.
17. Nadar Rajivgandhi G, Chackaravarthi G, Ramachandran G, Kanisha Chelliah C, Maruthupandy M, Alharbi MS, et al. Morphological damage and increased ROS production of biosynthesized silver nanoparticle against MCF-7 breast cancer cells through in vitro approaches. *J King Saud Univ - Sci.* 1 de febrero de 2022;34(2):101795.

18. Li H, Shi X, Cui W. Self-assembled asparaginase-based nanoparticles with enhanced anti-cancer efficacy and anticoagulant activity. *Colloids Surf Physicochem Eng Asp.* 20 de julio de 2022;645:128933.
19. Wasilewska A, Klekotka U, Zambrzycka M, Zambrowski G, Świącicka I, Kalska-Szostko B. Physico-chemical properties and antimicrobial activity of silver nanoparticles fabricated by green synthesis. *Food Chem.* 30 de enero de 2023;400:133960.
20. Jamkhande PG, Ghule NW, Bamer AH, Kalaskar MG. Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications. *J Drug Deliv Sci Technol.* 1 de octubre de 2019;53:101174.
21. Balachandran A, Sreenilayam SP, Madanan K, Thomas S, Brabazon D. Nanoparticle production via laser ablation synthesis in solution method and printed electronic application - A brief review. *Results Eng.* 1 de diciembre de 2022;16:100646.
22. Ficha de datos de seguridad del borohidruro de sodio [Internet]. [citado 2 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-4051-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wzMDk0NTR8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oNmEvaDU3LzkwNjEzMDIwMDk4ODYucGRmfGQ5MzMzMTdjMDI5ZWRhNTdmZWUwMmQxMzZmYmY5MmRhOThiNzRjYmQyYjI2OGQwYjU5MjE5OGVjODUzN2MyMWY>
23. Hidróxido de sodio hoja de seguridad [Internet]. [citado 30 de junio de 2023]. Disponible en: https://www.chemos.de/import/data/msds/ES_es/1310-73-2-A0052041-ES-es.pdf
24. Ficha de seguridad de la oleil amina [Internet]. [citado 2 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.fishersci.es/store/msds?partNumber=10316630&productDescription=5%C2%A0ml;%20frasco%20de%20vidrio&countryCode=ES&language=es>
25. Ficha de seguridad del citrato sódico [Internet]. [citado 2 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-3580-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyMzczwOTJ8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oOTEvaGM1LzkwODM0NzEwNjkyM>

TQucGRmfDUyNTBINjc4MjViN2ZjZDEwYTliZGExMzBjNTdjYTVjYzZmZmY5NDljNjgx
MWM0OWQzMdNmYWZjYjI0NTM3NmE

26. Ficha de datos de seguridad del etilen glicol [Internet]. [citado 2 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.carlroth.com/medias/SDB-6881-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyNjcwODB8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0cy9oNzcvaGQ0LzkwNzYwODE2MjMwNzAucGRmfDY4OTVmYTE1MjNkNTA0NDA0MTQ5NzVIODM4MTI5ODgzNmU4YWJjNzljMGlyNmVjZTBhY2VjNjM0MTBhMjA4MGQ>
27. Rani M, Yadav J, Meenu, Keshu, Shanker U. Chapter 28 - Plant-mediated methods for synthesis of silver nanoparticles. En: Abd-Elsalam KA, Periakaruppan R, Rajeshkumar S, editores. Agri-Waste and Microbes for Production of Sustainable Nanomaterials [Internet]. Elsevier; 2022 [citado 2 de diciembre de 2022]. p. 685-706. (Nanobiotechnology for Plant Protection). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128235751000123>
28. Ghaffari-Moghaddam M, Hadi-Dabanlou R, Khajeh M, Rakhshanipour M, Shameli K. Green synthesis of silver nanoparticles using plant extracts. Korean J Chem Eng. 1 de abril de 2014;31(4):548-57.
29. Muthukumar H, Palanirajan SK, Shanmugam MK, Gummadi SN. Plant extract mediated synthesis enhanced the functional properties of silver ferrite nanoparticles over chemical mediated synthesis. Biotechnol Rep. 1 de junio de 2020;26:e00469.
30. Melkamu WW, Bitew LT. Green synthesis of silver nanoparticles using Hagenia abyssinica (Bruce) J.F. Gmel plant leaf extract and their antibacterial and anti-oxidant activities. Heliyon. 1 de noviembre de 2021;7(11):e08459.
31. Nie P, Zhao Y, Xu H. Synthesis, applications, toxicity and toxicity mechanisms of silver nanoparticles: A review. Ecotoxicol Environ Saf. 15 de marzo de 2023;253:114636.
32. instituto sindical de trabajo, ambiente y salud [Internet]. [citado 4 de diciembre de 2022]. La Química Verde | ISTAS. Disponible en: <https://istas.net/istas/riesgo-quimico/alternativas/la-quimica-verde>

33. Alharbi NS, Alsubhi NS, Felimban AI. Green synthesis of silver nanoparticles using medicinal plants: Characterization and application. *J Radiat Res Appl Sci*. 1 de septiembre de 2022;15(3):109-24.
34. Rumaling MI, Chee FP, Bade A, Hasbi NH, Daim S, Juhim F, et al. Methods of optical spectroscopy in detection of virus in infected samples: A review. *Heliyon*. 1 de septiembre de 2022;8(9):e10472.
35. Phan S, Padilla-Gamiño JL, Luscombe CK. The effect of weathering environments on microplastic chemical identification with Raman and IR spectroscopy: Part I. polyethylene and polypropylene. *Polym Test*. 1 de diciembre de 2022;116:107752.
36. Akitsu T. Chapter 2 - Using XRD technique for model composite and related materials. En: Song H, Nguyen TA, Yasin G, Singh NB, Gupta RK, editores. *Nanotechnology in the Automotive Industry* [Internet]. Elsevier; 2022 [citado 2 de junio de 2023]. p. 15-35. (Micro and Nano Technologies). Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323905244000025>
37. Sun T, Li Y, Liu Y, Deng B, Liao C, Zhu Y. Advanced scanning electron microscopy and microanalysis: Applications to nanomaterials. En: Yin Y, Lu Y, Xia Y, editores. *Encyclopedia of Nanomaterials (First Edition)* [Internet]. Oxford: Elsevier; 2023 [citado 27 de abril de 2023]. p. 183-209. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128224250001044>
38. Vladár AE, Hodoroaba VD. Chapter 2.1.1 - Characterization of nanoparticles by scanning electron microscopy. En: Hodoroaba VD, Unger WES, Shard AG, editores. *Characterization of Nanoparticles* [Internet]. Elsevier; 2020 [citado 22 de junio de 2023]. p. 7-27. (Micro and Nano Technologies). Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012814182300002X>
39. Alharbi FA, Alarfaj AA. Green synthesis of silver nanoparticles from *Neurada procumbens* and its antibacterial activity against multi-drug resistant microbial pathogens. *J King Saud Univ - Sci*. 1 de marzo de 2020;32(2):1346-52.

40. Loo YY, Rukayadi Y, Nor-Khaizura MA, Kuan CH, Chieng BW, Nishibuchi M, et al. In Vitro antimicrobial activity of green synthesized silver nanoparticles against selected Gram-negative foodborne pathogens. *Front Microbiol.* 2018;9(JUL).
41. Zhao Z yuan, Li P jun, Xie R sheng, Cao X ye, Su D lin, Shan Y. Biosynthesis of silver nanoparticle composites based on hesperidin and pectin and their synergistic antibacterial mechanism. *Int J Biol Macromol.* 1 de agosto de 2022;214:220-9.
42. John A, Shaji A, Velayudhannair K, M N, Krishnamoorthy G. Anti-bacterial and biocompatibility properties of green synthesized silver nanoparticles using *Parkia biglandulosa* (Fabales:Fabaceae) leaf extract. *Curr Res Green Sustain Chem.* 1 de enero de 2021;4:100112.
43. Soares A, Pestel-Caron M, Leysour de Rohello F, Bourgoin G, Boyer S, Caron F. Area of technical uncertainty for susceptibility testing of amoxicillin/clavulanate against *Escherichia coli*: analysis of automated system, Etest and disk diffusion methods compared to the broth microdilution reference. *Clin Microbiol Infect.* 1 de diciembre de 2020;26(12):1685.e1-1685.e6.
44. Nguyen QH, Ngo HH, Nguyen-Vo TH, Do TTT, Rahardja S, Nguyen BP. eMIC-AntiKP: Estimating minimum inhibitory concentrations of antibiotics towards *Klebsiella pneumoniae* using deep learning. *Comput Struct Biotechnol J.* 1 de enero de 2023;21:751-7.
45. Vishwanath R, Negi B. Conventional and green methods of synthesis of silver nanoparticles and their antimicrobial properties. *Curr Res Green Sustain Chem.* 1 de enero de 2021;4:100205.
46. Tyagi PK, Rizvi T, Kapse AV. Evaluate the toxicity of silver nanoparticles by chemical and green synthesis methods. *Mater Today Proc* [Internet]. 22 de noviembre de 2022 [citado 4 de diciembre de 2022]; Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322070493>
47. Rajput H, Kedia A, Shah D, Gamit HA, Amaresan N. Sustainable synthesis of silver nanoparticles using fruit waste and its antibacterial activity. *Mater Today Proc.* 1 de enero de 2022;68:299-305.
48. Ali F, Younas U, Nazir A, Hassan F, Iqbal M, Hamza B uz zaman, et al. Biosynthesis and characterization of silver nanoparticles using strawberry seed extract and evaluation of their

antibacterial and antioxidant activities. *J Saudi Chem Soc.* 1 de noviembre de 2022;26(6):101558.

49. Mani R, Vijayakumar P, Dhas TS, Velu K, Inbakandan D, Thamaraiselvi C, et al. Synthesis of biogenic silver nanoparticles using butter fruit pulp extract and evaluation of their antibacterial activity against *Providencia vermicola* in Rohu. *J King Saud Univ - Sci.* 1 de abril de 2022;34(3):101814.

50. Suriyakala G, Sathiyaraj S, Devanesan S, AlSalhi MS, Rajasekar A, Maruthamuthu MK, et al. Phytosynthesis of silver nanoparticles from *Jatropha integerrima* Jacq. flower extract and their possible applications as antibacterial and antioxidant agent. *Saudi J Biol Sci.* 1 de febrero de 2022;29(2):680-8.

51. Khan W, Khan N, Jamila N, Masood R, Minhaz A, Amin F, et al. Antioxidant, antibacterial, and catalytic performance of biosynthesized silver nanoparticles of *Rhus javanica*, *Rumex hastatus*, and *Callistemon viminalis*. *Saudi J Biol Sci.* 1 de febrero de 2022;29(2):894-904.

52. Khan AA, Alanazi AM, Alsaif N, Wani TA, Bhat MA. Pomegranate peel induced biogenic synthesis of silver nanoparticles and their multifaceted potential against intracellular pathogen and cancer. *Saudi J Biol Sci.* 1 de agosto de 2021;28(8):4191-200.

53. Mathew S, Victório CP, Sidhi M S J, B.h BT. Biosynthesis of silver nanoparticle using flowers of *Calotropis gigantea* (L.) W.T. Aiton and activity against pathogenic bacteria. *Arab J Chem.* 1 de diciembre de 2020;13(12):9139-44.

54. Alshameri AW, Owais M, Altaf I, Farheen S. *Rumex nervosus* mediated green synthesis of silver nanoparticles and evaluation of its in vitro antibacterial, and cytotoxic activity. *OpenNano.* 1 de noviembre de 2022;8:100084.

55. Loganathan S, Selvam K, Padmavathi G, Shivakumar MS, Senthil-Nathan S, Sumathi AG, et al. Biological synthesis and characterization of *Passiflora subpeltata* Ortega aqueous leaf extract in silver nanoparticles and their evaluation of antibacterial, antioxidant, anti-cancer and larvicidal activities. *J King Saud Univ - Sci.* 1 de abril de 2022;34(3):101846.

56. Kambale EK, Nkanga CI, Mutonkole BPI, Bapolisi AM, Tassa DO, Liesse JMI, et al. Green synthesis of antimicrobial silver nanoparticles using aqueous leaf extracts from three Congolese plant species (*Brillantaisia patula*, *Crossopteryx febrifuga* and *Senna siamea*). *Heliyon*. 1 de agosto de 2020;6(8):e04493.
57. Vinodhini S, Vithiya BSM, Prasad TAA. Green synthesis of silver nanoparticles by employing the *Allium fistulosum*, *Tabernaemontana divaricate* and *Basella alba* leaf extracts for antimicrobial applications. *J King Saud Univ - Sci*. 1 de junio de 2022;34(4):101939.
58. Al Mashud MdA, Moinuzzaman Md, Hossain MdS, Ahmed S, Ahsan G, Reza A, et al. Green synthesis of silver nanoparticles using *Cinnamomum tamala* (Tejpata) leaf and their potential application to control multidrug resistant *Pseudomonas aeruginosa* isolated from hospital drainage water. *Heliyon*. 1 de julio de 2022;8(7):e09920.
59. Logambal S, Thilagavathi T, Chandrasekar M, Inmozhi C, Belle Ebanda Kedi P, Bassyouni FA, et al. Synthesis and antimicrobial activity of silver nanoparticles: Incorporated *Couroupita guianensis* flower petal extract for biomedical applications. *J King Saud Univ - Sci*. 17 de noviembre de 2022;102455.
60. Tailor G, Yadav BL, Chaudhary J, Joshi M, Suvalka C. Green synthesis of silver nanoparticles using *Ocimum canum* and their anti-bacterial activity. *Biochem Biophys Rep*. 1 de diciembre de 2020;24:100848.
61. Ravichandran V, Vasanthi S, Shalini S, Shah SAA, Tripathy M, Paliwal N. Green synthesis, characterization, antibacterial, antioxidant and photocatalytic activity of *Parkia speciosa* leaves extract mediated silver nanoparticles. *Results Phys*. 1 de diciembre de 2019;15:102565.
62. Kocadag Kocazorbaz E, Moulahoum H, Tut E, Sarac A, Tok K, Yalcin HT, et al. Kermes oak (*Quercus coccifera* L.) extract for a biogenic and eco-benign synthesis of silver nanoparticles with efficient biological activities. *Environ Technol Innov*. 1 de noviembre de 2021;24:102067.
63. Dada AO, Adekola FA, Dada FE, Adelani-Akande AT, Bello MO, Okonkwo CR, et al. Silver nanoparticle synthesis by *Acalypha wilkesiana* extract: phytochemical screening,

characterization, influence of operational parameters, and preliminary antibacterial testing. *Heliyon*. 1 de octubre de 2019;5(10):e02517.

64. Kuppusamy P, Kim S, Kim SJ, Song KD. Antimicrobial and cytotoxicity properties of biosynthesized gold and silver nanoparticles using *D. brittonii* aqueous extract. *Arab J Chem*. 1 de noviembre de 2022;15(11):104217.

65. Das G, Shin HS, Kumar A, Vishnuprasad CN, Patra JK. Photo-mediated optimized synthesis of silver nanoparticles using the extracts of outer shell fibre of *Cocos nucifera* L. fruit and detection of its antioxidant, cytotoxicity and antibacterial potential. *Saudi J Biol Sci*. 1 de enero de 2021;28(1):980-7.

66. Alsubki R, Tabassum H, Abudawood M, Rabaan AA, Alsobaie SF, Ansar S. Green synthesis, characterization, enhanced functionality and biological evaluation of silver nanoparticles based on *Coriander sativum*. *Saudi J Biol Sci*. 1 de abril de 2021;28(4):2102-8.

67. Veeraraghavan VP, Periadurai ND, Karunakaran T, Hussain S, Surapaneni KM, Jiao X. Green synthesis of silver nanoparticles from aqueous extract of *Scutellaria barbata* and coating on the cotton fabric for antimicrobial applications and wound healing activity in fibroblast cells (L929). *Saudi J Biol Sci*. 1 de julio de 2021;28(7):3633-40.

68. Mankad M, Patil G, Patel D, Patel P, Patel A. Comparative studies of sunlight mediated green synthesis of silver nanoparticles from *Azadirachta indica* leaf extract and its antibacterial effect on *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. *Arab J Chem*. 1 de enero de 2020;13(1):2865-72.

69. Sobi MA, Usha D, Umadevi M, Bindhu MR, Sureshkumar S, Al-Dosary MA, et al. Size dependent antimicrobial activity of *Boerhaavia diffusa* leaf mediated silver nanoparticles. *J King Saud Univ - Sci*. 1 de julio de 2022;34(5):102096.

70. Govindappa M, Hemashekhar B, Arthikala MK, Ravishankar Rai V, Ramachandra YL. Characterization, antibacterial, antioxidant, antidiabetic, anti-inflammatory and antityrosinase activity of green synthesized silver nanoparticles using *Calophyllum tomentosum* leaves extract. *Results Phys*. 1 de junio de 2018;9:400-8.

71. Gomathi M, Rajkumar PV, Prakasam A. Study of dislocation density (defects such as Ag vacancies and interstitials) of silver nanoparticles, green-synthesized using *Barleria cristata* leaf

extract and the impact of defects on the antibacterial activity. *Results Phys.* 1 de septiembre de 2018;10:858-64.

72. Al-Ansari MM, Dhasarathan P, Ranjitsingh AJA, Al-Humaid LA. Challenging multidrug-resistant urinary tract bacterial isolates via bio-inspired synthesis of silver nanoparticles using the inflorescence extracts of *Tridax procumbens*. *J King Saud Univ - Sci.* 1 de octubre de 2020;32(7):3145-52.

73. Chakraborty B, Kumar RS, Almansour AI, Kotresha D, Rudrappa M, Pallavi SS, et al. Evaluation of antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activity of silver nanoparticles derived from *Galphimia glauca* leaf extract. *J King Saud Univ - Sci.* 1 de diciembre de 2021;33(8):101660.

74. Ruíz-Baltazar Á de J, Reyes-López SY, Mondragón-Sánchez M de L, Estevez M, Hernández-Martínez AR, Pérez R. Biosynthesis of Ag nanoparticles using *Cynara cardunculus* leaf extract: Evaluation of their antibacterial and electrochemical activity. *Results Phys.* 1 de diciembre de 2018;11:1142-9.

75. Santhosh A, Theertha V, Prakash P, Smitha Chandran S. From waste to a value added product: Green synthesis of silver nanoparticles from onion peels together with its diverse applications. *Mater Today Proc.* 1 de enero de 2021;46:4460-3.

76. Arshad H, Saleem M, Pasha U, Sadaf S. Synthesis of Aloe vera-conjugated silver nanoparticles for use against multidrug-resistant microorganisms. *Electron J Biotechnol.* 1 de enero de 2022;55:55-64.

77. Sarwer Q, Amjad MS, Mehmood A, Binish Z, Mustafa G, Farooq A, et al. Green Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles Using *Myrsine africana* Leaf Extract for Their Antibacterial, Antioxidant and Phytotoxic Activities. *Molecules.* 2022;27(21).

78. Allafchian A, Jalali SAH, Mirahmadi Zare SZ, Amiri R. Biosynthesis of silver nanoparticles using *Poa bulbosa* extract and their antibacterial activity. *Micro Nano Lett.* 2022;17(13):349-55.

79. Jalab J, Abdelwahed W, Kitaz A, Al-Kayali R. Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous extract of *Acacia cyanophylla* and its antibacterial activity. *Heliyon*. 1 de septiembre de 2021;7(9):e08033.
80. Nagesh MR, Kumar N, Khan JM, Ahmed MZ, Kavitha R, Kim SJ, et al. Green synthesis and pharmacological applications of silver nanoparticles using ethanolic extract of *Salacia chinensis* L. *J King Saud Univ - Sci*. 1 de octubre de 2022;34(7):102284.
81. Cheng Z, Tang S, Feng J, Wu Y. Biosynthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles using *Flos Sophorae Immaturus* extract. *Heliyon*. 1 de agosto de 2022;8(8):e10010.
82. Gomathi M, Prakasam A, Rajkumar PV, Rajeshkumar S, Chandrasekaran R, Anbarasan PM. Green synthesis of silver nanoparticles using *Gymnema sylvestre* leaf extract and evaluation of its antibacterial activity. *South Afr J Chem Eng*. 1 de abril de 2020;32:1-4.
83. Alarjani KM, Huessien D, Rasheed RA, Kalaiyarasi M. Green synthesis of silver nanoparticles by *Pisum sativum* L. (pea) pod against multidrug resistant foodborne pathogens. *J King Saud Univ - Sci*. 1 de abril de 2022;34(3):101897.
84. Selem E, Mekky AF, Hassanein WA, Reda FM, Selim YA. Antibacterial and antibiofilm effects of silver nanoparticles against the uropathogen *Escherichia coli* U12. *Saudi J Biol Sci*. 1 de noviembre de 2022;29(11):103457.
85. Ramesh AV, Devi DR, Battu G, Basavaiah K. A Facile plant mediated synthesis of silver nanoparticles using an aqueous leaf extract of *Ficus hispida* Linn. f. for catalytic, antioxidant and antibacterial applications. *South Afr J Chem Eng*. 1 de diciembre de 2018;26:25-34.
86. Algebaly AS, Mohammed AE, Abutaha N, Elobeid MM. Biogenic synthesis of silver nanoparticles: Antibacterial and cytotoxic potential. *Saudi J Biol Sci*. 1 de mayo de 2020;27(5):1340-51.
87. Chouhan S, Guleria S. Green synthesis of AgNPs using *Cannabis sativa* leaf extract: Characterization, antibacterial, anti-yeast and α -amylase inhibitory activity. *Mater Sci Energy Technol*. 1 de enero de 2020;3:536-44.

88. Alwhibi MS, Soliman DA, al khaldy H, Alonaizan A, Abdulhaq Marraiki N, El-Zaidy M, et al. Green biosynthesis of silver nanoparticle using Commiphora myrrh extract and evaluation of their antimicrobial activity and colon cancer cells viability. *J King Saud Univ - Sci.* 1 de diciembre de 2020;32(8):3372-9.
89. Girón-Vázquez NG, Gómez-Gutiérrez CM, Soto-Robles CA, Nava O, Lugo-Medina E, Castrejón-Sánchez VH, et al. Study of the effect of *Persea americana* seed in the green synthesis of silver nanoparticles and their antimicrobial properties. *Results Phys.* 1 de junio de 2019;13:102142.
90. Keshari AK, Srivastava R, Singh P, Yadav VB, Nath G. Antioxidant and antibacterial activity of silver nanoparticles synthesized by *Cestrum nocturnum*. *J Ayurveda Integr Med.* 1 de enero de 2020;11(1):37-44.
91. Bhat M, Chakraborty B, Kumar RS, Almansour AI, Arumugam N, Kotresha D, et al. Biogenic synthesis, characterization and antimicrobial activity of *Ixora brachypoda* (DC) leaf extract mediated silver nanoparticles. *J King Saud Univ - Sci.* 1 de marzo de 2021;33(2):101296.
92. Kalpana D, Han JH, Park WS, Lee SM, Wahab R, Lee YS. Green biosynthesis of silver nanoparticles using *Torreya nucifera* and their antibacterial activity. *Arab J Chem.* 1 de noviembre de 2019;12(7):1722-32.
93. Sukweenadhi J, Setiawan KI, Avanti C, Kartini K, Rupa EJ, Yang DC. Scale-up of green synthesis and characterization of silver nanoparticles using ethanol extract of *Plantago major* L. leaf and its antibacterial potential. *South Afr J Chem Eng.* 1 de octubre de 2021;38:1-8.
94. Rodríguez-Félix F, López-Cota AG, Moreno-Vásquez MJ, Graciano-Verdugo AZ, Quintero-Reyes IE, Del-Toro-Sánchez CL, et al. Sustainable-green synthesis of silver nanoparticles using safflower (*Carthamus tinctorius* L.) waste extract and its antibacterial activity. *Heliyon.* 1 de abril de 2021;7(4):e06923.
95. Jan H, Zaman G, Usman H, Ansir R, Drouet S, Gigliolo-Guivarc'h N, et al. Biogenically proficient synthesis and characterization of silver nanoparticles (Ag-NPs) employing aqueous

extract of *Aquilegia pubiflora* along with their in vitro antimicrobial, anti-cancer and other biological applications. *J Mater Res Technol.* 1 de noviembre de 2021;15:950-68.

96. Al-Rajhi AMH, Salem SS, Alharbi AA, Abdelghany TM. Ecofriendly synthesis of silver nanoparticles using Kei-apple (*Dovyalis caffra*) fruit and their efficacy against cancer cells and clinical pathogenic microorganisms. *Arab J Chem.* 1 de julio de 2022;15(7):103927.

97. Gulbagca F, Ozdemir S, Gulcan M, Sen F. Synthesis and characterization of Rosa canina-mediated biogenic silver nanoparticles for anti-oxidant, antibacterial, antifungal, and DNA cleavage activities. *Heliyon.* 1 de diciembre de 2019;5(12):e02980.

98. Charti I, Azouzi A, Belghiti A, Sair S, Abboud Y, El Bouari A. Ecofriendly synthesis of stabilized silver nanoparticles and the evaluation of their potential applications. *Curr Res Green Sustain Chem.* 1 de enero de 2021;4:100102.

99. Olabemiwo OM, Akintelu SA, Waheed AA, Okunlola DS, Akinwale DR, Adeyinka GC, et al. Green synthesis of silver nanoparticles using stem bark extract of *Annona senegalensis*: Characterization and its antibacterial potency. *Curr Res Green Sustain Chem.* 1 de enero de 2021;4:100219.

100. Behravan M, Hossein Panahi A, Naghizadeh A, Ziaee M, Mahdavi R, Mirzapour A. Facile green synthesis of silver nanoparticles using *Berberis vulgaris* leaf and root aqueous extract and its antibacterial activity. *Int J Biol Macromol.* 1 de marzo de 2019;124:148-54.

101. Zare-Bidaki M, Aramjoo H, Mizwari ZM, Mohammadparast-Tabas P, Javanshir R, Mortazavi-Derazkola S. Cytotoxicity, antifungal, antioxidant, antibacterial and photodegradation potential of silver nanoparticles mediated via *Medicago sativa* extract. *Arab J Chem.* 1 de junio de 2022;15(6):103842.

102. Kiani Z, Aramjoo H, Chamani E, Siami-Aliabad M, Mortazavi-Derazkola S. In vitro cytotoxicity against K562 tumor cell line, antibacterial, antioxidant, antifungal and catalytic activities of biosynthesized silver nanoparticles using *Sophora pachycarpa* extract. *Arab J Chem.* 1 de marzo de 2022;15(3):103677.

103. Tariq H, Rafi M, Amirzada MI, Muhammad SA, Yameen MA, Mannan A, et al. Photodynamic cytotoxic and antibacterial evaluation of *Tecoma stans* and *Narcissus tazetta* mediated silver nanoparticles. *Arab J Chem*. 1 de marzo de 2022;15(3):103652.
104. Hublikar LV, Ganachari SV, Raghavendra N, Patil VB, Banapurmath NR. Green synthesis silver nanoparticles via *Eichhornia Crassipes* leaves extract and their applications. *Curr Res Green Sustain Chem*. 1 de enero de 2021;4:100212.
105. Ali G, Khan A, Shahzad A, Alhodaib A, Qasim M, Naz I, et al. Phytogetic-mediated silver nanoparticles using *Persicaria hydropiper* extracts and its catalytic activity against multidrug resistant bacteria. *Arab J Chem*. 1 de septiembre de 2022;15(9):104053.
106. Devi M, Devi S, Sharma V, Rana N, Bhatia RK, Bhatt AK. Green synthesis of silver nanoparticles using methanolic fruit extract of *Aegle marmelos* and their antimicrobial potential against human bacterial pathogens. *J Tradit Complement Med*. 1 de marzo de 2020;10(2):158-65.
107. de Carvalho Bernardo WL, Boriollo MFG, Tonon CC, da Silva JJ, Cruz FM, Martins AL, et al. Antimicrobial effects of silver nanoparticles and extracts of *Syzygium cumini* flowers and seeds: Periodontal, cariogenic and opportunistic pathogens. *Arch Oral Biol*. 1 de mayo de 2021;125:105101.
108. Hashemi Z, Mizwari ZM, Mohammadi-Aghdam S, Mortazavi-Derazkola S, Ali Ebrahimzadeh M. Sustainable green synthesis of silver nanoparticles using *Sambucus ebulus* phenolic extract (AgNPs@SEE): Optimization and assessment of photocatalytic degradation of methyl orange and their in vitro antibacterial and anticancer activity. *Arab J Chem*. 1 de enero de 2022;15(1):103525.
109. Javan bakht Dalir S, Djahaniani H, Nabati F, Hekmati M. Characterization and the evaluation of antimicrobial activities of silver nanoparticles biosynthesized from *Carya illinoensis* leaf extract. *Heliyon*. 1 de marzo de 2020;6(3):e03624.
110. Oves M, Ahmar Rauf M, Aslam M, Qari HA, Sonbol H, Ahmad I, et al. Green synthesis of silver nanoparticles by *Conocarpus Lancifolius* plant extract and their antimicrobial and anticancer activities. *Saudi J Biol Sci*. 1 de enero de 2022;29(1):460-71.

111. Sk I, Khan MA, Haque A, Ghosh S, Roy D, Homechuadhuri S, et al. Synthesis of gold and silver nanoparticles using *Malva verticillata* leaves extract: Study of gold nanoparticles catalysed reduction of nitro-Schiff bases and antibacterial activities of silver nanoparticles. *Curr Res Green Sustain Chem.* 1 de junio de 2020;3:100006.
112. Singla S, Jana A, Thakur R, Kumari C, Goyal S, Pradhan J. Green synthesis of silver nanoparticles using *Oxalis griffithii* extract and assessing their antimicrobial activity. *OpenNano.* 1 de julio de 2022;7:100047.
113. Singh R, Sagar NA, Kumar N. Bio-inspired green fabrication of silver nanoparticles (AgNPs) using aqueous leaves extract of *Ipomoea carnea* Jacq. To tackle multiple drug resistance MTCC bacterial strains. *Eur J Med Chem Rep.* 1 de diciembre de 2022;6:100066.
114. Singh R, Navneet. Green synthesis of silver nanoparticles using methanol extract of *Ipomoea carnea* Jacq. to combat multidrug resistance bacterial pathogens. *Curr Res Green Sustain Chem.* 1 de enero de 2021;4:100152.
115. Chakraborty A, Haque SM, Dey D, Mukherjee S, Ghosh B. Phytogetic silver nanoparticles from tissue-cultured *Kaempferia angustifolia* — an underutilized medicinal herb: a comparative antibacterial study on urinary pathogens. *J Genet Eng Biotechnol.* 8 de septiembre de 2022;20(1):131.
116. Madakka M, Jayaraju N, Rajesh N. Evaluating the antimicrobial activity and antitumor screening of green synthesized silver nanoparticles compounds, using *Syzygium jambolanum*, towards MCF7 cell line (Breast cancer cell line). *J Photochem Photobiol.* 1 de junio de 2021;6:100028.
117. Raghava S, Munnene Mbae K, Umesha S. Green synthesis of silver nanoparticles by *Rivina humilis* leaf extract to tackle growth of *Brucella* species and other perilous pathogens. *Saudi J Biol Sci.* 1 de enero de 2021;28(1):495-503.