

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA

UNAN-LEÓN



ÁREA DE CONOCIMIENTO DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

ÁREA ESPECÍFICA DE QUÍMICA

TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIATURA EN
QUÍMICA

TEMA

*Implementación de síntesis verde para la obtención de nanopartículas de
plata a partir de extractos de plantas.*

AUTORES:

- *Br. Daphne Elvira Granera Alemán*
- *Br. Kenny Moisés Guerrero Fernández*

TUTOR:

M.Sc. Jorge Isaac Cisne Altamirano

Índice

Agradecimientos	3
Dedicatoria	5
Resumen.....	7
Introducción.....	8
1. Objetivos.....	10
1.1. Objetivo General	10
1.2. Objetivos específicos	10
2. Marco teórico	11
3. Diseño Metodológico.....	20
3.1. Obtención de extracto acuoso de las hojas de <i>Citrus aurantifolia</i> y <i>Citrus aurantium</i>	22
3.2. Síntesis de nanopartículas de plata (AgNPs).....	23
3.3. Flujograma del procedimiento	21
4. Resultados y discusión.	25
4.1. Obtención de nanopartículas bajo condiciones controladas y reproducibles.	25
4.2. Síntesis de nanopartículas de plata a partir de extractos acuosos de hojas de limón y naranja agria.....	27
4.3. Síntesis de nanopartículas de plata a partir de extractos acuosos de hojas de limón.	29
4.4. Síntesis de nanopartículas de plata a partir de extracto acuoso de hojas de naranja agria.....	30
4.5. Evaluación de la eficiencia de las nanopartículas de plata obtenida de ambos extractos de plantas.	32
5. Conclusión	39
6. Recomendaciones.....	40
7. Anexos.....	41
Referencias Bibliográficas.....	43

Agradecimientos

A Dios, porque es quien me ha guiado desde que comencé a moldear mi vida, a entender mi entorno y porque me ha ayudado a comprender que las cosas pasan por alguna razón y que no todo es negativo a consecuencia de dichos acontecimientos, en cambio, me han hecho más fuerte para poder seguir luchando por mi futuro, por mis sueños y principalmente, por mi felicidad y paz mental.

A mis padres, porque han sido los pilares esenciales en mi vida y crecimiento tanto emocionalmente como personalmente. Siempre piensan en qué es mejor para mí y han hecho lo posible por que esté donde estoy ahora; son quiénes merecen ser reconocidos por su sacrificio hacia mi persona quien es hoy una profesional.

A mis hermanos, son quienes siempre me hacen enfocarme en las buenas cosas dentro de un mal momento, porque sé que puedo contar con ellos en cualquier momento. Sus perspectivas me han formado de una forma distinta y siempre me han hecho ver nuevas perspectivas de lo que pasa a nuestro alrededor. Su felicidad, se convierte en la mía.

A mis gatitas, Zafira y Lily, que a pesar que no son mi sangre ni tampoco compartimos especie, han estado de forma silenciosa en todos los momentos desde que nos conocimos. Por cada noche que pasaron a mi lado viéndome alcanzar mi meta mientras ellas me hacían compañía hasta que me dormía. Por su amor y confianza que he podido ver todos los días con el gesto de recibirme en la puerta de mi casa y que también me recuerdan el por qué sigo intentándolo todos los días.

A quien pocos conocen pero que me hace feliz en cierta forma, Miguel, porque el entenderle me ha llevado a ver más allá de lo que realmente es y que en cierta forma conectamos sin forzarlo. Su inteligencia y su gran corazón, son cosas que muy pocas personas pueden realmente ver y su amor es tan sincero que logró conquistar mi corazón.

A mi compañero de tesis, porque a pesar de nuestras diferencias, siempre tratamos de ver las cosas de buena manera y buscamos un equilibrio que nos mantenga en sincronía en el momento y tener éxito en lo que queremos hacer.

A nuestro tutor Msc. Jorge Isaac Cisne Altamirano, porque nos ha guiado en todo el proceso y nos ha hecho comprender aquellos detalles que nosotros no notábamos. Porque cuando lo conocí, no sabía nada pero a medida que pasaba el tiempo, comenzaba a aprender y conocer; saber de lo que soy capaz.

Daphne Granera

A Dios, Por haberme dado vida, salud y la oportunidad de alcanzar una de mis más grandes metas. Gracias por concederme la fortaleza necesaria para continuar aun en los momentos de duda y por guiar mis pasos con sabiduría y amor.

A la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, por brindar las herramientas académicas, un ambiente de aprendizaje y respaldo institucional necesarios para llevar a cabo esta investigación. Gracias a su personal administrativo de cristalería y almacén de reactivos. Esta tesis es fruto del camino recorrido en sus aulas, laboratorios y bibliotecas.

A mi tutor el M.Sc. Jorge Isaac Cisne Altamirano, por su guía, paciencia y compromiso durante todo este proceso. Por compartir su conocimiento y orientarme con claridad en los momentos de incertidumbre ha sido un verdadero privilegio contar con su apoyo.

A mi pareja Reyna Nathalia López Luquez por su apoyo en este proyecto. Gracias por dedicar tiempo y esfuerzo a recolectar y brindar las hojas que hicieron posible esta tesis, siendo un acto de amor y de cuidado del cual siempre estaré agradecido.

Kenny Guerrero

Dedicatoria

A mis padres, quienes han estado conmigo en las buenas y en las malas, porque han querido lo mejor para mí y me han brindado las posibilidades que me han traído hasta este punto, quienes me han formado para poder ser alguien mejor cada día y porque son quienes me han visto crecer y triunfar en las distintas etapas de mi vida, en donde esta presente etapa se suma como parte de su orgullo hacia mi persona.

A mis hermanos, quienes han hecho lo posible por ayudarme a comprender el mundo desde sus perspectivas que me han hecho crecer emocionalmente y así darme cuenta que no estoy sola en un camino tan difícil como lo es la vida misma.

A quienes no es mi sangre y tampoco humanos pero su amor y confianza me hacen creer que lo es, a mi Zafira y Lily, quienes con solo su presencia y cariño, han hecho que mi vida tenga un nuevo propósito y un mejor sentido de responsabilidad a medida que he ido creciendo. Con ellas, me he dado cuenta que el amor viene en muchas formas y tamaños, siendo este mismo lo que me ha hecho más fuerte en todos estos años.

A quien pocos conocen que ha cambiado mi vida, alguien que igualmente es muy importante en mi vida y considero que me ha hecho comprender el amor hasta el punto de entenderme mejor a mí misma e incluso amarme mucho más porque su amor me complementa. Su inteligencia y dedicación son lo que me han hecho querer entender a profundidad la ciencia que llevaré en mis manos. A él porque su amor me hace feliz.

Daphne Granera

A Dios, por darme la luz para comprender, la paciencia para perseverar y el amor que sostiene cada paso en este camino y culminar con éxito mis estudios universitarios. Sin su presencia, este logro no habría sido posible.

A mis padres, quienes son las personas más importantes y las responsables de formarme y volverme la persona que soy hoy en día, siempre me apoyaron en mi formación personal y profesional brindándome consejos, comprensión en momentos difíciles y sobre todo gracias por su amor incondicional a mí.

A mi pareja, mi amada reyna gracias por impulsarme a ser mejor persona, siendo mi alegría día a día, celebrando cada uno de mis pequeños logros, tener paciencia y fe en mí, recordarme que los sueños se construyen con las personas que te aman.

A mi hermano, por ser mi amigo estar presente para mí, agradezco todos esos momentos que pasamos riendo juntos.

A mi compañera de tesis, en cada laboratorio que hicimos, cada debate que tuvimos y los obstáculos que superamos en la realización de nuestra investigación.

A Eradio y Alan, por ser mis compañeros de aventura, riendo de nuestras propias anécdotas y preocuparnos el uno del otro más que amigos los considero hermanos.

A mis amigos, que nos apoyamos en nuestros estudios y todos nuestros momentos de convivencia en la universidad son de los más preciados para mí.

A mis maestros, gracias por su tiempo, por sus lecciones y conocimientos que me transmitieron a lo largo de mi carrera universitaria.

Kenny Guerrero

Resumen

La nanotecnología se trata de una ciencia que trabaja a una escala muy pequeña, creando partículas de tamaños de 10-100 nm. Este es un campo muy poco explorado pero posee el potencial de investigarse a profundidad junto con la ayuda de la química verde para la reducción de desechos químicos liberados al ambiente en donde entre 8%-28% de estos nanomateriales podrían terminar en los suelos sin saber de qué manera estos al medio ambiente ya sea que estos sean fabricados de forma convencional o mediante una biosíntesis.

Los metabolitos secundarios presentes en los frutos de análisis tienen como función ser el agente reductor y como estabilizante durante la síntesis, siendo notable la presencia de nanopartículas mediante el cambio de color de los extractos en el momento de la síntesis.

Mediante el uso de espectrofotometría UV-Vis, se tomó como punto de referencia la absorbancia de los extractos puros, notando que sus distintos picos, dados por sus metabolitos secundarios, se ubican entre los 180-200 nm. Con la síntesis, estos picos alcanzaron longitudes de onda de entre los 390 nm hasta los 401 nm, determinando la presencia de nanopartículas de plata en dichos extractos, así mismo se hizo lectura de turbidez para probar la eficacia de las nanopartículas obtenidas utilizando una bebida isotónica como referencia en donde los resultados variaron entre los 94 NTU hasta 82 NTU y luego, se realizó un ensayo solamente con agua y colorante en donde se obtuvo desde 65 NTU hasta 28 NTU de turbidez, teniendo un porcentaje de remoción de hasta el 67%.

Esta investigación demuestra que generar nanomateriales mediante el uso de química verde, puede resultar en un método eficiente y aplicable en clarificación de aguas y en otros campos si se realizan estudios complementarios.

Introducción

La ciencia y la tecnología son campos que han revolucionado con el paso de los años y así mismo, se han adaptado a las necesidades del ser humano a medida que estas aumentan, siendo ambas ramas parte de la llamada era industrial que vemos crecer hoy en día. Sin embargo, (Tamayo & Esquivel, 2014) , acuerdan con que la era industrial se trata de un cambio innovador que influye en la calidad de vida de las personas, al mismo tiempo puede ocasionar un impacto negativo en el aire, suelos, agua; además de causar la degradación y agotamiento de recursos naturales.

La implementación de la química verde tiene como objetivo reducir el impacto ambiental de los residuos industriales y realizar un manejo adecuado de los recursos ambientales. Según (Castro & Verbel, 2011) explican que:

El uso de alternativas para la síntesis de compuestos se utiliza en la industria química con el fin de reducir la emisión de sustancias contaminantes al ambiente y mejorar la calidad de vida de la población, implementando materias primas inocuas y renovables, condiciones de reacción alterna y el uso de solventes inofensivos para el medio ambiente.

Se han desarrollado alternativas amigables con el medio ambiente mediante el uso de nanomateriales, en donde (Rodríguez & Pereira, 2015) explican que se trata de materiales con unidades estructurales básicas como fibras, partículas u otros componentes que poseen una dimensión menor de 100 nm y estos favorecen una mayor superficie de contacto, dando lugar a propiedades fisicoquímicas superiores (eléctricas, magnéticas, catalíticas, etc.) que favorecen el desarrollo en distintos campos de la ciencia.

A pesar de que la nanotecnología posee ventajas por sí sola, el usar métodos más amigables con el planeta es esencial para ir reduciendo el excesivo uso de reactivos que terminan siendo un residuo más entre los ecosistemas de nuestro planeta. El proponer un método que sea amigable para el medio ambiente, no significa que la eficacia sea menor, según (Sánchez et al., 2021) , explica que la síntesis verde de nanopartículas es factible económicamente debido al poco uso de materiales,

además que los extractos de plantas funcionan tanto como estabilizante como reductor durante la síntesis, obteniendo los mismos resultados que una reacción directa.

La nanotecnología puede usarse para el tratamiento y preservación de los recursos naturales, siendo potencial para la previsión del agua. Este método puede ser eficiente para la remediación de aguas subterráneas, biorremediación, remoción de tintas y en procesos de filtración. (Lizárraga, 2017)

El desarrollo de este tipo de tecnologías puede adaptarse en un entorno más sustentable debido a que los nanomateriales han formado parte de nuestro entorno, siendo fabricados a partir de plantas, animales o procesos fisicoquímicos que interactúa cierto tipo de energía con la materia hasta que esta se modifica. (Muñoz y otros, 2023)

El estudiar el comportamiento de las plantas a utilizar para llevar a cabo la biosíntesis, en este caso, extractos de hojas de limón y naranja agria, proporcionará información sobre su funcionalidad como agentes estabilizadores, entre estos la vitamina C o ácido ascórbico que están presente como metabolitos secundarios siendo estos los que impiden la aglomeración o precipitación de las nanopartículas por lo tanto, estabilización, pH, temperatura y concentración del agente metálico son parámetros esenciales que influirán en el tipo de nanopartículas a formarse.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

- Implementar la síntesis verde para la obtención de nanopartículas de plata a partir de extractos de plantas

1.2. Objetivos específicos

- Aplicar un protocolo apropiado para la síntesis de nanopartículas de plata, con el fin de su obtención bajo condiciones controladas y escalable.
- Determinar la presencia de nanopartículas de plata utilizando extractos de hojas de limón (*Citrus aurantifolia*) y naranja agria (*Citrus aurantium L.*) como bio-reductores mediante la técnica de Espectrofotometría UV-Vis.
- Evaluar la eficiencia de las nanopartículas obtenidas para la clarificación de aguas residuales con contenido de colorantes.

2. Marco teórico

Nanotecnología es el término denominado al desarrollo de productos y procesos que comprenden una escala nanométrica que va desde 1 nm hasta los 100 nm. Una partícula pertenece a esta escala si posee dimensiones nanométricas en más de una de sus dimensiones. (M. y otros, 2015)

Según (Girón, 2021) se dice que:

La nanoquímica se ha encargado de generar nuevas rutas sintéticas para la producción de nanopartículas para el estudio de su forma, composición, superficie estructural y funcionalidad, teniendo un mejor control en los parámetros de crecimiento para producir nanopartículas con propiedades a la medida para aplicaciones específicas en distintas áreas de estudio.

La síntesis de nanopartículas puede llevarse a cabo mediante métodos químicos, físicos y biológicos con distintas técnicas para así obtener distintas propiedades.

Con respecto a (Vericat & Schilardi, 2014), los métodos de fabricación de los nanomateriales se dividen generalmente en dos categorías:

El método *top-down* (de arriba hacia abajo), que se lleva a cabo a partir de materiales con grandes dimensiones que se reducen hasta alcanzar tamaños nanométricos, empleando técnicas como la molienda o desgaste. El método *bottom-up* (de abajo hacia arriba), consiste en la construcción de estructuras a partir de átomos o moléculas en fase gaseosa o en solución. Este último es el método más utilizado para la producción de nanomateriales.

Dentro de los métodos químicos, se encuentra la reducción química, proceso por el que se lleva a cabo la biosíntesis. Según (Torres M. G., 2020) el proceso se lleva a cabo de la siguiente forma:

Para la obtención de nanopartículas en solución acuosa como una dispersión coloidal mediante la reducción de un precursor metálico, en este caso, la plata. Se usan agentes reductores orgánicos e inorgánicos y para obtener nanoesferas se pueden usar precursores metálicos como plata, oro, hierro, cobre, entre otros. El agente reductor determina el tamaño de las

nanopartículas debido a que controla la velocidad de reacción y el estabilizante recubre la superficie de las nanopartículas para evitar la dispersión de las mismas.

Los parametros que rigen la nucleación y el crecimiento de las nanopartículas son la temperatura de reacción, el pH, la concentración y tipo de precursor o sal metálica así como los agentes reductores y estabilizantes.

Las nanopartículas de plata poseen distintas propiedades funcionales ya sea en procedimientos de catálisis o como bactericidas. Su característica más atractiva es la baja probabilidad de desarrollo de resistencia por parte de microorganismos, así mismo como su uso en agua, por ejemplo en la recuperación de cromo en aguas residuales, mediante la optimización del proceso y un diseño factorial. (Osorio y otros, 2020)

Para aplicar las nanopartículas en los distintos campos de estudio, se debe tomar en cuenta la forma y el tamaño de las nanopartículas sintetizadas. Factores como la concentración de nitrato de plata y el pH, pueden influenciar en el tamaño de las nanopartículas, así como el tipo de metodología y técnica a emplear. Por ejemplo, según un estudio por (Prathna y otros, 2010), mediante Microscopía de fuerza atómica (AFM), observaron que las nanopartículas sintetizadas a partir del extracto directo de jugo de limón presentaban formas esféricas con tamaños menores a 100 nm. Se determinó un rango de 25-50 nm como tamaño de las nanopartículas obtenidas, esto mediante dicha técnica. Utilizando la técnica de Dispersión dinámica de la luz (DLS), se determinó un tamaño de 153.68 nm en dicha solución coloidal.

Moreno, (2017), explica que las nanopartículas de plata pueden presentar ciertas características morfológicas que pueden ser observadas dentro del espectro UV-Visible, teniendo que:

Cuando se presentan electrones libres por parte de la superficie de las nanopartículas metálicas, estas reciben un haz de luz incidente que induce a una excitación de dichos electrones libres y como consecuencia de la interacción con esta luz se produce una oscilación coherente deslocalizada

de los electrones confinados en la superficie de las nanopartículas metálicas en donde la excitación electromagnética es llamada polaritón de plasmón de superficie en donde el polaritón se trata de una “casi partícula” híbrida resultante del fuerte acoplamiento entre la luz y los electrones libres en la superficie de una nanopartícula. Cuando se produce un acoplamiento entre las frecuencias de onda incidente y la oscilación del polaritón, se origina el fenómeno conocido como resonancia de plasmón de superficie que tiene la capacidad de absorber determinadas frecuencias de la luz incidente y de transmitir las frecuencias no absorbidas que se asocian a un determinado color.

Distintas nanopartículas metálicas como las de oro, plata y cobre presentan disoluciones coloidales de colores intensos cuyas frecuencias de resonancia de plasmón son visibles en la región UV-Visible, esto dependiendo del tamaño y forma de las partículas obtenidas.



Figura 1. Clasificación de diferentes formas típicas de distintas nanopartículas metálicas y su localización con respecto al espectro UV-Vis según la absorción provocada por el SPR. (Moreno, 2017)

La química verde, por definición, diseño de procesos y productos químicos reduciendo o eliminando el uso y generación de sustancias peligrosas. La química verde está compuesta por 12 principios que valoran qué tan respetuosa es una reacción, un proceso o un producto con el medio ambiente. (Sierra y otros, 2014)

El uso de fuentes naturales como lo son enzimas, hongos u extracto de plantas para la obtención de nanopartículas se trata de una rama importante y en desarrollo dentro de la nanotecnología, determinada como síntesis verde.

(Garzón, 2018) determina que:

La síntesis verde trata de una técnica alternativa de bioproducción de nanopartículas con el uso de metales como oro, plata, hierro y óxidos metálicos que son amigables con el medio ambiente. Esta se basa en la reducción de metales mediante procesos naturales con poder antioxidante.

Además, Garzón (2018), recalca que, las nanopartículas se producen a partir de distintos metales como el oro, hierro, platino e incluso, óxidos metálicos en donde actualmente, son más utilizadas y caracterizadas aquellas que se sintetizan a partir de iones de plata conocidas como AgNPs debido a su conductividad, estabilidad, actividad catalítica y antibacterial.

Otra opción para sintetizar nanopartículas de forma directa, es usando extractos acuosos de plantas en donde se contienen uno o más ingredientes activos de una planta en específico.

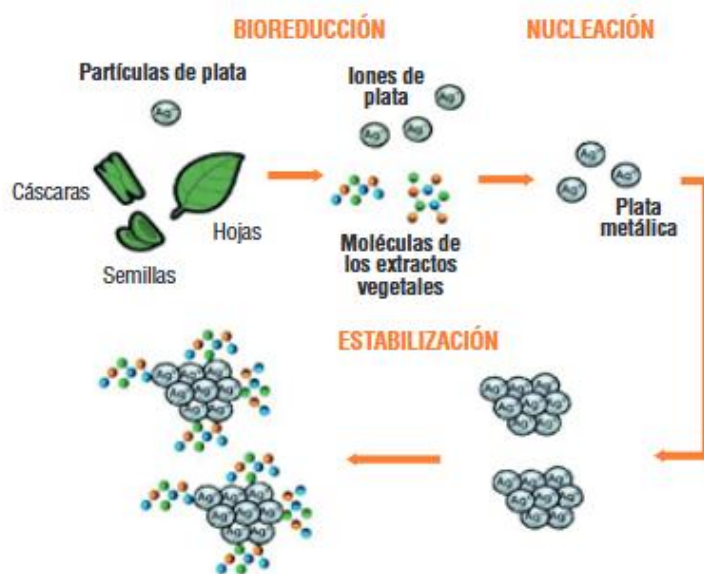


Figura 2. Proceso de síntesis verde de nanopartículas de plata (Garzón, 2018)

Se han llevado a cabo decenas de síntesis de dichas nanopartículas con el uso de extractos de variedades de plantas, siendo el limón y naranja agria, plantas poco

usadas dentro de esta técnica. Este tipo de plantas cítricas, según Mittal y otros (2013) son usadas para la síntesis de nanopartículas debido a que actúan como agentes reductores y como estabilizantes durante la síntesis, esto debido a los metabolitos secundarios que las plantas ofrecen, así permitiendo su formación en condiciones suaves.

Factores que afectan la toxicidad de las nanopartículas de plata.

Existen distintas propiedades fisico-químicas involucradas en la toxicidad de las nanopartículas de plata, siendo algunas de estas el tamaño, forma, estado de aglomeración, etc.

Según (Ávalos y otros, 2013) determinan que:

Se han visto mayores efectos tóxicos con las nanopartículas más pequeñas y por ende, la superficie específica se ve afectada ya que entre más pequeñas sean las nanopartículas de plata, su superficie específica aumenta, dejando un mayor número de átomo expuestos.

Con respecto a su estado de aglomeración, su toxicidad es menor debido a que se trata de estructuras compactas, esto debido a su área superficial es menor.

Se ha comprobado que las formas triangulares tienden a ser más tóxicas que las esféricas y alargadas, debido a la cantidad de caras y por lo tanto son más reactivas. Siendo las esféricas de menor toxicidad.

Las bebidas isotónicas se tratan de una solución de agua, carbohidratos y electrolitos, no alcohólicos que ayudan a rehidratar el cuerpo. A diferencia de las bebidas energéticas, estas no poseen taurina, guaraná o glucurolactona. (Valero, 2017)

Dichos frutos utilizados para analizar, están categorizados dentro del género citrus o cítrico, en donde estos se consideran frutos con alta concentración de flavonoides y fenoles tratándose estos de metabolitos secundarios con efecto antioxidante. (Torres Y. L., 2015)

El limón criollo, taxonómicamente conocido como *Citrus aurantifolia*, se trata de una fruta proveniente del árbol limonero de la familia de rutáceas. Se le conoce como *limón criollo* debido a su concentración de ácido, además de ser su nombre común en distintas partes de América Latina. (Valarezo-Beltrón, 2020)

(Torres Y. L., 2015), comenta que:

Este se trata de un árbol pequeño con hoja perenne, brillantes y salpicadas de glándulas sebáceas con tallos alados y articulado con sus hojas. Posee un olor fuerte y dulce, esto por parte de sus flores que se compone por cinco pétalos. El fruto posee una forma esférica, conteniendo de 8-14 secciones jugosas que contienen semillas grandes de color blanco o verdoso.



Figura 3. Árbol de Limón criollo (*Citrus aurantifolia*)

Los cítricos se dan a conocer en América Latina por la llegada de los españoles a este continente con la introducción de la naranja dulce criolla y el limón criollo, seguidas por el limón dulce (limón-mandarina) y mandarinas. (Ministerio de Economía Familiar Comunitaria, 2024)

La cartilla de cultivos de cítricos del (Ministerio de Economía Familiar Comunitaria, 2024), describe que:

Los cítricos son distribuidos a lo largo de todo el territorio nicaragüense, teniendo mayor influencia productiva en Río San Juan, Masaya, Chinandega, Carazo, Jinotega y Matagalpa. Esto se debe a sus facilidades de adaptación en dichas zonas.

El limón, (*Citrus aurantifolia*), es una planta herbácea de tamaño pequeño, reconocida por su aroma distintivo. Su fruto presenta una forma levemente redonda, caracterizado por su sabor intensamente ácido y jugoso, acompañado de un aroma penetrante. Esta especie es ampliamente empleada como materia prima en la elaboración de cosméticos, aditivos para la industria alimentaria, potenciadores del sabor en bebidas y como componente en la medicina tradicional debido a sus propiedades inflamatorias, analgésicas e incluso usada como repelente. (Indriyani et al., 2023)

Tabla 1. Clasificación taxonómica del limón. (Castañeda, 2018)

Nombre científico	Citrus aurantifolia
Nombre común	Limón o limón criollo
Reino	Plantae
Género	<i>Citrus</i>
Familia	Rutaceae
Especie	Citrus aurantifolia

Existen diferentes variedades dentro del género cítrico y que comúnmente es conocido por su nivel de acidez u agrura y sabor distintivo. Se trata del cítrico llamado popularmente naranja agria y se le es conocida taxonómicamente como *Citrus aurantium L.*

La naranja agria es originaria de zonas adyacentes ubicadas en zonas orientales; en países como la India y que actualmente se cultiva en zonas tropicales y templadas alrededor del mundo.

Tabla 2. Clasificación taxonómica de la naranja agria. (Mayta, 2019)

Nombre científico	Citrus aurantium L.
Nombre común	Naranja agria, naranja amarga.
Reino	Plantae
Género	<i>Citrus</i>
Familia	Aurantioideas
Especie	Aurantium

Para (Gutiérrez y otros, 2021), indican las siguientes características de esta fruta, tal que, se trata de un árbol con un tamaño mediano, ramificado llegando a alturas entre 4-5 m en promedio con presencia de espinas agudas y largas.



Figura 4. Árbol de Naranja Agria (*Citrus aurantium* L.)

Así mismo, encontramos sus hojas que poseen características alternas, anchas con forma alada que se estrecha en la base. El fruto puede llegar a tener un tamaño de

7-10 cm de diámetro, jugoso y considerado achatado en sus polos, de cáscara gruesa que es protectora de la parte carnosa.

(Mayta, 2019) establecen que:

La naranja agria se compone por flavonoides heterosídicos que proveen un sabor amargo producido por la porción glucídica contenida. Así mismo, contiene flavonoides no amargos y lipófilos. Los componentes biológicamente activos más importantes de esta fruta son los alcaloides fenetilamínicos como sinefrina, tiramina, N-metiltiramina y hordenia.

3. Diseño Metodológico

a) Tipo de estudio

- Experimental

b) Población de estudio

- Agua con presencia de colorantes químicos.

c) Tipo de muestreo

- No probabilístico por conveniencia y seleccionada en base a criterios establecidos.

Condiciones.

- Colorante sintético o natural.
- Turbidez
- Fuente de agua : residual de la industria de laboratorios o de cuerpo natural contaminado.

Criterios.

- Representatividad de las condiciones reales del agua.
- Volumen mínimo de entre 500ml a 1L para analisis fisico-quimico y pruebas de clarificación.
- Número de replicas de minimo 3 por cada punto para asegurar la reproducibilidad.

d) Muestra

- 50 ml de agua con presencia de colorante Azul 41, que tiene como disolvente el alcohol butanol por cada ensayo.
- 50 ml de una bebida isotónica con presencia de colorante azul brillante cfc o Azul 1

e) Materiales y reactivos

- 0.034g de nitrato de plata 95% (AgNO_3)
- 6.20 g ácido bórico
- Hidróxido de sodio 1N
- Hidróxido de sodio 1M

- Agua destilada
- pHmetro Accumet XL25
- Espectrofotómetro UV-Vis (Vernier Software & Technology)
- Turbidímetro (Vernier Software & Technology)
- Erlenmeyer 200 ml
- Beakers 50 y 500 ml
- Papel filtro

f) Procedimiento

Para llevar a cabo la parte experimental de la síntesis verde de nanopartículas de plata, los siguientes pasos son esenciales para la optimización de este proceso.

3.1. Flujograma del procedimiento y variables presentes en la biosíntesis de AgNPs

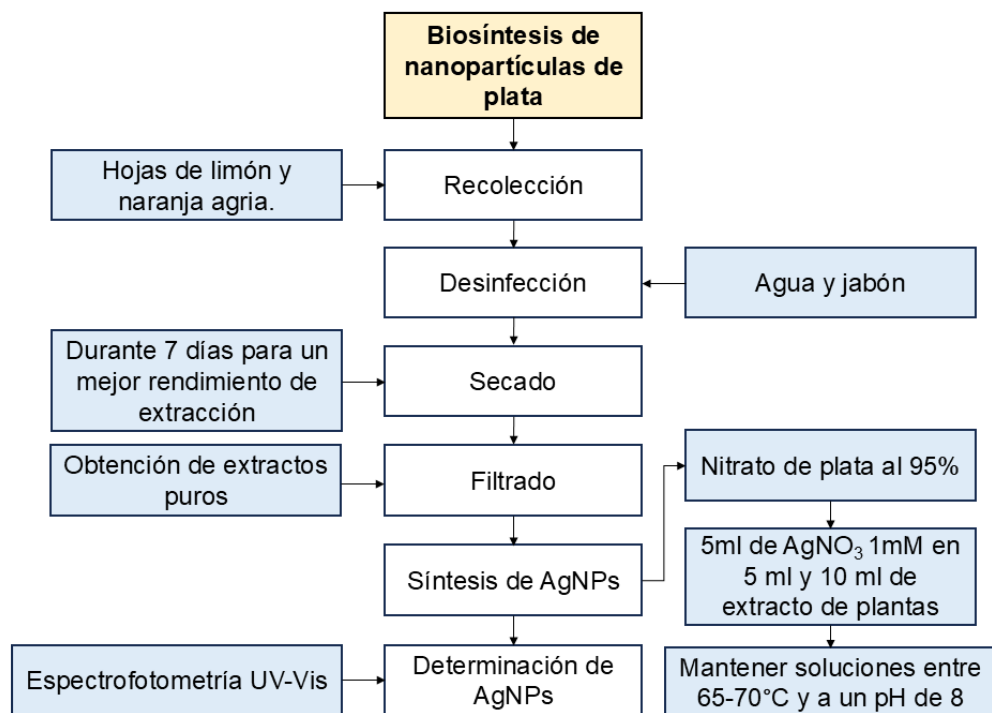


Figura 5. Creación propia. Flujograma de procedimiento de síntesis de nanopartículas de plata.

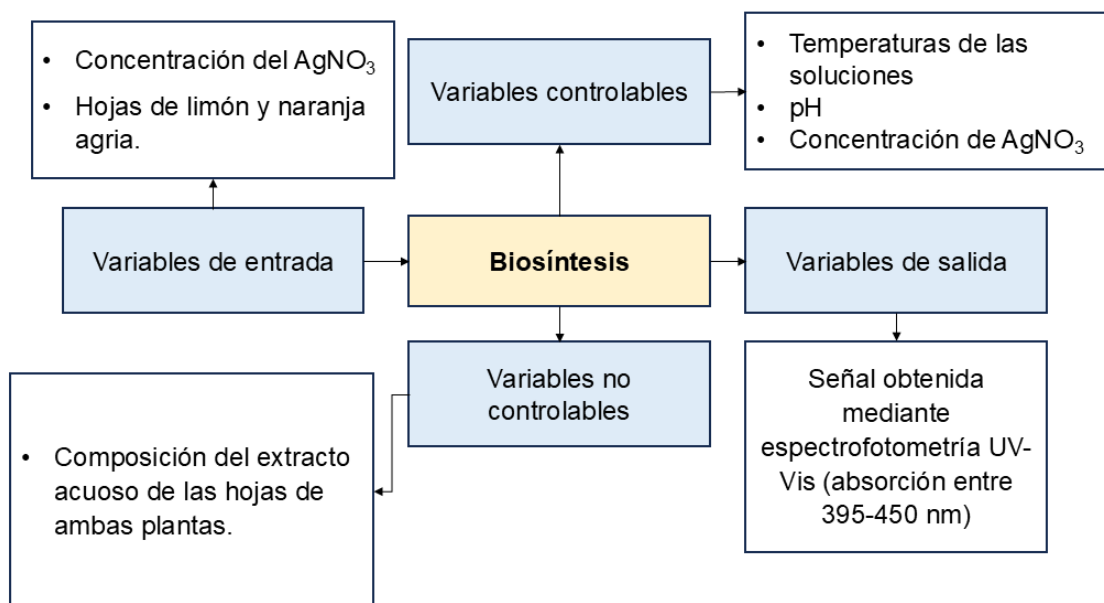


Figura 6. Creación Propia. Flujograma de variables presentes en la síntesis de nanopartículas de plata.

Las variables principales del proceso de obtención de nanopartículas, son las categorizadas como *variables de entrada* debido a que estas, junto con el pH y la temperatura, definen el tamaño, forma y funcionalidad de las nanopartículas a obtener. Diferentes partes de la planta a utilizar, pueden generar distintos tipos de nanopartículas en función del tipo de precursor metálico a utilizar para la síntesis. En este caso, las nanopartículas de plata se encuentran en el rango espectral desde 395 nm hasta las 450 nm.

3.2. Obtención de extracto acuoso de las hojas de *Citrus aurantifolia* y *Citrus aurantium*

Se recolectan las hojas, las cuales se limpian y pasan al proceso de secado con rejillas de secado que asegura un flujo de aire evitando la formación de hogos, el proceso de secado duro una semana (Ordoñez, 2024).

Según Lucas Pardo (2022), se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

Se realiza una reducción de tamaño de las hojas para una mejor extracción , se toman 100 g de hojas y se procede a extraer en 100 ml de agua a una

temperatura de 100°C durante 20 a 25 minutos con agitación constante, posterior se filtra la muestra con ayuda de un papel filtro, al extracto obtenido se le agregan 100 g de hojas adicionales y se reduce hasta los 50 ml. Por último, se filtró el extracto final el cual se enfria a temperatura ambiente y se almacena en un recipiente de vidrio a 4 °C durante 6 días.

3.3. Síntesis de nanopartículas de plata (AgNPs).

Para la síntesis de nanopartículas de plata, se lleva a cabo el siguiente proceso según explica Lucas Pardo (2022):

Se utilizó el Nitrato de Plata con una pureza del (95%) como precursor metálico. Para la preparación del nitrato de plata acuoso (AgNO_3) se disolvieron 0,034 gramos de AgNO_3 (1mM) en 200 ml de agua destilada, de esta forma se preparó la solución madre.

Posteriormente y para comprobar cuál era la concentración adecuada se utilizó el extracto acuoso de dos especies de limón en volúmenes de 5 ml, 10 ml, 20 ml, 30 ml, 40 ml y 50 ml, siempre manteniendo constantes la solución del nitrato de plata (5 ml).

En esta investigación, los volúmenes de extracto a usar son de 5 ml y 10 ml, manteniendo constante el volumen de nitrato de plata.

El pH de cada una de las soluciones preparadas se ajustó con hidróxido de sodio (NaOH) al 0,1 N hasta obtener un pH básico entre 8 y 10, medido con un pH-metro La temperatura en la cual se mantuvieron estas soluciones fue de 65°C en agitación constante.

Para mantener el pH de las soluciones, en esta investigación se preparó un buffer de borato con pH 8 que constó de ácido bórico en 500 ml de agua, ajustando su pH con NaOH 1 M.

Esta solución se almacenará a 4°C durante 6 días. Posteriormente las nanopartículas de plata (AgNPs) se caracterizaron mediante espectrofotometría UV-VIS en un rango espectral de absorción entre 350-500 nm que corresponde a la resonancia del plasmón superficial de las nanopartículas metálicas.

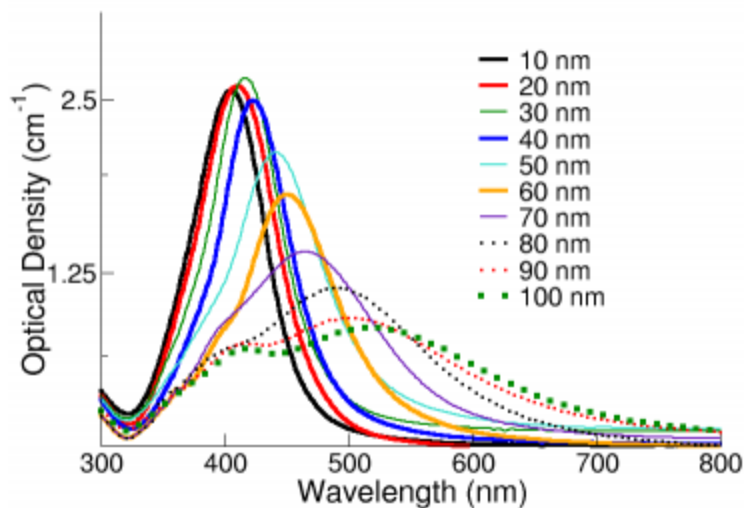


Figura 7. Rangos espectrales de absorción para diferentes posibles tamaños de nanopartículas de plata. (Girón, 2021)

Para las nanopartículas de plata, Girón (2021) comenta que:

El plasmón de resonancia de la partícula aparece alrededor de los 400 nm dentro del espectro de absorción. El tamaño de este plasmón depende de parámetros como el pH y la temperatura, además, la banda de este plasmón proporciona de igual forma información sobre el color, forma y polidispersidad de las partículas.

Además, los extractos de plantas favorecen la formación de nanopartículas de tipo esféricas que estas pueden alcanzar su pico máximo entre los 400-500 nm, mostrando un ensanchamiento de la banda espectral conforme al

tamaño de la partícula. En este rango, se pueden obtener partículas de tamaños entre 10-80 nm.

4. Resultados y discusión.

4.1. Obtención de nanopartículas bajo condiciones controladas y reproducibles.

A simple vista se pudo notar un color oscuro por la concentración de los extracto obtenidos de ambas plantas así como se pueden observar en la figura 8, mientras se mantenía a una temperatura de 100°C con el fin de obtener una mejor concentración de los metabolitos secundarios que las hojas ofrecen y que son crucial para la formación de nanopartículas durante la síntesis.



(a) Extracto puro de hojas de Naranja agria



(b) Extracto puro de hojas de limón

Figura 8. Extractos puro de hojas de naranja agria y hojas de limón criollo respectivamente, obtenidas mediante la ebullición de hojas previamente secadas de dichos frutos.

Según (Lucas Pardo, 2022), se puede determinar la presencia de nanopartículas de forma cualitativa mediante el cambio de color de los extractos una vez es llevada a cabo la síntesis.



(a) Extracto de hojas de limón ya sintetizado.

(b) Extracto de hojas de naranja agria ya sintetizado.

Figura 9. Cambio de color de los extractos de limón y naranja agria, respectivamente, obtenidos del reposo posterior a la síntesis de nanopartículas.

El cambio de color es notable, siendo este el indicador de que los iones de plata fueron reducidos y así mismo nos ayuda a presenciar la resonancia del plasmón superficial que confirma la presencia de nanopartículas en dicha solución coloidal.

Según estudios de Pardo y otros (2022), realizaron la síntesis de nanopartículas metálicas, utilizando extracto acuoso de romero, utilizando como precursor metálico el oxinitrato de plata para la formación de AgNPs con un tiempo estimado de reacción de 30 minutos, obteniendo un cambio de color a amarillo que confirmaba la presencia de nanopartículas.

Así mismo, otro estudio según Calle y Londoño (2014) utilizaron un extracto de ajo como agente reductor y luego de obtener dicho extracto, agregaron una solución de nitrato de plata para posteriormente mantener una temperatura constante de 50-

60°C para luego observar el cambio de color en un lapso de 30 minutos, cambiando de un color dorado a un tono amarillento. Mediante la resonancia de plasmón de superficie formado en la síntesis, se utilizó la técnica de espectrofometría UV-Vis en donde se pudo observar longitudes de onda entre los 400-470 nm que indicaban la presencia de nanopartículas de plata.

4.2. Síntesis de nanopartículas de plata a partir de extractos acuosos de hojas de limón y naranja agria.

Los extractos de limón y naranja agria no presentan absorción en la región visible que se da entre los 400-700 nm. Las bandas observadas en UV en la figura 9 se atribuyen a los metabolitos secundarios presentes en los frutos, consistentes con la literatura Torrez (2015), como se muestra en la figura 9 los picos en la región UV corresponde a el ácidos cítrico y flavonoides presentes en los extractos de hojas de naranja agria y limón en donde la literatura reporta valores de entre 250 y 285 para los flavonoides según Bijlsma y otros (2021) y en 265 nm para el ácido ascórbico como lo menciona Mega (2023) en su estudio.

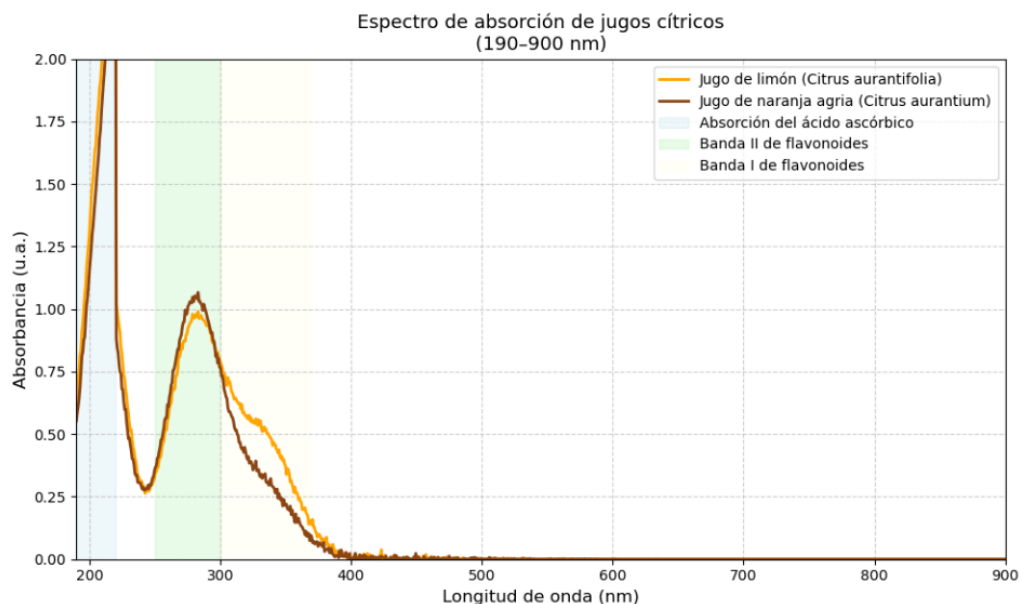


Figura 9. Espectograma de absorción de extractos de hojas de cítricos fuera del rango de 400-700nm que representan la región visible.

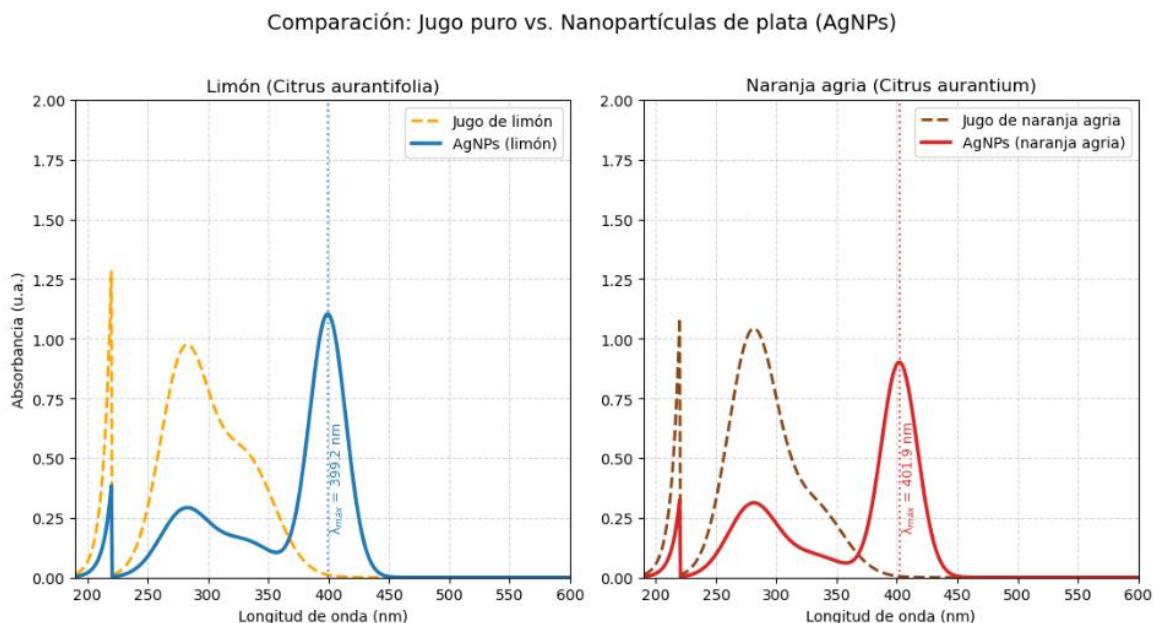


Figura 10. Comparación de espectros obtenidos antes y después de la síntesis de nanopartículas de plata.

Al comparar los espectros obtenidos antes (extracto puro) y después de la síntesis, podemos observar en la figura 10, que la longitud de onda absorbida cambió, se demuestra que el pico observado en ~400 nm es característico de una formación exitosa de nanopartículas de plata mediante síntesis verde y esto surge de la reducción de iones de plata ($\text{Ag}^+ \rightarrow \text{Ag}^0$) durante la reacción. Este resultado es consistente según Moreno (2017) que menciona que la resonancia del plasmón superficial de las partículas son absorbidas dentro de este rango y se trata de una firma óptica inequívoca de AgNPs esféricas de tamaños entre 10-80 nm.

4.3. Síntesis de nanopartículas de plata a partir de extractos acuosos de hojas de limón.

Las soluciones sintetizadas mostraron un color anaranjado oscuro, cambiando a un tono amarillento claro luego del reposo junto con una temperatura de entre 65-70°C y con un pH 8. Mediante espectrofotometría UV-Vis, se determinó la presencia de nanopartículas en las soluciones preparadas en proporciones (5:5 y 5:10) cuya señal se encuentra en el rango de entre 350-500nm. Las AgNPs con mejor comportamiento fueron las de proporción 5:10 las que en el día 15 presentaron una longitud de onda de 399.2 nm debido a su tamaño que se puede observar en la figura 11.

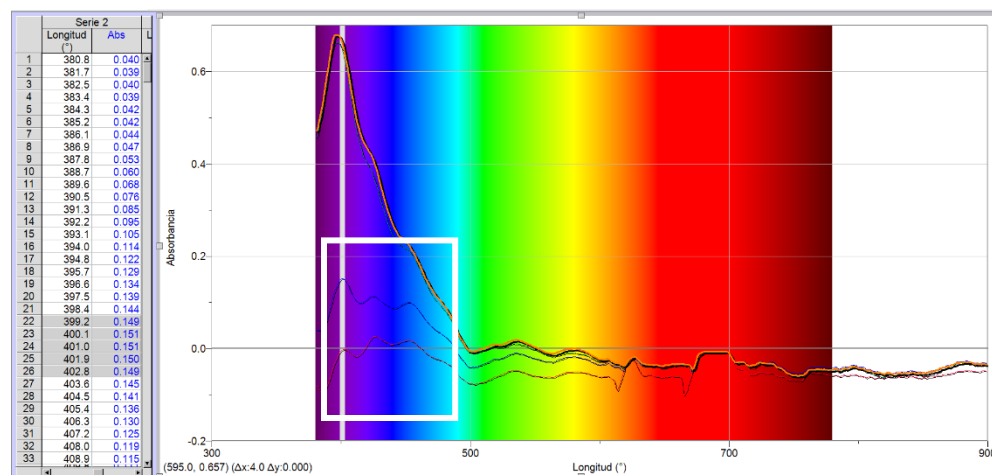


Figura 11. Espectrograma de absorción de extracto de hojas de limón proporción (5:5).

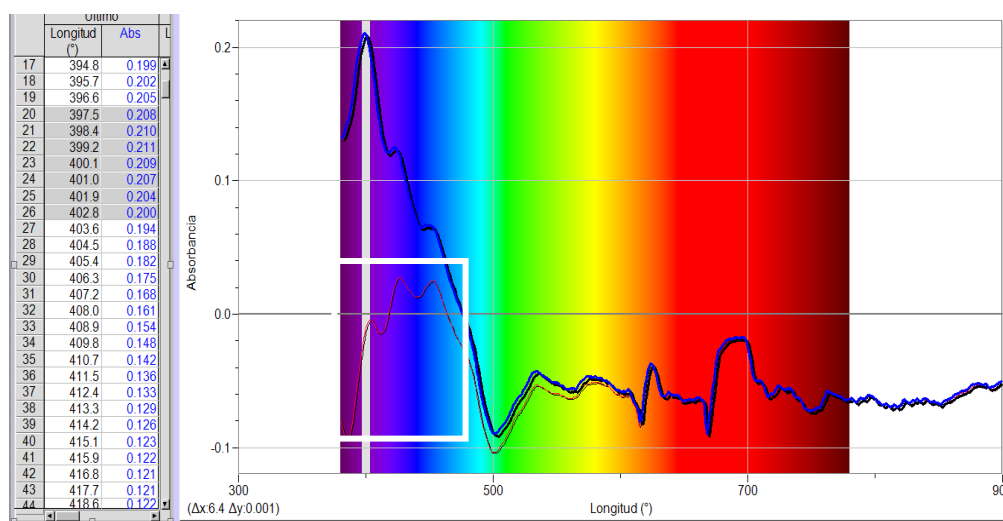


Figura 12. Espectrograma de absorción de extracto de hojas de limón proporción (5:10).

Dentro de el cuadro blanco que muestra la figura 12, tenemos el blanco en contraste con el extracto sintentizado, en donde se observa la longitud de onda obtenida por las nanopartículas obtenidas del extracto acuoso de hojas de limón, indicándonos que la formación de las nanopartículas de plata se logró de forma exitosa debido a la superficie de plasmón que es detectado por la luz para así obtener dicha absorbancia que se encuentra dentro del rango de formación.

4.4. Síntesis de nanopartículas de plata a partir de extracto acuoso de hojas de naranja agria.

Mediante espectrofotometría UV-Vis, se determinó la presencia de nanopartículas de cada solución preparada (5:5 y 5:10), las NPs-Ag de proporción 5:5 presentaron una longitud de onda de 401.9 nm en el día 1 que se puede observar en la figura 16, las NPs-Ag de 5:10 presentaron una longitud de onda de entre 400.1 a 401.9 nm en el día 1 que se puede observar en la figura 13, dentro del cuadro blanco.

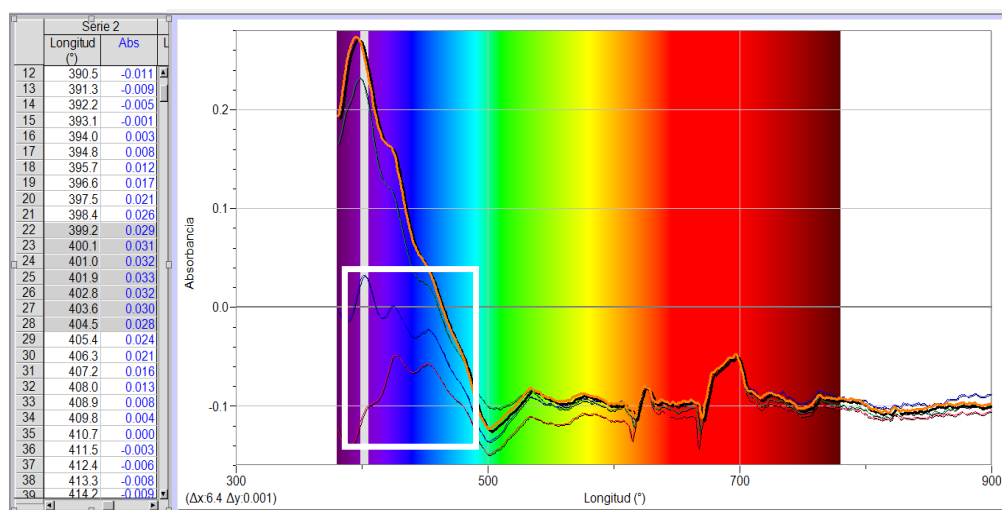


Figura 13. Espectrograma de absorción de extracto de hojas de naranja agria proporción (5:5). Creación propia.

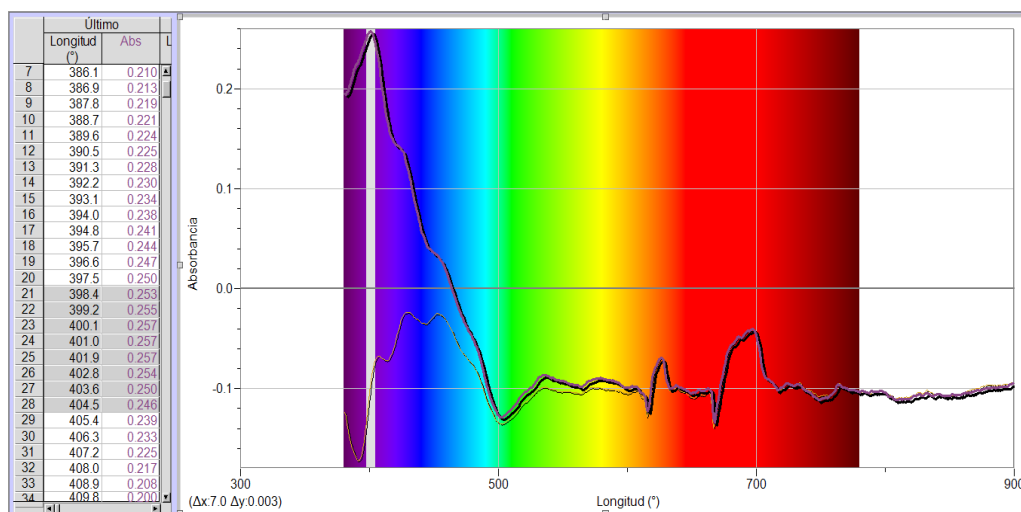


Figura 14. Espectrograma de absorción de extracto de hojas de naranja agria proporción (5:10). Creación propia.

Los resultados obtenidos en las figuras 11, 12, 13 y 14 coinciden con los datos obtenidos por Bijanzadeh (2012), en su estudio de la banda de absorción del plasmón superficial para nanopartículas en cuyos datos experimentales de espectros de absorción de nanopartículas de plata mostraron que los espectros de absorción se centraron en las longitudes de onda de 395 a 510 nm lo que confirma la formación de las nanopartículas de plata.

Del mismo modo Salguero y Pilarquina (2017) sintetizaron y caracterizaron nanopartículas de plata preparadas con extracto acuoso de cilantro recubierto con sangre de Drago, en la cual se observó un cambio de color de amarillo a naranja siendo un indicador de formación de nanopartículas de plata el cual por medio de espectrofotometría UV-VIS, se puede estimar el tamaño de las partículas obtenidas, así mismo, se observó una longitud de onda máxima de 422 nm dentro de dicha investigación.

4.5. Evaluación de la eficiencia de las nanopartículas de plata obtenida de ambos extractos de plantas.

Para evaluar la eficacia de las nanopartículas de plata obtenidas mediante su síntesis, utilizando extractos de hojas de limón y naranja agria, se realizaron ensayos utilizando una bebida isotónica con contenido de colorante.

Tabla 3. Eficiencia clarificadora de NPs Ag de extracto de hojas de naranja agria en relación a una muestra de bebida isotónica. Creación propia.

Tiempo (min)	Turbidez (NTU)		Absorbancia (nm)	
	5:5	5:10	5:5	5:10
5	93.2	87.5	645.3	645.5
10	92.3	87.3	640.8	640.5
15	90.8	86.9	638.1	639.8
30	89.7	86.5	635.6	634.2
60	87.9	85.6	633.5	633.1
90	87.6	85.0	631.2	630.2

En la tabla 3, se observa la eficacia de las nanopartículas de plata, sintetizadas a partir de las hojas naranja agria en relación a la clarificación de agua, conociendo que la muestra tuvo una turbidez inicial con respecto al blanco de 86.1 NTU, obteniendo un valor de 85.0 NTU por parte de la muestra de proporción 5:10, notando el cambio con respecto a la turbidez utilizando un turbidímetro de marca Vernier. Esto nos puede indicar que el tamaño y la forma de las nanopartículas no es el indicado para clarificar esto puede ser ocasionado a la variación de las condiciones en el momento de la síntesis de estas nanopartículas de plata.

Tabla 4. Eficiencia clarificadora de NPs Ag de extracto de hojas de limon en relación a una muestra de bebida isotónica. Creación propia.

Tiempo (min)	Turbidez (NTU)		Absorbancia (nm)	
	5:5	5:10	5:5	5:10
5	89.3	80.3	0.662	0.673
10	89.8	80.8	0.702	0.715
15	90.7	81.4	0.860	0.867
30	93.1	82.9	0.952	0.970
60	94.4	83.1	1.068	1.009
90	95.0	83.6	1.098	1.053

En la tabla 4, se observa la eficiencia con respecto a la clarificación de colorante, utilizando el extracto de hojas de limón, en donde en las muestras se pudo observar que estas no mostraron una turbidez más baja en relación al blanco, al contrario aumentaron o no se observaron cambios significantes. Con respecto a los resultados obtenidos mediante el uso de una bebida isotónica para probar la eficacia de las nanopartículas formadas, se nota una baja eficiencia sugiriendo que la presencia de compuestos orgánicos complejos como azúcares u electrolitos pueden causar interferencia en la acción de las nanopartículas ya sea por sitios de adsorción o estabilización coloidal.

Tabla 5. Eficiencia clarificadora de NPs Ag de extracto de hojas de limón en relación a muestra de agua con colorante. Creación propia.

Tiempo (min)	Turbidez (NTU)	
	ENSAYO 1	ENSAYO 2
	5:10	5:10
5	65.2	5.4
10	55.7	5.1
15	48.5	4.8
20	30.1	4.2
30	28.4	3.8

En la tabla 5, se muestran ensayos utilizando agua con colorante a base de alcohol como el butanol comúnmente usado como disolvente del pigmento azul 41 o XERL en donde los resultados mejoraron significativamente. Con respecto al blanco, la muestra obtuvo una turbidez inicial de 85.8 NTU con respecto al blanco y al momento de aplicar las nanopartículas de plata en proporción 5:10 de hoja de limón, se obtuvo una turbidez fue de 28.4 NTU alrededor de 30 minutos. Se realizó un duplicado del ensayo con una turbidez inicial de la muestra siendo de 6.3 NTU y al aplicar las nanopartículas de plata, esperando el mismo lapso de tiempo se redujo hasta 3.8 NTU.

Para describir la velocidad con la que la reacción se lleva a cabo, la cinética de pseudo-primer orden se expresa de la siguiente forma:

$$\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right) = -kt \quad Ec. 1$$

$$\frac{C_t}{C_0} = \frac{28.4}{85.8} \approx 0.331$$

$$\ln(0.331) \approx -1.105$$

$$k = -\left(\frac{-1.105}{30}\right) \approx 0.0368 \text{ min}^{-1}$$

La constante cinética de pseudo-primer orden ($k = 0.037 \text{ min}^{-1}$) obtenida para las AgNPs de limón es ligeramente superior a la reportada por (Salguero & Pilarquina, 2017) para AgNPs de cilantro ($k = 0.028 \text{ min}^{-1}$), lo que indica una adsorción más rápida por parte del sistema proporcionado de en esta investigación y puede ser atribuido a la presencia de ácido ascórbico y otros metabolitos secundarios presentes en el extracto de hojas de limón que favorecen la estabilización y la interacción con el colorante.

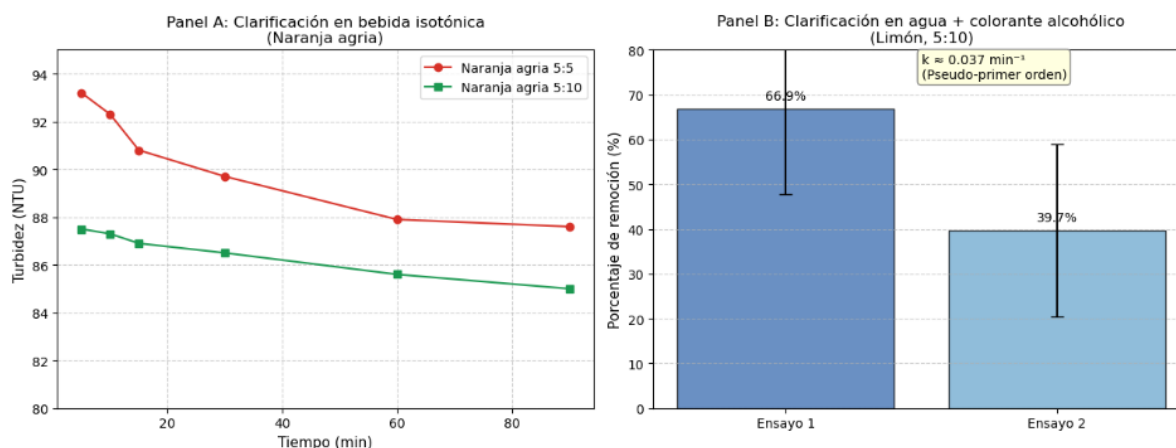


Figura 15. (Panel A) Cambio de turbidez (NTU) en función del tiempo de reacción de nanopartículas sintetizadas a partir de extracto de hojas de naranja agria. (Panel B) Pseudo-primer orden con respecto a la eficiencia de las nanopartículas para la clarificación de agua utilizando la proporción 5:10 de extracto de hojas de limón.

La proporción 5:10 de extracto de hojas de limón, demostró medidas de absorbancia con longitud de onda de entre los 400 y 500 nm como se observa en la figura 16, en donde se muestra el rango más eficiente para la formación de las nanopartículas de plata.

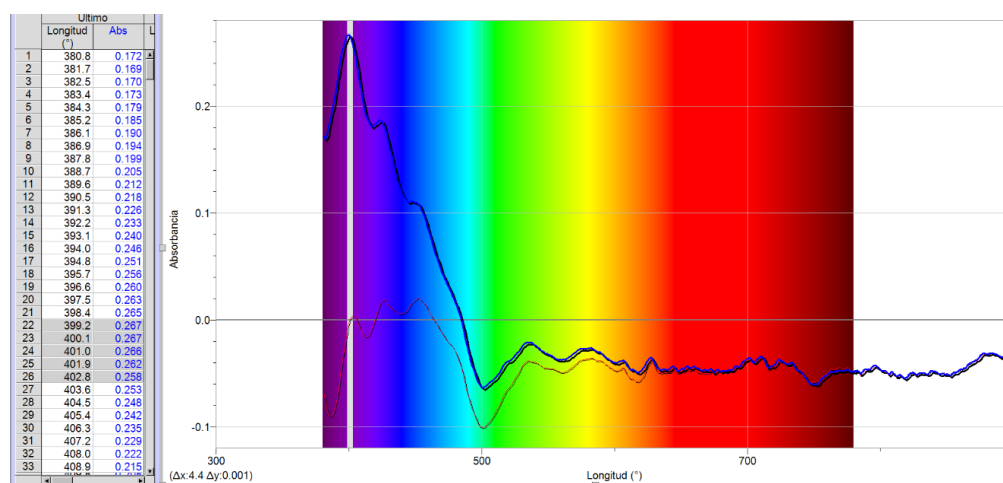


Figura 16. Espectograma de absorción del plasmón superficial de las nanopartículas de plata obtenidas del extracto de hojas de limón en proporción 5:10. Creación propia.

Al interpretar los resultados obtenidos de forma global, se observó que en matrices más simples (agua + colorante) en comparación al uso de una bebida con compuestos complejos, las nanopartículas de plata de limón en proporción 5:10 lograron hasta un 67% de remoción, respaldando su efectividad en aplicaciones de clarificación en aguas con contaminantes específicos.

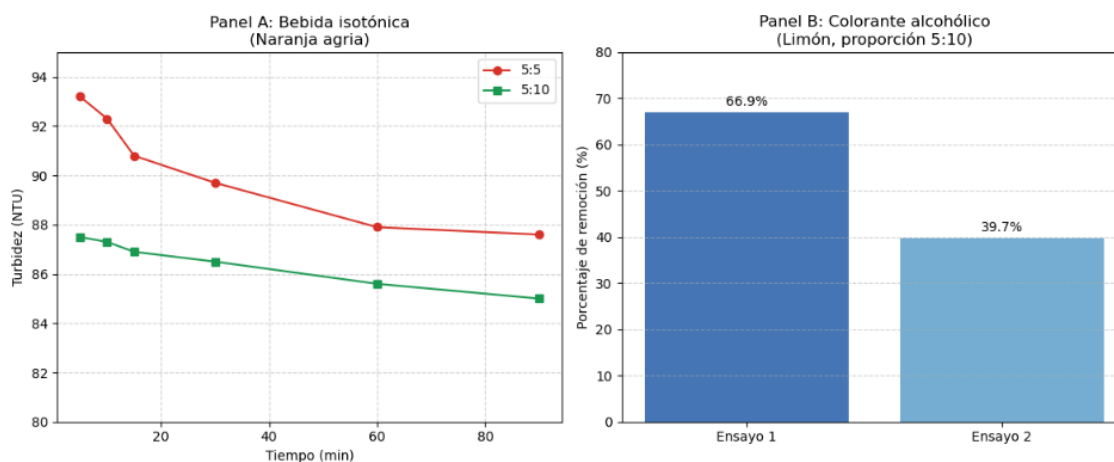


Figura 17. (Panel A) Evolución de turbidez (NTU) durante 90 minutos usando AgNPs sintetizadas a partir de extracto de hojas de naranja agria en una bebida isotónica. (Panel B) Porcentaje de remoción de turbidez alcanzado con AgNPs sintetizadas

con extracto de hojas de limón en ensayos de agua con colorante alcohólico. Creación propia.

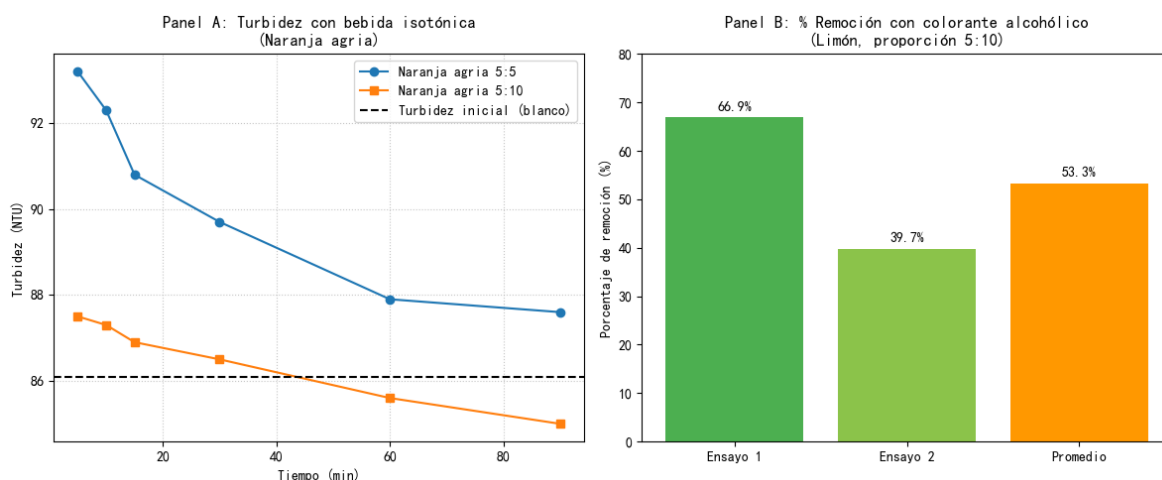


Figura 18. (Panel A) Evolución de la turbidez (NTU) durante 90 min al tratar una bebida isotónica con AgNPs sintetizadas a partir de hojas de naranja agria. (Panel B) Porcentaje de remoción de turbidez alcanzado con AgNPs sintetizadas a partir de extracto de hojas de limón (proporción 5:10) en ensayos con agua conteniendo colorante alcohólico. Creación propia.

Panel A: Evolución de turbidez con bebida isotónica (naranja agria)

- Las curvas son casi planas o ligeramente decrecientes, lo que indica muy poca o nula clarificación.
- La turbidez final (~85 NTU) está muy cerca del valor inicial (86.1 NTU).
- Esto sugiere que ni la proporción 5:5 ni 5:10 fueron efectivas en este tipo de matriz (bebida isotónica con electrolitos y azúcares).

Panel B: Porcentaje de remoción con colorante alcohólico (limón, 5:10)

Se muestra el porcentaje de remoción en dos ensayos independientes:

- Ensayo 1: 66.9%, muy eficaz
- Ensayo 2: 39.7%, moderadamente eficaz

- El promedio (53.3%) refleja una eficiencia intermedia-alta, especialmente considerando que es un sistema sin optimización avanzada.

Tabla 6. Comparación de longitudes de ondas, tamaños y porcentaje de remoción de nanopartículas de plata a partir de distintos extractos de plantas. Creación propia.

Fuente vegetal	Parte usada	$\lambda_{\text{máx}}$ (nm)	Tamaño estimado (nm)	Aplicación principal	% de remoción/ eficiencia	Referencia
Limón criollo (Citrus aurantifolia)	Hojas	399.2	~20–40	Clarificación de agua con colorante alcoholico	53.3% (promedio)	Esta investigación
Naranja agria (Citrus aurantium)	Hojas	401.9	~20–45	Clarificación de bebida isotónica	~1.3	Esta investigación
Cilantro (Coriandrum sativum)	Hojas	422	~30–60	Antibacteriana	No reportado	(Salguero & Pilarquina, 2017)
Limón (Citrus limon)	Jugo	410-430	20-50	Antibacteriana, degradación de colorantes	Hasta 90% (con metileno azul)	(Prathna y otros, 2010) (Tenderwealth y otros, 2018)
Neem (Azadiracthta indica)	Hojas	405-420	10-100	Antibacteriana	>95% contra bacterias	(Aparajita & Mehata, 2016)

Las nanopartículas obtenidas a partir del extracto de hojas de limón criollo ($\lambda_{\text{máx}} = 399.2$ nm), longitud de onda observada en la tabla 6, se puede observar que el dato obtenido en esta investigación está dentro del rango típico para nanopartículas pequeñas y esféricas, lo que explica su mayor eficiencia comparada con las nanopartículas obtenidas con el extracto de naranja agria en matrices simples.

El tamaño de las nanopartículas puede ser determinado por los rangos de longitud de onda según el libro *Textbook of Nanoscience and Nanotechnology* (Pradeep, 2012), expresando que si se observan picos menor a 400 nm, el tamaño estimado de las nanopartículas puede ser de 10-14 nm, mientras que si se presentan picos mayores a 470 nm, el tamaño estimado puede ser entre 80-100 nm. En la figura 5, podemos observar que según la literatura (2021), recalca este tipo de morfología posible dependiendo de la longitud de onda obtenida mediante espectrofotometría UV-Vis.

El utilizar el extracto de limón que proporcionó tamaños de nanopartículas de 399.2 nm se debe a su tamaño aún más pequeño que según (Pradeep, 2012) explicaba, cuando se obtienen picos menores a 400 nm, el tamaño estimado puede ser entre 10-14 nm, por lo tanto, entre más pequeña ocupan una mayor área superficial y las hace más reactivas, siendo útiles en aplicaciones en donde se necesiten reducir contaminantes, característica que explican (Ávalos y otros, 2013)

5. Conclusión

Con el uso de síntesis verde se pudieron obtener exitosamente nanopartículas de plata, utilizando extractos acuosos de hojas de limón criollo, (*Citrus aurantifolia*) y de naranja agria (*Citrus aurantium*), confirmando su formación a través del cambio de color en los extractos, esto debido al fenómeno de resonancia de plasmón superficial que poseen dichas nanopartículas, siendo estos los que proporcionaron picos de absorción entre 399-402 nm mediante espectrofotometría UV-Vis.

Los metabolitos secundarios presentes en ambos extractos como flavonoides y ácido ascórbico actuaron de forma eficaz como agentes bio-reductores y como estabilizantes durante la síntesis, siendo evidencia de que estos frutos pueden ser fuentes sostenibles para la producción de nanomateriales.

Las nanopartículas obtenidas a partir del extracto de hojas de limón en proporción (5:10) presentó una mayor eficiencia con respecto a la clarificación de agua con contenido de colorante alcohólico, alcanzando hasta un 67% de remoción de turbidez en contraste con las nanopartículas obtenidas a través del extracto acuoso de hojas de naranja agria que presentaron una baja efectividad en matrices más

complejas como la bebida isotónica utilizada en esta investigación, esto debido a la interferencia de compuestos orgánicos más complejos presentes en dicha muestra.

Esta investigación demuestra que generar nanomateriales mediante el uso de química verde, puede resultar en un método eficiente y aplicable en clarificación de aguas y en otros campos si se es estudiado a más profundidad, resaltando el control de parámetros como el pH, temperatura y concentración del precursor metálico para optimizar el tamaño, forma y funcionalidad de las nanopartículas.

6. Recomendaciones

En base a los resultados experimentales y parámetros en la síntesis de nanopartículas de plata, es necesario monitorear las condiciones de las etapas claves las cuales son:

- Se aconseja mantener una temperatura constante entre 65-70° C utilizando un baño termostático, porque favorece reducción de los iones de plata ya que una variación térmica ocasionaría variabilidad de tamaño y forma afectando sus propiedades ópticas y funcionales.
- Se sugiere una agitación constante utilizando un agitador magnético, porque asegura una distribución de los reactivos en el medio, evitando zonas de concentración no uniforme que podrían generar crecimiento descontrolado y favorece la dispersión de las nanopartículas en el medio.
- Se aconseja realizar prueba de conductividad eléctrica para conocer la concentración de iones disueltos en la muestra y evitar posibles interferencias en la acción de las nanopartículas.
- Se recomienda aprovechar todas las partes de la planta para maximizar el rendimiento de los metabolitos secundarios con propiedades reductoras y estabilizantes. Esto no solo mejora el proceso si no que promueve una estrategia sostenible y de bajo costo alineado a los principios de la química verde al reducir el desperdicio vegetal.

- Se sugiere utilizar muestras de agua con contenido de colorantes sintéticos y muestras de agua con contenido de colorantes orgánicos para tener una mejor comprensión de las propiedades catalíticas de las nanopartículas obtenidas, en tintes.

Estas condiciones favorecen la síntesis eficiente de nanopartículas de plata al enfocarse en los aspectos más cruciales del proceso. Logrando obtener un mejor control sobre el tamaño y la forma de las nanopartículas además de una dispersión uniforme en el medio y propiedades físico-químicas consistentes.

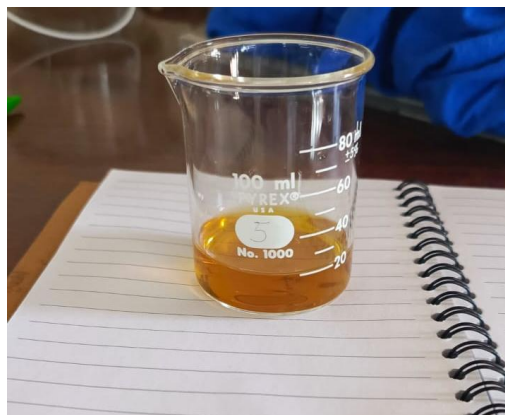
7. Anexos



Figura 19. Ensayos de eficacia de las AgNPs obtenidas de extractos de hojas de limón y naranja agria. Observación de colores obtenidos en un lapso de tiempo de 90 minutos.



Figura 20. Comparación de colores entre bebida isotónica y agua con colorante alcohólico.



Figuras 21 y 22. Cambio de color obtenidos después de la síntesis de nanopartículas de plata a partir de extractos de hojas de naranja agria y limón respectivamente debido al fenómeno de superficie de plasmón de superficie.

Referencias Bibliográficas

- Aparajita, V., & Mehata, M. S. (2016). Controllable synthesis of silver nanoparticles using Neem leaves and their antimicrobial activity. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 1-7.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S168785071500120X>
- Arias, P. E., Nájera, J. B., Hernández, I. C., & Ayala, H. I. (2018). *Los Colorantes Textiles industriales y tratamientos óptimos de sus efluentes de agua residual: Una breve revisión*.
<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/article/view/2216/1506>
- Aude, J. E. (2022). *Aprovechamiento de agro-residuos citrícolas para la síntesis de nanopartículas metálicas antimicrobianas dispersadas sobre caolín*.
<http://eprints.uanl.mx/23995/1/1080328566.pdf>
- Ávalos, A., Morales, P., & Haza, A. (2013). Nnaopartículas de plata: Aplicaciones y riesgos tóxicos para la salud y el medio ambiente. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*. https://doi.org/10.5209/rev_RCCV.2013.v7.n2.43408
- Bada, M. F., García, M. d., & Lama, M. M. (2010). *Diseño de un sistema de depuración de aguas residuales en el municipio de San Jorge, Nicaragua*.
<https://www.eoi.es/sites/default/files/savia/documents/componente48423.pdf>
- Bijanzadeh, A. R., Khordad, R., & Vakili, M. R. (marzo de 2012). A study of the surface plasmon absorption band for. *International Journal of Physical Sciences*, 7(12), 1945. <https://doi.org/10.5897/IJPS11.893>
- Bijlsma, J., Brujin, W. J., Velikov, K. P., & Vincken, J. P. (2021). Unravelling discolouration caused by iron-flavonoid interactions: Complexation, oxidation and formation of networks. *Elsevier*.
https://www.researchgate.net/figure/A-Maximum-absorbance-wavelength-l-max-of-the-flavonoids-in-presence-and-absence-of_fig1_355025067
- Bolaños, V. H., Sánchez, F. O., & Baza, D. R. (2015). Andamios. En *Andamios* (págs. 7-14). <https://www.scielo.org.mx/pdf/anda/v12n29/1870-0063-anda-12-29-00007.pdf>
- Bonilla Salgado, L. D. (Agosto de 2024). *Dirección General de Bibliotecas - BUAP*. Dirección General de Bibliotecas - BUAP:
<https://hdl.handle.net/20.500.12371/23364>
- Boyd, C. E. (2020). *Water Quality: An Introduction*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-23335-8>
- Calle, L. C., & Londoño, M. E. (2014). Síntesis verde de nanopartículas de plata mediante el uso del ajo (*Allium sativum*). *Revista Soluciones de*

Postgrado(12), 126-137.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.14508/sdp.2014.6.12.126-137>

- Castañeda, S. H. (2018). *Contenido de polifenoles totales y capacidad antioxidante de las flores de Citrus sinensis (Naranja), Citrus aurantifolia (Lima) y Prunus persica (Durazno)*.
https://repositorio.uladech.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13032/21087/CITRUS_SINENSIS_CITRUS_AURANTIFOLIA_MARREROS_CASTANEDA_SADITH_HEINS.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castro, N. P., & Verbel, J. T. (2011). *Química Verde: Un nuevo reto*.
<http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v21n2/v21n2a09.pdf>
- Centeno, H. J., & Valdivia, F. A. (2015). *Evaluación Operacional del Sistema de Tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí, Nicaragua*.
<https://camjol.info/index.php/elhigo/article/view/8628/9682>
- Chibuye Bitwell, S. S. (2023). A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. *Scientific African*.
- Cirelli, A. F. (2012). El agua: Un recurso esencial. *Química Viva*.
<https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>
- Díaz, A. B., Maldonado, A. J., Moreno, Á. M., Morales, S. G., & Mendoza, A. B. (2016). *Biofabricación de nanopartículas de metales usando células vegetales o extractos de plantas*.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n5/2007-0934-remexca-7-05-1211.pdf>
- Domínguez, E., & Ordoñez, E. (2014). *Evaluación de la actividad antioxidante, vitamina C de zumos cítricos de lima dulce (Citrus limetta), limón tahití (Citrus latifolia), limón rugoso (Citrus jambhiri L.) y mandarina cleopatra (Citrus reshni) almacenados en refrigeración*.
- G., V., L., F., & A., C. (2017). Síntesis de nanopartículas metálicas por rutas verdes. *Journal of Bioprocess and Chemical Technology*(9), 15-20.
- Garzón, M. G. (2018). Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde. *Repertorio de Medicina y Cirugía*.
<https://revistas.fucsalud.edu.co/index.php/repertorio/article/view/191/173>
- Girón, J. M. (2021). *Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata, oro y cobre utilizando como agentes reductores extractos de Laurus nobilis, Ocimum basilicum, Taraxacum officinale y Thymus vulgaris*.
<https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/39237ad1-8edd-4455-8390-1924b3691acc>

- Gutiérrez, M. d., Méndez, M. d., Ramírez, M. d., Tun, S. G., & Rosado, L. O. (2021). El Tamizaje Fitoquímico de la Naranja Agria (*Citrus aurantium* L.) estrategia para su valoración por los estudiantes de la carrera en Químico Farmacéutico Biólogo de la UACAM . *Revista Boletín Redipe* 10, 22-32.
- Indriyani, N. N., Anshori, J. A., Permadi, N., Nurjanah, S., & Julaeha, E. (2023). *National Library of Medicine, National Center of Biotechnology Information*. <https://doi.org/10.3390/foods12102036>
- Lizárraga, G. A. (2017). Nanotecnología, una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, ventajas y desventajas. *Selva Andina Research Society*, 9(1), 52-61.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942018000100005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Lucas Pardo, J. A. (2022). Elaboracion de nanoparticulas de plata sintetizadas apartir de extracto de hojas de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y su uso como conservante . *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*.
- M., M. E., R., L. E., & G., R. E. (2015). *Las Nanopartículas y el medio ambiente*.
- Mayta, R. C. (2019). *Elaboración de una bebida con extracto de Zanahoria (Daucus carota) combinado con zumo de Mandarina (Citrus reticulata) y Naranja agria (Citrus aurantium) y evaluación de su capacidad antioxidante*. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/3056/CORONADO%20MAYTA%20RICARDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Medina, M. E., Galván, L. E., & Reyes, R. E. (2015). Las nanoparticulas y el medio ambiente. *UNIVERSIDAD, CIENCIA Y TECNOLOGIA*, 19(74), 50-51.
<https://ve.scielo.org/pdf/uct/v19n74/art05.pdf#page=2.49>
- Mega, Y., Miftahur, R., & Hilmarni. (2023). Determination of Vitamin C (Ascorbic acid) content from Orange fruit (*Citrus reticula* blanco) based on temperature and storage time. *Asian Journal of Pharmaceutical Research and Development*, 06-08.
https://www.researchgate.net/publication/376099488_Determination_of_Vitamin_C_Ascorbic_Acid_Content_from_Orange_Fruit_Citrus_reticulata_Blanco_Based_on_Temperature_and_Storage_Time
- Miguel E. Medina M.1, L. E. (2015). LAS NANOPARTÍCULAS Y EL MEDIO AMBIENTE. *universidad, ciencia y tecnologia*, 19(74), 50-51.
<https://doi.org/SSN1316-4821>
- Ministerio de Economía Familiar Comunitaria, C. y. (2024). *Manual de cultivos de cítricos*.
<https://www.economiafamiliar.gob.ni/backend/vistas/doc/cartilla/documento4434623.pdf>

- Mittal, A. K., Chisti, Y., & Banerjee, U. C. (2013). *Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.01.003>
- Monje, M. (2009). Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas. *Real Sociedad Española de Química*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2931286>
- Morató, J., Subirana, A., Gris, A., Carmeiro, A., & Pastor, R. (2006). Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de investigación*, 11. <https://repository.unilasallista.edu.co/server/api/core/bitstreams/aae21f48-f64e-4957-83f6-c714c52378d1/content>
- Moreno, M. S. (2017). *Nanopartículas de plata: Preparación, Caracterización y propiedades con aplicación en inocuidad de los alimentos*. <https://oai.e-spacio.uned.es/server/api/core/bitstreams/ab82f4c7-fc5a-4d23-82e4-8c82b8729fd9/content>
- Muñoz, C. L., Zaca-Móran, P., & Zaca-Morán, O. (2023). Los nanomateriales y su importancia en la síntesis amigable con el ambiente. *RD-ICUAP*, 162-170. <https://doi.org/https://doi.org/10.32399/icuap.rdic.2448-5829.2023.25.1062>
- Ordoñez, M. (2024). Secado de plantas medicinales: la guía definitiva. *academia cosmetica*. <https://academiadecosmeticanatural.com/secado-de-plantas-medicinales-la-guia-definitiva>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, I. C. (2007). *El agua, una responsabilidad compartida. 2° Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los recursos Hídricos en el Mundo*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000149519>
- Osorio, G. A., Jaramillo, M. E., & Orozco, C. P. (2020). *Diseño factorial 2k para la optimización de la síntesis de nanopartículas de plata para su aplicación en biomateriales*. <https://doi.org/https://doi.org/10.18273/revion.v33n1-2020002>
- Pradeep, T. (2012). *Textbook of Nanoscience and Nanotechnology*. Tata McGraw Hill Education Pvt. Ltd.
- Prathna, T., Chandrasekaran, N., Raichur, A. M., & Mukherjee, A. (2010). Biomimetic synthesis of silver nanoparticles by Citrus limon (lemon) aqueous extract and theoretical prediction of particle size. *Elsevier*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2010.08.036>
- Rodríguez, R. H., & Pereira, J. L. (2015). *Síntesis verde de nanopartículas para la eliminación de colorantes en medios acuosos*. https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/14826/NeiraGarcia_lago_TFG_2015.pdf

- Salguero, M. S., & Pilarquina, F. F. (2017). Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata preparada con extracto acuoso de cilantro (*coriandrum sativum*) y recubiertas con latex de sangre de drago (*croton lechleri*). *REVISTA*, 18-19.
<https://puceinvestiga.puce.edu.ec/es/publications/síntesis-y-caracterización-de-nanopartículas-de-plata-preparadas>
- Sánchez, F. E., Molina, W. E., Aguilar, M. C., Chantong, A. A., & Barcia, D. D. (2021). Síntesis verde de nanopartículas de Plata (AgNPs) utilizando ajo (*Allium Sativum* L) explorando su actividad antimicrobial y catalíticas. *FACSALUD UNEMI*, 5(8), 40. <https://ojs.unemi.edu.ec/index.php/facsalud-unemi/article/view/1330/1283>
- Sierra, A., Meléndez, L., Monroy, A. R., & Arroyo, M. (2014). La química verde y el desarrollo sustentable. *Revista Iberoamericana para la investigación y el desarrollo educativo*.(9).
<https://www.redalyc.org/pdf/4981/498150317001.pdf>
- Sonsoles, J. J. (2023). *Análisis de la industria textil y sus alternativas sostenibles*.
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/60704/TFG-N.%202093.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- T.C., P., N, C., M., R. A., & Amitava, M. (2011). Biomimetic synthesis of silver nanoparticles by citrus limon (lemon) aqueous extract and theoretical prediction of particle size. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 152-159.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927776510004947>
- Tamayo, S. S., & Esquivel, E. M. (2014). El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 357-363.
<http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v52n3/hig08314.pdf>
- Tenderwealth, C. J., Timma, O. U., Nonye, L. I., & Nsikak, A. E. (2018). Comparison of antimicrobial activities of silver nanoparticles biosynthesized from some citrus species. *American Journal of Nano Research and Applications*, 54-59. https://www.researchgate.net/profile/Clement-Jackson-3/publication/330283589_Comparison_of_Antimicrobial_Activities_of_Silver_Nanoparticles_Biosynthesized_from_Some_Citrus_Species/links/5c991186a6fdccd4603ae8f1/Comparison-of-Antimicrobial-Activities-of-Si
- Theron, J., Walker, J., & Cloete, T. (2008). *Nanotechnology and Water Treatment: Applications and Emerging Opportunities*.
https://www.researchgate.net/publication/281199034_Nanotechnology_and_water_treatment_Applications_and_emerging

- Torres, M. G. (2020). *Síntesis verde de nanopartículas de plata (AgNPs) utilizando sábila (A. barbadensis Miller) y ajo (A. sativum L.) y su aplicación biotecnológica*. <http://193.122.196.39:8080/handle/10521/5124>
- Torres, Y. L. (2015). *Evaluación del proceso de extracción de aceites esenciales de hojas de Citrus aurantifolia (Limón sutil), Citrus sinensis (Naranja) y Citrus nobilis (mandarina) mediante Hidrodestilación*. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/ba147ffe-ba8a-4157-ab17-ea0ffb0e9623/content>
- Valarezo-Beltrón, O. (2020). Marco Aplicado para la sustentabilidad social y ambiental de fincas productoras de limón (Citrus aurantifolia) en Portoviejo, Ecuador. *Selva Andina Biosphere*, 19-31. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7891229>
- Valero, L. S. (2017). *Bebidas isotónicas para deportistas y su implicación en la salud*. <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/84f58e66-6121-4dc4-b6ee-73210db3ea2e/content>
- Vammen, K., Peña, E., García, I., Sandoval, E., Jiménez, M., Cornejo, I. A., . . . Altamirano, R. (2019). *Calidad del Agua en las Américas. Riesgos y oportunidades. Los retos para proteger la calidad del agua en Nicaragua*. https://www.researchgate.net/profile/Diego-Chalarca-Rodriguez/publication/335686525_Calidad_del_agua_en_Colombia/links/5d74ff734585151ee4a69aeb/Calidad-del-agua-en-Colombia.pdf#page=468
- Vázquez, B. E. (2022). *Síntesis Verde y Química de nanopartículas metálicas y sus evaluaciones citotóxicas*. <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/20.500.12984/8263/1/rodriguezvazquezblancaesthelad.pdf>
- Vazquez-Duhalt, R. (2015). Nnanotecnología en procesos ambientales y remediación de la contaminación. *Mundo Nano*, 8(14). https://www.researchgate.net/publication/336163257_Nanotecnologia_en_procesos_ambientales_y_remediacion_de_la_contaminacion
- Vericat, C., & Schilardi, P. L. (2014). *Nanopartículas de plata con potenciales aplicaciones en materiales implantables: síntesis, caracterización físicoquímica y actividad bactericida*. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/34946/Documento_completo.%20Flores%20-%20Area%20Qu%C3%ADmica.pdf?sequence=1&isAllowed=y