



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

SÍNTESIS VERDE DE NANOPARTÍCULAS DE  $\text{Ag}^{\circ}$  A PARTIR DE  
METABOLITOS DEL FRUTO DE *SOLANUM GRANDIFLORUM* RUIZ & PAV.

Línea de investigación:  
Genética, bioquímica y biotecnología

Tesis para optar el Título Profesional de Licenciada en Química

**Autor (a):**

Pino Olivera, Laura Steffany

**Asesor (a):**

Lezama Vigo, Helmer Helí

**Jurado:**

Castañeda Perez, Luz  
Herrera Hernandez, Nora Gabriela  
Salvador Salazar, Martha

Lima-Perú

2022

### **Dedicatoria**

Esta tesis está dedicada a la memoria de Madre, quien fue mi mayor ejemplo a seguir, me guió con el mejor ejemplo de vida, con su apoyo incondicional y gran esfuerzo me enseñó que todo es posible sin importar los obstáculos que se presenten, su partida de este mundo es mi mayor pérdida, pero desde lo más profundo de mi ser espero que siempre esté orgullosa de mí, este logro es para ti MAMÁ.

## **Agradecimiento**

En primer lugar, agradezco a Dios, por las personas tan maravillosas que forman parte de mi vida. Por los amigos, compañeros y profesionales que tuve la dicha de conocer e hicieron posible el desarrollo de este trabajo de investigación.

Les debo un profundo agradecimiento:

A mi madre Laura, por su apoyo constante, su amor incondicional por ser uno de los primordiales promotores de mis sueños, gracias por todos los días confiar y creer en mí y en mis expectativas, por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por todas sus enseñanzas que me guiaran a lo largo de mi vida.

A mi asesor. Ms Sc. Helmer Helí Lezama Vigo, por el apoyo, la seguridad y la confianza que me ha brindado durante el desarrollo de esta tesis.

A mi partner for life, por su paciencia, cariño y comprensión, incluso en los días no tan buenos.

A la Mg. Nora Herrera por su valioso tiempo invertido en la revisión cuidadosa de este

trabajo. Les agradezco sus consejos académicos, sugerencias y experiencias profesionales que ayudaron a la mejoría de esta tesis.

A mis compañeros de grupo de investigación, y especialmente a la Licenciada en Química Emily Huarote, por las correcciones y su ayuda para mejorar el trabajo presentado. Cada uno tiene su propia esencia y juntos complementan el Grupo de investigación, desarrollo e innovación en Química verde y Biotecnología.

A la Universidad Nacional Federico Villarreal, mi alma mater, por los conocimientos brindados durante el recorrido de mi carrera profesional, y con ello abrirme la puerta a un nuevo mundo lleno de oportunidades y permitirme alcanzar este importante logro en mi vida estudiantil.

Finalmente, al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONCYTEC) y PROCENCIA por el financiamiento otorgado en el Contrato C.397-2019-FONDECYT.

## Resumen

El estudio presentado llevó a cabo la síntesis de nanopartículas de plata (NP-Ag), mediante una alternativa ambientalmente amigable empleando extractos del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav., los cuales son utilizados como agentes reductores y estabilizantes. La caracterización de las nanopartículas de plata (NP-Ag) obtenidas se realizó empleando distintas técnicas como por ejemplo UV-VIS (Espectrofotometría ultravioleta-visible), DLS (dispersión de luz dinámica), SEM (Microscopía Electrónica de Barrido), y FTIR (Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier). La obtención de nanopartículas de plata (NP-Ag) se llevó a cabo mediante la reducción de sales metálicas con extractos y fracciones de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. a pH 7, evaluando diferentes concentraciones de agente precursor ( $\text{AgNO}_3$ ), y la relación v/v entre el agente precursor y reductor, finalmente la formación de nanopartículas de plata (NP-Ag) fue monitoreada mediante el análisis por espectroscopia UV-visible que registró una banda de absorción del plasmón superficial con un máximo en el rango 350 – 450 nm, esto indica la presencia de nano estructuras de plata (NP-Ag) debido a la excitación de los plasmones superficiales típicos de las nanopartículas de plata. Así mismo, se concluyó que la fracción etanólica permite una mayor estabilidad de las NP-Ag, obteniendo tamaños inferiores a 60 nm como diámetro promedio hidrodinámico. Estos resultados muestran que el extracto y fracciones provenientes del fruto *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav., se perfilan como una alternativa eco-amigable, además de brindar nuevas aplicaciones a los compuestos orgánicos en el área de la biotecnología.

Palabras clave: nanopartículas, *Solanum grandiflorum*, caracterización, síntesis, reducción

## Abstract

The presented study carried out the synthesis of silver nanoparticles (NP-Ag), through an environmentally friendly alternative using extracts from the fruit of *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav., which are used as reducing and stabilizing agents. The characterization of the silver nanoparticles (NP-Ag) obtained was carried out using different techniques such as UV-VIS (ultraviolet-visible spectrophotometry), DLS (dynamic light scattering), SEM (Scanning Electron Microscopes) and FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy). Silver nanoparticles (NP-Ag) were obtained by the reduction of metal salts with extracts and fractions of *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. at pH 7, evaluating different concentrations of precursor agent ( $\text{AgNO}_3$ ), and the v/v ratio between precursor and reducing agent, finally the formation of silver nanoparticles (NP-Ag) was monitored by UV-visible spectroscopy analysis which recorded a surface plasmon absorption band with a maximum in the range 350 - 450 nm, this indicates the presence of silver nanostructures (NP-Ag) due to the excitation of surface plasmons typical of silver nanoparticles. Likewise, it was concluded that the ethanolic fraction allows greater stability of the NP-Ag, obtaining sizes less than 60 nm as an average hydrodynamic diameter. These results show that the extract and fractions from the fruit *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav., are emerging as an eco-friendly alternative, in addition to providing new applications to organic compounds around biotechnology.

Keywords: nanoparticles, *Solanum grandiflorum*, characterization, synthesis, reduction

## Índice

I.	Introducción	1
1.1.	Descripción y formulación del problema	1
1.1.1.	<i>Problema</i>	3
1.1.1.1.	Problema General	3
1.1.1.2.	Problemas Específicos	3
1.2.	Antecedentes	4
1.3.	Objetivos	7
1.3.1.	<i>Objetivo General</i>	7
1.3.2.	<i>Objetivos Específicos</i>	7
1.4.	Justificación	7
1.5.	Hipótesis	10
1.5.1.	<i>Hipótesis General</i>	10
1.5.2.	<i>Hipótesis Específicas</i>	10
II.	Marco teórico	11
2.1.	Bases teóricas	11
2.1.1.	<i>Nanomateriales</i>	11
2.1.2.	<i>Aplicaciones de los nanomateriales</i>	12
2.1.3.	<i>Obtención de nanomateriales</i>	13
2.1.3.1.	Ruta de síntesis, enfoque, Top-down	14
2.1.3.2.	Ruta de síntesis, enfoque Bottom-up	15
2.1.4.	<i>Proceso de síntesis “Reducción química”</i>	16
2.1.5.	<i>Síntesis verde</i>	18
2.1.6.	<i>Nanopartículas de plata</i>	18
2.1.7.	<i>Aplicaciones de las nanopartículas de plata (AgNPs)</i>	19
2.1.8.	<i>Solanum: clasificación, taxonomía y compuestos orgánicos</i>	20
2.1.9.	<i>Hábitat Solanum grandiflorum</i>	23
III.	Metodología	25
3.1.	Tipo de Investigación	25
3.2.	Ámbito temporal y espacial	25
3.3.	Variables	25
3.3.1.	<i>Independiente</i>	25
3.3.2.	<i>Dependiente</i>	25
3.4.	Población y muestra	26
3.5.	Instrumentos	26

3.5.1.	<i>Materiales</i>	26
3.5.2.	<i>Equipos</i>	28
3.5.3.	<i>Reactivos</i>	28
3.6.	<b>Procedimiento</b>	29
3.6.1.	<i>Recolección de muestra</i>	29
3.6.2.	<i>Clasificación taxonómica</i>	29
3.6.3.	<i>Limpieza, secado y extracción del material vegetal</i>	29
3.6.3.1.	Limpieza y secado del material vegetal	29
3.6.3.2.	Extracción del material vegetal	30
3.6.4.	<i>Marcha fitoquímica del extracto etanólico</i>	30
3.6.5.	<i>Fraccionamiento del extracto etanólico</i>	30
3.6.6.	<i>Síntesis de nanopartículas de Ag</i>	31
3.6.7.	<i>Caracterización de NP-Ag</i>	33
IV.	<b>Resultados</b>	35
4.2.	<b>Marcha fitoquímica del extracto etanólico</b>	35
4.3.	<b>Fraccionamiento del extracto etanólico</b>	40
4.4.	<b>Síntesis de NP-Ag</b>	40
4.5.	<b>Caracterización de NP-Ag</b>	41
4.5.1.	<i>Espectroscopia UV-Vis</i>	41
4.5.1.1.	Síntesis de NP-Ag con extracto etanólico.	41
4.5.1.2.	Síntesis de NP-Ag con fracción acetato de etilo y fracción etanólica.	43
4.5.2.	<i>Dispersión dinámica de luz (DLS)</i>	45
4.5.2.1.	Síntesis de NP-Ag con extracto etanólico.	46
4.5.2.2.	Síntesis de NP-Ag con fracción de acetato de etilo y fracción etanólica.	47
4.5.3.	<i>Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)</i>	48
4.5.3.1.	Extracto etanólico de <i>Solanum grandiflorum</i> Ruiz & Pav.	48
4.5.3.2.	Fracción acetato de etilo y etanólica de <i>Solanum grandiflorum</i> Ruiz & Pav.	48
4.5.4.	<i>Espectroscopia de infrarrojo (FT-IR).</i>	49
4.5.4.1.	Extracto y fracción etanólica de <i>Solanum grandiflorum</i> Ruiz & Pav.	50
V.	<b>Discusión de resultados</b>	51
VI.	<b>Conclusiones</b>	56
VII.	<b>Recomendaciones</b>	58
VIII.	<b>Referencias</b>	59
IX.	<b>Anexos</b>	71
9.1.	<b>Constancia de clasificación taxonómica <i>Solanum grandiflorum</i> RUIZ &amp; PAV.</b>	71



## Índice de figuras

Figura 1: Rutas de síntesis de nanomateriales: enfoques top-down y bottom-up. (Rodríguez, 2018).....	13
Figura. 2. Frutos, hojas y flores de <i>Solanum grandiflorum</i> Ruiz & Pav. ....	21
Figura 3. Fraccionamiento por reparto del extracto etanólico obtenido de la <i>Solanum grandiflorum</i> Ruiz & Pav. con solventes de polaridad creciente. ....	31
Figura 4. Síntesis de nanopartículas del extracto y fracciones del extracto etanólico obtenido de <i>Solanum grandiflorum</i> Ruiz & Pav. ....	32
Figura 5. Extracto etanólico de semilla reconstituido en metanol, (A)Shinoda. (B) Baljet. (C)Tricloruro férrico. ....	35
Figura 6. Extracto etanólico de semilla reconstituido en metanol, (A) Legal. (B) Dragendorff. (C) Liebermann–Burchard. ....	36
Figura 7. Extracto etanólico de semillas reconstituido en agua (A) Fehling. (B) Molish. (C) Legal.....	37
Figura 8. Extracto etanólico de semillas reconstituido en agua (A) <i>Baljet</i> . (B) <i>Tricloruro férrico</i> . (C) <i>Espuma</i> . ....	37
Figura 9. Extracto etanólico de semillas y cáscara reconstituido en cloroformo. ....	38
A) <i>Borntrager</i> B) <i>Liebermann–Burchard</i> . ....	38
Figura 10. (A) Extracto etanólico de semilla de <i>Solanum grandiflorum</i> Ruiz & Pav. (B) Sub-fracción de acetato de etilo(C) Sub-fracción etanólica. ....	40
Figura 11. Síntesis de NP-Ag, a partir de <i>Solanum grandiflorum</i> Ruiz & Pav. (A) Proceso inicial (B) NP-Ag.....	40
Figura 13. Espectro UV-vis de las NP-Ag obtenidos usando extracto etanólico: $\text{AgNO}_3$ [ $1 \text{ mmol L}^{-1}$ ]. ....	42
Figura 14. Espectro UV-vis de las NP-Ag obtenidos usando Extracto etanólico: $\text{AgNO}_3$ [ $10 \text{ mmol L}^{-1}$ ]. ....	43
Figura 15. Espectro UV-vis de las NP-Ag sintetizadas con la fracción de acetato de etilo. ....	44
Figura 16. Espectro UV-vis de las NP-Ag sintetizadas con la fracción de etanólica....	45
Figura 17. SEM de NP-Ag obtenido usando el extracto etanólico.....	48
Figura 18. SEM de NP-Ag obtenido usando la fracción acetato de etilo. ....	49
Figura 19. SEM NP-Ag obtenido usando la fracción etanólica. ....	49
Figura 20. Espectro FTIR de extracto y fracción etanólica de <i>Solanum grandiflorum</i> Ruiz & Pav. ....	50

## Índice de tablas

Tabla 1. Métodos de síntesis de nanopartículas de plata en disolución por métodos tradicionales (Monge, M., 2009). .....	17
Tabla 2. Clasificación taxonómica de <i>Solanum grandiflorum</i> Ruiz & Pav. (GBIF., 2015) .....	21
Tabla 3. Reconocimiento de metabolitos secundarios en el extracto etanólico de hojas de <i>S. grandiflorum</i> Ruiz & Pav. (Rodrigues., et al., 2014). .....	22
Tabla 4. Materiales .....	26
Tabla 5. Reactivos .....	28
Tabla 6. Codificación de NP-Ag sintetizadas.....	33
Tabla 7. Análisis Fitoquímico del extracto de semillas del fruto de <i>Solanum grandiflorum</i> Ruíz & Pav reconstituido en metanol.....	35
Tabla 8. Análisis Fitoquímico del extracto de semillas del fruto de <i>Solanum grandiflorum</i> Ruíz & Pav reconstituido en agua. ....	36
Tabla 9. Análisis Fitoquímico del extracto de semillas del fruto de <i>Solanum grandiflorum</i> Ruíz & Pav. reconstituido en cloroformo.....	38
Tabla 10. Reconocimiento de metabolitos en el extracto etanólico de semillas de <i>S. grandiflorum</i> Ruiz & Pav. ....	39
Tabla 11. Longitudes de onda y absorbancias de las NP-Ag a partir del extracto etanólico $\text{AgNO}_3$ [ $1 \text{ mmol L}^{-1}$ ]. .....	42
Tabla 12. Longitudes de onda y absorbancias de las NP-Ag a partir del extracto etanólico: $\text{AgNO}_3$ $\square$ $10 \text{ mmol L}^{-1}$ $\square$ . .....	43
Tabla 13. Longitudes de onda y absorbancias de las NP-Ag sintetizadas con la fracción de acetato de etilo. ....	44
Tabla 14. Longitudes de onda y absorbancias de las NP-Ag sintetizadas con la fracción etanólica.....	45
Tabla 15. DLS de NP-Ag a partir del extracto etanólico con $\text{AgNO}_3$ [ $1 \text{ mmol L}^{-1}$ ]. ....	46
Tabla 16. DLS de NP-Ag a partir del extracto etanólico con $\text{AgNO}_3$ [ $10 \text{ mmol L}^{-1}$ ]. ..	46
Tabla 17. DLS de NP-Ag a partir de la fracción de acetato de etilo. ....	47
Tabla 18. DLS de NP-Ag a partir de la fracción etanólica. ....	47
Tabla 19. Grupos funcionales del extracto y fracción etanólica.....	50

## **Índice de abreviaturas**

DLS	Dispersión de luz dinámica
FE-SEM	Microscopía Electrónica de Barrido
FTIR	Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier
NP-Ag	Nanopartículas de plata
NPs	Nanopartículas
NP	Nanopartícula

# I. Introducción

## 1.1. Descripción y formulación del problema

La nanotecnología consiste, en el diseño, caracterización, producción y aplicación de nanomateriales (nanopartículas). (Avalos et al., 2013) Las características y propiedades de las nanopartículas son dependientes del tamaño, forma y metodología de síntesis (física o química) (Pacioni et al., 2015), tamaño y forma; sin embargo, evidencia dos tipos de metodologías tradicionales físicas o químicas, los cuales requieren un alto costo, gran consumo de recursos, procesos extensos; sin mencionar que producen un impacto perjudicial al medioambiente y salud pública. La generación de nanopartículas es relevante por ser una tecnología en crecimiento y por los beneficios que proporciona para diferentes campos de estudio científico. (Medina et al., 2015)

La síntesis de nanopartículas son producidas a partir de diferentes tipos de metales como el oro, hierro, platino o de óxidos metálicos, se enfoca en la reducción de los iones metálicos provenientes de las sales precursoras ( $\text{H}[\text{AuCl}_4]$ ,  $\text{AgNO}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ), mediante el uso de un agente reductor y un agente estabilizante, la modificación de los parámetros involucrados en estas reacciones en disolución, conduce a un control preciso sobre el tamaño, la forma, la monodispersidad y la superficie de estas nanopartículas, sin embargo, los reactivos tradicionales tales como:  $\text{NaBH}_4$ ,  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{H}_4$ , etc. desencadenan productos no deseados como  $\text{B}_2\text{H}_6$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_3^-$ ,  $\text{N}_2$ , etc. impactando desfavorablemente al medio ambiente (acidificación de aguas y suelos), la economía y salud pública. (Reverberi et al., 2016) En los últimos años las nanopartículas más usadas y caracterizadas son las sintetizadas a partir de iones de plata (NP-Ag), ya que presentan propiedades físicas (conductividad), químicas (estabilidad) y biológicas (actividad catalítica y antibacterial). (Gómez, 2018)

La mayor parte de los efectos adversos presentados en la síntesis de nanopartículas están relacionados a la toxicidad de los métodos físicos y químicos, ya que las NPs formadas presentan sustancias tóxicas absorbidas en su superficie, debido a ello los métodos biológicos son una alternativa eco amigable ya que se usan microorganismos, enzimas, hongos y extractos de plantas. El desarrollo de estos métodos respetuosos con el ecosistema para la síntesis de nanopartículas se ha convertido en una importante rama de la nanotecnología: “síntesis verde”. (Gómez, 2018)

La síntesis por biorreducción (síntesis verde) de nanopartículas, se enfoca en utilizar organismos vivos (microorganismos: bacterias, hongos y levaduras) y los diferentes extractos provenientes de plantas enteras o partes de ellas (corteza, semillas, planta, hojas, frutos, entre otros) como agentes reductores y estabilizantes, sin embargo el uso de organismos vivos en algunos casos requiere de aditivos o tratamientos adicionales como el ultrasonido, que incrementan condiciones ambientales difíciles de controlar en el logro de la síntesis de estas nanopartículas, por lo cual el uso de extractos de plantas es una alternativa para los investigadores en el control del tamaño y la morfología de las nanoestructuras, la cual está directamente asociada a la interacción entre las biomoléculas (terpenoides, polifenoles y ácidos fenólicos, principalmente) y al agente precursor (iones metálicos). (Khalil et al., 2013; Siddiqi. et al., 2018; Rastogi. et al., 2018)

Por lo cual, en los últimos años, se ha estudiado el uso de extractos de plantas para la biorreducción de iones metálicos para formar NPs, este enfoque proporciona un control más flexible sobre el tamaño y la forma de las nanopartículas (por ejemplo, al cambiar el pH del medio y la temperatura de reacción). Se ha demostrado este enfoque usando extractos de una variedad de diferentes especies de plantas en combinación con una variedad de ácidos y sales de metales, como cobre, oro, plata, platino, hierro y muchos otros. (Makarov et al., 2014)

Los estudios empleando fracciones de los extractos usados como agentes reductores en la síntesis de nanopartículas metálicas (Ag) es un área que aún no se ha profundizado, con ello se tendría información específica sobre los metabolitos responsables de la reducción de los iones y sus características. (Swilam y Nematallah, 2020)

Por todo lo mencionado, en este trabajo se realizará la síntesis de nanopartículas usando extractos y fracciones a partir del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav., en base a los diversos estudios sobre la síntesis de nanopartículas por la técnica de biorreducción, en la búsqueda de nuevos agentes reductores naturales.

### **1.1.1. Problema**

#### **1.1.1.1. Problema General**

¿Los metabolitos secundarios del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav., serán una alternativa como agentes biorreductores en la síntesis de NP-Ag?

#### **1.1.1.2. Problemas Específicos**

1. ¿Los extractos y fracciones del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. como agentes reductores y estabilizantes permitirán la síntesis de NP-Ag?
2. ¿Se obtendrán las condiciones óptimas para la síntesis de NP-Ag a partir del extracto y fracciones del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav.?
3. ¿Las técnicas de caracterización evidenciarán la obtención de NP-Ag a partir del extracto y fracciones del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav.?

## 1.2. Antecedentes

Dentro del desarrollo de la nanotecnología, las nanopartículas (NPs) son las más conocidas y estudiadas por sus tamaños inferiores a 100 nanómetros, las cuales pueden ser sintetizadas a partir de diferentes materiales incluyendo metales. Las NPs se encuentran en la industria de cosméticos, textil, construcción, automotriz, entre otros, y también tiene aplicación en el campo clínico, siendo usado como vehículo para transportar fármacos que mejoran la selectividad del tratamiento. Además, gracias a su tamaño tan pequeño y forma pueden incorporar sustancias que faciliten el reconocimiento de las células y los tejidos, actuando como biosensores, entre otros usos. (Gómez, 2018)

Zanella (2012) describe los principales métodos de síntesis de nanomateriales, en primer lugar la aproximación de “arriba hacia abajo”, que involucra principalmente métodos físicos (evaporación térmica, la preparación de clusters gaseosos, la implantación de iones, el depósito químico en fase vapor y la molienda o activación mecanoquímica), y la aproximación de “abajo hacia arriba” que involucra principalmente métodos químicos (método coloidal, la reducción fotoquímica y radiolítica, la irradiación con microondas, la utilización de dendrímeros, la síntesis solvotermal y el método sol-gel), así mismo Morales et al. (2009) realizaron la síntesis de coloides de plata por el método sol-gel, a partir de la reducción de nitrato de plata por etilenglicol, Guzmán et al. (2021) describen la síntesis de nanopartículas de cobre (NPs Cu) por el método de poliol asistido vía microondas (MW), a partir del precursor acetato de cobre sintetizado, Cu(Ac) y Alvear et al. (2017) sintetizaron nanopartículas de magnetita mediante el método de co-precipitación y se estudió el efecto de la velocidad de agitación y el tiempo de reacción sobre el rendimiento, el tamaño y la distribución de tamaños, además, se estudió la influencia del pH del medio de dispersión en la aglomeración de las nanopartículas.

No obstante, desde la visión de Richard Feynman en 1959, la síntesis de materiales nanométricos ha tenido gran importancia; sin embargo, muchos de esos procesos implican el uso de sustancias no amigables al medio ambiente (Ávalos et al., 2016); por ello, actualmente existe la necesidad de buscar nuevas alternativas eco-amigables para su producción, conocida como síntesis verde, ejemplos de ellos, son los métodos biológicos la cual utiliza microorganismos, enzimas, hongos y extractos de plantas. El avance de estos métodos respetuosos con el medioambiente para la síntesis de nanopartículas se ha convertido en una importante rama de la nanotecnología: “síntesis verde”, destacando como uno de los primeros reportes la síntesis de nanopartículas de plata a partir de la alfalfa. (Gómez, 2018)

Juanit (2020), detalla otras alternativas de agentes reductores, tales como sistemas biológicos, por ejemplo, Peña (2021) sintetizó nanopartículas a partir de un virus y Esquivel-Figueroa & Mas-Diego (2020) realizaron un estudio del estado del arte sobre la síntesis biológica de NP-Ag empleando sistemas biológicos (bacterias, plantas y hongos), en particular el género *Trichoderma*. No obstante, Vilchis-Néstor et al. (2008), destacan que el uso de extractos de plantas para sintetizar nanopartículas es el método más rápido, por ejemplo, el extracto de té verde adicionado a dos soluciones acuosas de sales de oro y plata produjo simultáneamente nanopartículas de oro y plata, de tal manera: Mittal et al. (2013) utilizaron diversas biomoléculas (alcaloides, compuestos fenólicos, terpenoides y coenzimas) presentes en extractos de plantas que actúan como agentes reductores; siendo la síntesis de nanopartículas de plata (Ag) y oro (Au) las más frecuentes sin modificar la temperatura ni la presión, Camacho y Deschamps (2013) investigaron el uso de un extracto natural obtenido a partir de las hojas del cilantro (*Coriandrum sativum*) como agente reductor para la formación de nanopartículas, Cardeño y Londoño (2014) obtuvieron nanopartículas de plata a partir de extracto de ajo



(*Allium sativum*), Ledezma et al. (2014) utilizaron el extracto acuoso de nopal (*Opuntia sp.*) como agente reductor en presencia de polímeros biocompatibles solubles en agua (poli-(vinil alcohol)) como agente de estabilización de las nanopartículas, las cuales poseen actividad antibacteriana, antifúngica, insecticida, entre otras, Nji Tsi Ndeh et al. (2017) mencionan que las hojas de *Tiliacora triandra* contiene metabolitos como terpenos y flavonoides, y los extractos de hojas de *Dracocephalum kotschyi*, flavonoides, terpenoides, saponinas y taninos, utilizados en la síntesis de nanopartículas de oro, los cuales son responsables de la reducción y estabilización en la formación de nanopartículas y Amin et al. (2012) a partir de la *Solanum xanthocarpum*, sintetizaron NP-Ag, destacando que esta planta contiene varios alcaloides esteroideos, ácido cafeico, cumarinas y triterpenos (cicloartanol y cicloartenol) a los cuales presenta como responsable de la síntesis.

Las plantas del género *Solanum* (familia Solanaceae) son ampliamente exploradas por sus diferentes compuestos fitoquímicos (ácido clorogénico, ácido cafeico, ácido rosmarínico, ácido gálico, taninos, flavonoides, alcaloides, glucósidos, esteroides, saponinas, lignanos, compuestos fenólicos, cumarinas, terpenoides entre otros compuestos), los cuales han sido aislados de diferentes partes como las hojas, frutos y raíces; presentan una alta gama de actividades farmacológicas con aplicaciones diversas. (Daji et al., 2018; Kaunda et al., 2019)

Lo mencionado anteriormente, permite dirigir la investigación en la síntesis de nanopartículas de Ag (NP-Ag) a partir de los compuestos orgánicos presentes en el fruto de *Solanum grandiflorum*, como una alternativa eco-amigable.

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. *Objetivo General*

Sintetizar a partir del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav., nanopartículas de Ag estables, menores a 100 nm

#### 1.3.2. *Objetivos Específicos*

1. Sintetizar NP-Ag utilizando como agente reductor y estabilizante el extracto y fracciones del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav.
2. Establecer las condiciones óptimas en el proceso de síntesis de NP-Ag a partir del extracto y fracciones del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav.
3. Caracterizar las NP-Ag del extracto y fracciones del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. mediante las técnicas de: UV-VIS, FTIR, DLS y SEM.

### 1.4. Justificación

La síntesis de nanopartículas consiste en el autoensamblaje de moléculas en un medio controlado (variación de pH, la concentración de un soluto específico o la aplicación de un campo eléctrico), formando estructuras organizadas, debido a la termodinámica y las interacciones moleculares (enlaces de hidrógeno y las interacciones de van der Waals) (Gómez, 2018), a partir de métodos físicos (ablación laser, campos ultrasónicos y litografía) los cuales no son provechosos por su elevado gasto de energía y extensos periodos de espera, y químicos (REDOX) que utilizan reactivos tóxicos que manifiestan desventajas medioambientales y de salubridad. (Cardoso, 2016) El método tradicional (químico) se basa en el uso de: agentes reductores (acetaldehído, borohidruro de sodio, citrato de sodio, entre otros) y agentes estabilizantes (bromuro de cetil trimetil amonio (CTAB), hexadecilamina (HDA), olcilamina (OLA)); a fin de reducir los iones

metálicos y otorgar estabilidad, mediante modificaciones de los parámetros fisicoquímicos (tamaño, la forma, la monodispersidad y superficie de estas nanopartículas), no obstante, este método presenta limitaciones como su grado de toxicidad causado por los desechos tóxicos (no deseados) formados como residuos de la reacción, los cuales tiene un impacto negativo al medio ambiente (acidificación de tierras y aguas) y la salud humana (insuficiencia respiratorias, daño ocular); además de presentar un alto costo de producción. (Sifontes, 2014; Monge, 2009)

Por lo que se plantea como mejor alternativa el método de síntesis verde que busca ser amigable con el medioambiente, esta técnica es una alternativa de bioproducción de nanomateriales a partir del material metálico (oro, plata, hierro y óxidos metálicos) basado en el principio de la biorremediación (la síntesis verde se basa en la reducción de metales mediante especies naturales con poder antioxidante. (Gómez, 2018) Así mismo, se da a conocer que las diferentes rutas de síntesis evidencian diversas características y propiedades, confiriéndoles atributos que podrían ser explotados de acuerdo con las características requeridas para cierta aplicación. (Rodríguez, 2018)

Actualmente se investigan nuevos métodos orgánicos eco-amigables, denominados “Síntesis verde” (Castro-Restrepo, 2017), las cuales producen una menor cantidad de desechos tóxicos, siendo menos perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente obteniendo un resultado similar a la síntesis tradicional. La síntesis verde utiliza los extractos de plantas; dependiendo del tipo de extracto, pueden presentar diferentes combinaciones y concentraciones de agentes reductores orgánicos (compuestos fenólicos, terpenos, polisacáridos y flavonas); lo que conlleva a la diversidad morfológica de las nanopartículas: triángulos (*Punica granatum*), hexágonos (*Anacardium occidentale*, *Azadirachta indica*), pentágonos (*Ocimum tenuiflorum*), esféricas (*Pelargonium graveolens*) nano-cables (*Eucalyptus hybrida*), entre otros. (Sifontes, 2014;

Mashwani et al., 2016) Así mismo, Bonatto et al. (2014) detalla que dependiendo de la procedencia de las moléculas utilizadas (vegetal u hongo) que se adhieren a las superficies de las nanopartículas, éstas les confieren características únicas tales como: actividad antibacteriana, antiviral o antialérgica.

Dentro de los metabolitos secundarios usados en el método de biorreducción para la síntesis de nanopartículas tenemos los terpenos, terpenoides sesquiterpenoides los cuales se caracterizan por ser abundantes y estructuralmente diversos y se encuentran en las plantas, también podemos encontrar a los triterpenos, flavonoides, saponinas o saponósidos, heterósidos o glicósidos cardiotónicos, esteroides, fitosteroles, ecdisteroles y alcaninas esteroídicas. (Andrade-Bustamante et al., 2017)

La síntesis de nanopartículas consiste en el autoensamblaje de moléculas en un medio controlado, donde un cambio químico o físico específico (variación de pH, la concentración de un soluto específico o la aplicación de un campo eléctrico), forma estructuras organizadas, esto sucede debido a la termodinámica y las interacciones moleculares (enlaces de hidrógeno y las interacciones de van der Waals). (Gómez, 2018)

No obstante, el género *Solanum* (*Solanum lycocarpum* A. St.-Hill), presenta diversos metabolitos (secundarios y primarios): taninos, flavonoides, saponinas, cumarinas, terpenos/esteroles, alcaloides y esteroides, que están siendo investigados y tienen gran importancia y repercusión para el uso como agente reductor y estabilizante en la síntesis de nanopartículas de plata. (Pereira et al., 2014)

Por otro lado, el surgimiento de nuevas síntesis de nanopartículas de plata, han generado la necesidad de evaluar diversos compuestos naturales con actividad antioxidante (agente reductor) como una alternativa, por ello ha cobrado importancia el desarrollo de diversas estrategias para investigar los componentes que actúen como

agentes reductores y de fácil obtención, en este sentido, existe una gran variedad de especies de plantas propias de los Andes de América del Sur para investigar, entre ellas *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. la cual presenta metabolitos secundarios que pueden actuar como agentes reductores y estabilizantes en la síntesis de nanopartículas de plata.

## 1.5. Hipótesis

### 1.5.1. Hipótesis General

Los metabolitos secundarios del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav., como agentes reductores, formarán nanopartículas de Ag estables.

### 1.5.2. Hipótesis Específicas

1. Los extractos y fracciones del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. forman nanopartículas de Ag estables.
2. La síntesis de nanopartículas de Ag<sup>0</sup> del extracto y fracciones del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. se realiza en condiciones óptimas de temperatura, pH, concentración de agente precursor y relación volumen: volumen (agente reductor: agente precursor).
3. Las técnicas de: UV-VIS, FTIR, DLS y SEM caracterizan las nanopartículas sintetizadas de Ag<sup>0</sup> y los extractos y fracciones del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav.

## II. Marco teórico

### 2.1. Bases teóricas

#### 2.1.1. *Nanomateriales*

En las últimas décadas, la síntesis de nanomateriales es una de las ramas más activas dentro de la nanociencia, el interés en su estudio ha ido creciendo exponencialmente debido a que tales sistemas, presentan propiedades ópticas, eléctricas, mecánicas, entre otras, que pueden diferir en gran medida de aquellas observadas, para el mismo material, pero en escala macroscópica. (Inieta, 2020) La definición de nanomaterial engloba a los materiales que tienen al menos una de sus dimensiones en el rango de la nano-escala, es decir, inferior a 100 nanómetros. (Inieta, 2020 y Belgaria, 2013) La cualidad más importante y sorprendente de esta nueva familia de materiales es el desarrollo de importantes propiedades, que se deben a que:

- a) Los nanomateriales tienen un área de superficie más grande en comparación con el mismo material a escala macroscópica. Esto hace, que el material sea más reactivo. (Berlangua, 2013)
- b) Los efectos cuánticos pueden dominar el comportamiento de la materia a nano escala, afectando sus propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas. El aumento del área de superficie y los efectos cuánticos pueden provocar cambios significativos en sus propiedades en comparación con su contraparte macroscópica, por lo que se cree que se obtiene un nuevo material al reducir el tamaño. (Berlangua, 2013)

A esta escala, los cambios cualitativos en las propiedades fisicoquímicas y la reactividad están relacionados con el número de átomos o moléculas que componen el material. (Berlangua, 2013)

### ***2.1.2. Aplicaciones de los nanomateriales***

La nanotecnología es muy versátil ya que se puede aplicar en diversas áreas de la ciencia e industria como la alimentaria, la textil, la electrónica, la biomédicas, electrónica, entre otras. A continuación, se mencionarán algunos ejemplos como una muestra del amplio rango de aplicaciones que tendría la nanotecnología. (Galarza, 2009)

- **Electrónica:** Para emplearse en la fabricación de microchips o de transistores, siendo ambos elementos indispensables en los dispositivos electrónicos. Las propiedades del grafeno lo convierten en un candidato ideal para el desarrollo de pantallas táctiles flexibles. (Hernández y Quiroz, 2018)
- **Energía:** La nanotecnología reduce costos, produce turbinas eólicas más fuertes y livianas, mejora la eficiencia del combustible y puede ahorrar energía debido al aislamiento térmico de algunos nanocomponentes. (Hernández y Quiroz, 2018)
- **Biomédicas:** Los nanomateriales se pueden utilizar en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares, diabetes, cáncer, SIDA, neurociencia y otras enfermedades. Además, se utilizan en las primeras etapas de los brotes virales, en la entrega de medicamentos nanoencapsulados y protectores solares a base de nanopartículas, por otro lado, algunos nanomateriales los hacen útiles para mejorar el diagnóstico y tratamiento temprano de enfermedades neurodegenerativas o cáncer. (Galarza, 2009)
- **Industria textil:** En este ámbito, la nanotecnología permite desarrollar tejidos resistentes al frío y a las manchas, así como materiales más resistentes, ligeros y duraderos para diferente equipamiento deportivo. (Galarza, 2009)
- **Industria alimentaria:** En este campo se podrían usar nanocompuestos para mejorar la calidad nutricional de alimentos al aumentar la resistencia mecánica

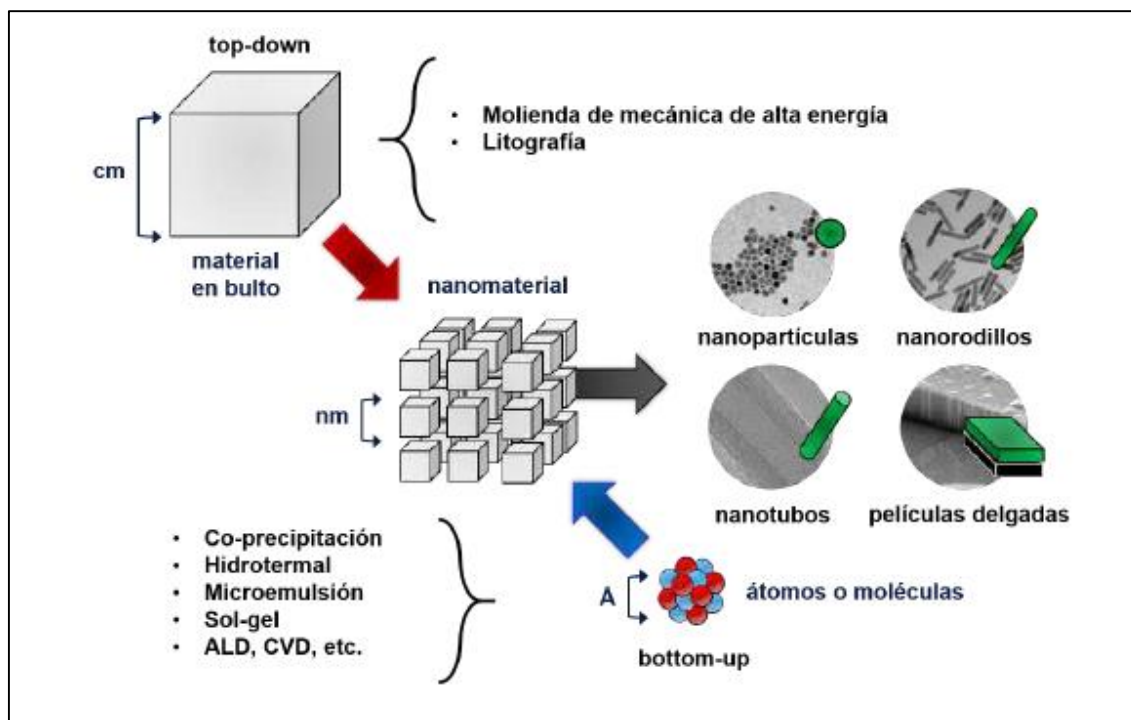
y térmica, y disminuir la transferencia de oxígeno en los productos envasados.

(Galarza, 2009)

### 2.1.3. Obtención de nanomateriales

Los nanomateriales pueden ser preparados mediante diversas rutas de síntesis, que suelen ser agrupadas en dos categorías muy generales (Figura 1): “bottom-up” y “top-down”. (Rodríguez, 2018)

**Figura 1:** Rutas de síntesis de nanomateriales: enfoques top-down y bottom-up. (Rodríguez, 2018)



A partir de Top-down se producen estructuras muy pequeñas desde materiales de mayores dimensiones, sin embargo, un problema que presenta es la imperfección de la estructura en la superficie.; la segunda ruta de síntesis Bottom-up se base en la organización de la estructura que se consigue con un control preciso de las interacciones existentes entre los bloques de construcción, átomos o moléculas, gracias a su auto



ensamblaje, esta estrategia puede dar lugar a arquitecturas más complejas en una superficie, una composición química más homogénea (menos defectos) y una mejora de sus capacidades, debido a que están en un estado cercano al equilibrio termodinámico. (Berlanga, 2013) Entre las estrategias Bottom-up se encuentran rutas de química húmeda (método de sol-gel, hidrotermal, reducción química, co-precipitación, combustión, y microemulsión); además de técnicas en fase gaseosa (depósito por capas atómicas (ALD, Atomic Layer Deposition), la deposición química de vapor (CVD, Chemical Vapor Deposition) y la evaporación láser) y Auto ensamblaje. Por otro lado, entre las estrategias Top-down se encuentran las técnicas de molienda mecánica de alta energía y litografía, por mencionar algunas. Dentro de la gama de materiales que es posible preparar mediante estas estrategias de síntesis se encuentran nanoestructuras como las nanopartículas, nanorodillos, nanotubos, nanoplataletas, películas delgadas, entre otras (Figura 1). (Rodríguez, 2018)

#### **2.1.3.1. Ruta de síntesis, enfoque, Top-down**

La técnica top-down se basa en la reducción del metal a escalas nanométricas de forma mecánica, químicas u otras formas de energía para descomponer los materiales macroestructurados en componentes más pequeños. Entre otros, el mayor problema de esta tipología es la imperfección de la estructura superficial ya que puede causar daño cristalográfico o incluso defectos adicionales durante las etapas de ataque químico. Dichas imperfecciones tendrían un impacto significativo en las propiedades físicas y químicas superficiales por la relación superficie-volumen. (Grandez-Arias, 2016)

Los principales procesos son los siguientes:

- Fotolitografía: El proceso consiste en producir una máscara que lleva la información de patrón requerida y posteriormente transferir ese patrón, usando alguna técnica óptica en un polímero fotoactivo o fotorresistente. Existen dos

enfoques fotolitográficos básicos, los cuales son la impresión en sombra, que se puede dividir en impresión de contacto e impresión de proximidad, e impresión de proyección. (Arenas, 2017)

- Litografía por irradiación de electrones: La litografía de haz de electrones consiste en la irradiación de electrones de una superficie que está cubierta con una resistencia sensible a electrones por medio de un haz de electrones enfocado. (Arenas, 2017)
- La molienda mecánica: Molienda mecánica es un proceso de continuos impactos a los que son sometidas las partículas por parte de los cuerpos molidores bajo altas energías, causando así repetidas microforjas con el objetivo de producir partículas de polvo de tamaño reducido”. (Campos, 2011)

### **2.1.3.2. Ruta de síntesis, enfoque Bottom-up**

La técnica “bottom-up” su enfoque puede ser del crecimiento de cristales, donde especies como átomos, iones o moléculas se unen ordenadamente dando lugar a una estructura cristalina. (Cardoso, 2016)

Los principales procesos son los siguientes:

- Reducción química: Un precursor de sal de plata que es reducido en una reacción química, puede acordar un tamaño y forma de la partícula como también la funcionalización de la nanoplata con los agentes de terminación que las hace adecuadas para aplicaciones específicas. (Cardoso, 2016)
- Sol-gel: El proceso sol-gel es una técnica química húmeda ampliamente utilizada en los campos de la ciencia de los materiales y la ingeniería cerámica. Este método se utiliza principalmente para la fabricación de materiales partiendo de una solución química (sol) que actúa como precursor de una red integrada (o gel) de partículas discretas. La técnica se utiliza para la

fabricación de nanocristales utilizados para formar una fina película como recubrimiento y en materiales de vidrio. (Mosquera et al., 2015)

- Microemulsion: El método de microemulsión es una de las técnicas de preparación más versátil que permite controlar las propiedades de las partículas tales como tamaño, geometría, morfología, homogeneidad y superficie. Las microemulsiones son soluciones termodinámicamente estables, ópticamente isotrópicas, macroscópicamente homogéneas y termodinámicamente estables y contienen al menos tres componentes, los cuales son una fase polar (usualmente agua), una fase no polar (usualmente aceite) y un surfactante. (Luna, 2012)
- Deposición química de vapor (CVD): Esta técnica es realizada a través de una mezcla de gases dentro de una cámara de vacío (reactor), Así da lugar a una formación de materiales en forma de capa delgada. (Sanchez, 2015)
- Autoensamblaje: El autoensamblaje es la asociación espontánea de un conjunto de moléculas en una o más estructuras supramoleculares, impulsadas por múltiples interacciones no covalentes. Estas interacciones incluyen enlaces de hidrógeno, atracción electrostática y fuerzas de Van der Waals, y a menudo están controladas por el efecto hidrófobo. (Arenas, 2017)

#### **2.1.4. Proceso de síntesis “Reducción química”**

La formación de nanopartículas mediante reducción química requiere de dos agentes principales: el agente precursor, generalmente es una sal y el agente reductor, el cual promueve la nucleación y crecimiento de las nanopartículas, evitando la aglomeración de estas, para lo cual a veces es necesario utilizar uno o más agentes estabilizantes a fin de mantener el tamaño y forma de las nanopartículas por un

determinado periodo, así mismo una ventaja es que se puede desarrollar en condiciones ambientales de presión y temperatura. (Sánchez, 2017)

Los precursores más usados para las NPs de  $\text{Ag}^{\circ}$  y  $\text{Cu}^{\circ}$ , son el  $\text{AgNO}_3$  y el  $\text{CuSO}_4$ , respectivamente, aunque también se han usado otros de diversa naturaleza como carboxilatos, oxalatos, óxidos, cloruros, etc. (Arias, 2016) Los parámetros que están influenciados por el método de síntesis son: morfología, su área superficial, el estado de aglomeración, estabilidad y distribución de tamaño, las cuales dependen de las variables fisicoquímicas de la reacción como la concentración de reactivos, el pH del medio, temperatura, entre otros. (Perales y Travezaño, 2019)

En la Tabla 1, se evidencian las diversas variaciones en función a concentraciones y/o volumen que se presentan respecto a la sal metálica y/o al agente reductor químico, debido a la posible precipitación de las nanopartículas. (Monge, 2009)

**Tabla 1.** *Métodos de síntesis de nanopartículas de plata en disolución por métodos tradicionales. (Monge, 2009)*

Precursor	Reductor	Estabilizante
$\text{AgNO}_3$	Citrato	---
$\text{AgNO}_3$	$\text{NaBH}_4$	---
$\text{AgNO}_3$	Ac. Ascórbico	---
$\text{AgNO}_3$	Polioles	PVP
$\text{AgNO}_3$	B-D-Glucosa	Almidón
$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$	Azucares	---
$\text{AgNO}_3$	DMF	APS
$\text{AgNO}_3$	DMF	PVP
$\text{Ag}(\text{COOR})$	Termólisis	---
$\text{Ag}(\text{COOCH}_3)$	Acetaldehído	HDA
$\text{Ag}(\text{COOCH}_3)$	OLA	OLA
$[\text{Ag}(\text{Mes})_4]$	Termólisis	HDA
$\text{AgNO}_3$	Ac. Ascórbico	CTAB
$\text{AgNO}_3$	$\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	AOT
$\text{AgNO}_3$	Radiación UV	PVP
$\text{AgNO}_3$	Radiación UV	PEG
$[\text{Ag}(\text{C}_6\text{F}_5)]$	---	HDA

APS=aminopropiltriétoxilano, PVP=polivinilpirrolidona, HDA= hexadecilamina, OLA= olcilamina, CTAB= Bromuro de cetil trimetil amonio, AOT= bis (2-etilhexil) sulfosuccinato de sodio

### **2.1.5. Síntesis verde**

La síntesis biológica de nanopartículas, también denominada “síntesis verde” es aquella donde se hace uso de extractos provenientes de plantas, microorganismos vivos, que actúan como agentes reductores y estabilizantes, tales como: enzimas/proteínas, aminoácidos, polisacáridos y vitaminas, este método biológico se considera seguro, rentable, sostenible y respetuoso con el medio ambiente (Perales y Travezaño, 2019), no obstante para una aplicación a gran escala se requiere la optimización de los parámetros fisicoquímicos (pH, la temperatura de incubación, el tiempo de incubación, la concentración de iones metálicos y la cantidad de material biológico). (Arenas, 2017) Sin embargo, en muchas ocasiones los resultados obtenidos en este método de síntesis igualan o sobrepasan las expectativas de las nanopartículas sintetizadas por métodos químicos y físicos, en cuanto a la calidad y al costo fabricación. (Hernández, 2013)

Esta síntesis tiene como uno de los procesos principales la biorreducción, en donde los iones metálicos en solución son regularmente absorbidos a la superficie microbiana por los grupos químicos funcionales de los compuestos o biopolímeros que constituyen la pared celular y luego son reducidos *in situ* a átomos metálicos mediante la reducción por medio de diversas biomoléculas, la nucleación y crecimiento de estructuras inorgánicas son comúnmente controlados por proteínas y otras biomacromoléculas. (Hernández, 2013)

### **2.1.6. Nanopartículas de plata**

La síntesis de nanopartículas de plata, emplea generalmente el método de reducción química a partir de la sal de nitrato de plata y borhidruro de sodio (agente reductor) en exceso, el cual permite obtener dispersiones coloidales de plata amarilla, estable y transparente (Camacho y Deschamps, 2013), sin embargo Cardeño y Londoño

(2014), mencionan diferentes estabilizantes: polímeros orgánicos o recubrimientos de sílice, materiales como PVP (polivinil-pirrolidona), PVA (polivinil alcohol), metilcelulosa, hidroxipropil celulosa entre otros, a fin de modificar la forma, el tamaño y sus propiedades.

### ***2.1.7. Aplicaciones de las nanopartículas de plata (AgNPs)***

Las NP-Ag son una de las categorías de productos de mayor crecimiento en la industria de la nanotecnología, esto debido a su fuerte actividad antimicrobiana la cual es la principal característica para el desarrollo de productos con NP-Ag, actualmente, una amplia categoría de productos se encuentra disponibles en el mercado. (Cheng et al., 2004; Cohen et al., 2007)

- Biomédicas: En el ámbito médico, existen apósitos para heridas, dispositivos anticonceptivos, instrumental quirúrgico y prótesis óseas, todos ellos recubiertos o integrados con NP-Ag para así evitar el crecimiento bacteriano. (Cheng et al., 2004; Cohen et al., 2007) También se tienen las siguientes aplicaciones: NP-Ag como agentes virucidas (administración de fármacos para enfermedades potencialmente mortales o agentes virucidas), NP-Ag y su aplicación potencial en cáncer (diagnóstico), NP-Ag y su aplicación como antiparasitario (eficacia antiparasitaria), NP-Ag y su aplicación como agente antibacteriano. (Fernández, 2017)
- Agricultura: Dentro del campo de la agricultura, las NP-Ag se emplean para prolongar la conservación de frutos, ya que además de su actividad antibacteriana presentan un efecto fungistático que retarda el crecimiento de hongos fitopatógenos. Estas NPs pueden aplicarse junto con un recubrimiento biodegradable en los frutos, mediante la inmersión de los mismos en la solución formadora de recubrimiento. (Ávalos et al, 2013)

- Industria alimentaria: En la industria alimentaria las NPs tienen su aplicación en áreas como la calidad y seguridad alimentaria, el desarrollo de nuevos alimentos y en el envasado. (Ávalos et al ,2013)
- Industria textil: Las NP-Ag también están incorporadas en la industria textil para la fabricación de prendas de vestir, ropa interior y calcetines. Mediante la introducción de NP-Ag en fibras sintéticas o naturales consiguen una potenciación de la actividad iónica gracias a la mayor cantidad de iones plata que son liberados. El resultado es la obtención de rápidos efectos antimicrobianos o anti-olor. (Ávalos et al ,2013)

#### **2.1.8. *Solanum*: clasificación, taxonomía y compuestos orgánicos**

*Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. (Fruta del lobo) (Figura 2), pertenece a la familia Solanaceae (Zuñe Da Silva, 2016) su clasificación taxonómica se describe en la Tabla 2, el género *Solanum* comprende 1500 especies en una amplia diversidad de hábitats, se pueden encontrar desde pequeñas hierbas hasta árboles, distribuidas en los trópicos, subtropicos y en las regiones templadas de ambos hemisferios. La más alta concentración de especies se encuentra en los Andes y en el Sur-Este de Brasil, preferiblemente en bosques húmedos tropicales. (Orozco et al., 2008)

**Figura. 2.** Frutos, hojas y flores de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav.



**Tabla 2.** Clasificación taxonómica de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. (GBIF., 2015)

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
<b>Filo</b>	Tracheophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Solanales
<b>Familia</b>	Solanaceae
<b>Género</b>	<i>Solanum</i> L.
<b>Especies</b>	<i>Solanum grandiflorum</i> Ruiz & Pav.



**Tabla 3.** Reconocimiento de metabolitos secundarios en el extracto etanólico de hojas de *S. grandiflorum* Ruiz & Pav. (Rodrigues et al., 2014)

<i>Metabolitos secundarios</i>	<i>Presencia /Ausencia</i>	<i>Prueba realizada</i>	<i>Coloración /Precipitado</i>
Alcaloides	+	Reactivo de Dragendorff	Naranja
Glucósidos cardiotónicos	+	Reacción Kéller-Killiani	Naranja
Cumarinas volátiles	+	Florescencia UV	Rosa fosforescente
Flavonoides	+	Ensayo Shinoda	Verde
Taninos	-	Gelatina-sal	Marrón
Saponinas	+	Ensayo de espuma	Espuma
Triterpenos y/o Esteroides	+	Reacción Liebermann-Burchard.	Marrón
Derivados antracénicos libres	+	Reacción de Borntrager-Kraus	Morado-violeta

En el género *Solanum* sp. se encontraron diversos metabolitos secundarios (Tabla 3) entre ellos: fenólicos como ácido clorogénico, ácido cafeico, ácido rosmarínico, ácido gálico, taninos, flavonoides, alcaloides, glucósidos, esteroides, saponinas y terpenoides

biológicamente activos (Barros et al., 2018; Daji et al., 2018), que presentan aplicaciones como:

- Terpenos. Entre los que se encuentran hormonas, pigmentos o aceites esenciales. Muchos terpenoides son comercialmente interesantes por su uso como aromas y fragancias en alimentación y cosmética, o por su importancia en la calidad de productos agrícolas. Otros compuestos terpenoides tienen importancia medicinal por sus propiedades anticarcinogénicas, antiulcerosas, antimalaricales, antimicrobianas, etc. (Ávalos y Pérez-Urria, 2009)
- Compuestos fenólicos. Cumarinas, flavonoides, lignina y taninos. Muchos compuestos fenólicos son conocidos por sus aplicaciones como antioxidantes, antiinflamatorias, antialérgicas, antibióticas, antidiarreicas y contra el cáncer. (Ávalos y Pérez-Urria, 2009)
- Glicósidos. Saponinas, glicósidos cardiacos, glicósidos cianogénicos y glucosinolatos. Los glicósidos cardiacos o cardenólidos son semejantes a las saponinas esteroideas, tienen también propiedades detergentes, pero su estructura contiene una lactona. Se encuentran de forma natural en forma de glicósidos o de agliconas. Quizá el más conocido sea la digitoxina, o su análogo digoxina, aislada de *Digitalis purpurea* y utilizada como medicamento en el tratamiento de la insuficiencia cardiaca congestiva. (Ávalos y Pérez-Urria, 2009)

#### **2.1.9. Hábitat *Solanum grandiflorum***

*Solanum grandiflorum* se encuentra distribuida en países como Brasil, Colombia, Ecuador y Perú, a nivel nacional, se distribuyen en los departamentos de Cajamarca, Cuzco, Huánuco, Loreto, Madre de Dios, Pasco, San Martín, Ucayali y Junín. (Grandtner,

y Chevrette, 2013); comúnmente es cultivada desde el nivel del mar hasta 260-600 msnm.  
(Orozco et al ,2008)

### **III. Metodología**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

La presente investigación es de tipo experimental.

#### **3.2. Ámbito temporal y espacial**

La colecta de la especie vegetal *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. se llevó a cabo en la estación de investigación IVITA-PUCALLPA perteneciente a la Facultad de Medicina Veterinaria de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, ubicada en la provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali, desde la primera semana de septiembre hasta la quincena de octubre del 2020.

El desarrollo de la parte experimental se realizó en el Laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática - Universidad Nacional Federico Villarreal, Anexo 10. El Agustino. Lima- Perú.

Duración del proyecto de investigación: 12 meses.

#### **3.3. Variables**

##### ***3.3.1. Independiente***

Metabolitos secundarios presentes en el extracto y/o fracciones del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav.

##### ***3.3.2. Dependiente***

Tamaño y forma de las nanopartículas de plata obtenidas del extracto y fracciones del fruto *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav.

### 3.4. Población y muestra

La población estudiada será frutos de la especie *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. colectadas de 30 árboles ubicados dentro de una hectárea. La muestra vegetal será de 10 kg de fruto verde.

La recolección de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. se realizó en la Estación Experimental del Instituto Veterinario de Investigaciones de Trópico y de Altura (IVITA Pucallpa) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, ubicada en el km 59 de la Carretera Federico Basadre que conecta Pucallpa con la ciudad de Lima.

Su ubicación Geográfica es 74°34'49" de Longitud Oeste y 8°23'37,3" de Latitud Sur, a 154 m.s.n.m., Provincia de Coronel Portillo, Distrito de Campo Verde.

### 3.5. Instrumentos

#### 3.5.1. Materiales

**Tabla 4.** *Materiales*

Material	Especificaciones	Cantidades
Matraces Erlenmeyer	Material de vidrio (Borosilicato 3.3), matraz Erlenmeyer, cuello estrecho, con borde reforzado. NS 29/32, con capacidad de 50 mL. (Marca Kimax)	10
Vasos de precipitado de 250 mL capacidad	Material de vidrio (Borosilicato 3.3), vaso de precipitado, forma baja, con pico, con borde reforzado. NS 29/32, con capacidad de 250 mL. (Marca Kimax)	6
Vasos de precipitado de 100 mL capacidad	Material de vidrio (Borosilicato 3.3), vaso de precipitado, forma baja, con pico, con borde reforzado. NS 29/32, con capacidad de 100 mL. (Marca Kimax)	6

Fiolas de 50 mL	Material de vidrio con tapa de plástico con mango, de boca ancha. Clase A. Volumen x 50 mL. Aforado de 25 mL con un anillo graduado en el cuello. (Marca Kimax) certificación de conformidad, (1). NS 29/32, con capacidad de 50 mL. (Marca Kimax)	5
Pipeta graduada de 100 mL capacidad	Material de vidrio. Clase A. Capacidad x 100 mL. Graduación de 1/10. Tipo 1 (Cero arriba)	5
Pipeta gravimétrica de 10 mL capacidad	Material de vidrio. Clase A. Capacidad x 10 mL. Graduación de 1/10. Tipo 1 (Cero arriba)	5
Pipeta gravimétrica de 1ml capacidad	Material de vidrio. Clase A. Capacidad x 1 mL. Graduación de 1/10. Tipo 1 (Cero arriba)	1
Placas Petri	Material de vidrio estándar de 90 mm (diámetro) y altura de 15.9 mm, incluye tapa y base. (Marca Kimax)	6
Viales ámbar con tapa	Viales de forma cilíndrica con fondo plano. Parte superior de rosca cerrada. Incluye tapón de PTFE. Material de vidrio borosilicato de rosca. Color ámbar. Volumen (capacidad) x 8 mL. Paquete x 100 unidades. (Marca Wheton)	20
Viales transparentes con tapa	Viales de forma cilíndrica con fondo plano. Parte superior de rosca cerrada. Incluye tapón de PTFE. Material de vidrio borosilicato de rosca. Color transparente. Volumen (capacidad) x 8 mL. Paquete x 100 unidades. (Marca Wheton)	20
Tubos de ensayo	Material de vidrio (Borosilicato 3.3), Tubo de ensayo en vidrio borosilicato Fiolax. NS 29/32, con capacidad de 15 mL. (Marca Kimax)	30
lunas de reloj	Material de vidrio estándar de 50 mm (diámetro). (Marca Kimax)	5
Embudos de vidrio de 50 mL de capacidad	Material de vidrio (Borosilicato 3.3), embudo con rama corta. Capacidad de 50 mL. (Marca Kimax)	3
Espátulas	Material de acero inoxidable 18/10. La espátula de cuchara estándar de acero inoxidable 18/10 BOCHEM™ es una espátula estándar.	6

Papel Filtro Whatman	Caja de papel filtro grado 40 (medio rápido) Retención de 8 mm. Tiempo de filtración 340 s. Circulares. Diámetro 90 mm.	1
Papel indicador PANPEHA	Tiras indicadoras de pH Whatman Panpeha. Mide valores pH de 0 a 14. Sensibilidad de 0.5 unidades en rango de 0 a 9 y de 1 unidad de pH en el rango de 9 a 14. Caja x 200 tiras con tabla referencia de colores	2
Papel aluminio	Papel aluminio de 24 x 0.3 metros. Caja x 1 unidad.	1
Barra magnética	Barra magnética con pivote. Medidas de 22 x 8 mm. Color blanco. Cubiertas de teflón.	2

### 3.5.2. Equipos

- Espectrofotómetro de infrarrojo (FTIR)
- Espectrofotómetro UV-visible
- Agitador magnético
- Estufa de secado
- Centrífuga

### 3.5.3. Reactivos

**Tabla 5. Reactivos**

Reactivos	Pureza	Cantidad
Agua ultrapura	Tipo II	5 L
Etanol Q. P	Q. P	1L
Metanol Q.P.	Q. P	1L
Éter de petróleo G.A.	G. A	1L
Hexano Q.P.	Q. P	1L
Nitrato de plata 99.0%	99%	100 g
Dicloruro de metilo 99.9%	99.9%	1L
Cloruro férrico 1%	1%	100 g
Ácido clorhídrico concentrado	G. A	500 mL

Hidróxido de sodio anhidro	G. A	1 kg
Ácido sulfúrico concentrado	G. A	500 mL
Cinta de magnesio	---	1 unid
Acetato de etilo Q.P.	Q. P	1L
1- propanol G.A.	G. A	1L
Ácido fórmico Q.P.	Q. P	500 mL
Ácido acético Q.P.	Q. P	500 mL
1,1-difenil-2-picrilhidrazilo (DPPH)	G. A	1 g
Ácido ascórbico	G. A	500 g

### 3.6. Procedimiento

#### 3.6.1. *Recolección de muestra*

Se recolectaron los ejemplares en bolsas o envolturas de papel, pues mantienen una mejor calidad cuando se secan en las bolsas donde se van a almacenar. (Bowles, 2004)

#### 3.6.2. *Clasificación taxonómica*

Se llevó una muestra completa (hojas, tallo, fruto y flor) del material vegetal al Herbario regional de Ucayali IVITA Pucallpa (HRUIP) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos para su clasificación taxonómica.

#### 3.6.3. *Limpieza, secado y extracción del material vegetal*

##### 3.6.3.1. **Limpieza y secado del material vegetal**

La muestra se lavó con agua a fin de eliminar las partículas de polvo, posteriormente se realizó la desinfección con alcohol e hipoclorito de sodio al 1% y finalmente se llevó a secar a 40°C. (Seyyednejad et al., 2010)



### **3.6.3.2. Extracción del material vegetal**

Los compuestos orgánicos presentes en el material vegetal (semillas) se extrajeron con etanol al 80% a temperatura ambiente (Shen y Shao, 2005) en una relación 1:2 (p/v). Se dejó en maceración por 3 días, se filtró usando papel filtro Whatman grado 40 (medio rápido) (Patel y Nagee, 2012) y se concentró en placas Petri a una temperatura entre 36-38 °C. (Seyyednejad et al., 2010; Cañón y Menco, 2018), una vez seco se registró el peso obtenido y se almaceno.

### **3.6.4. *Marcha fitoquímica del extracto etanólico***

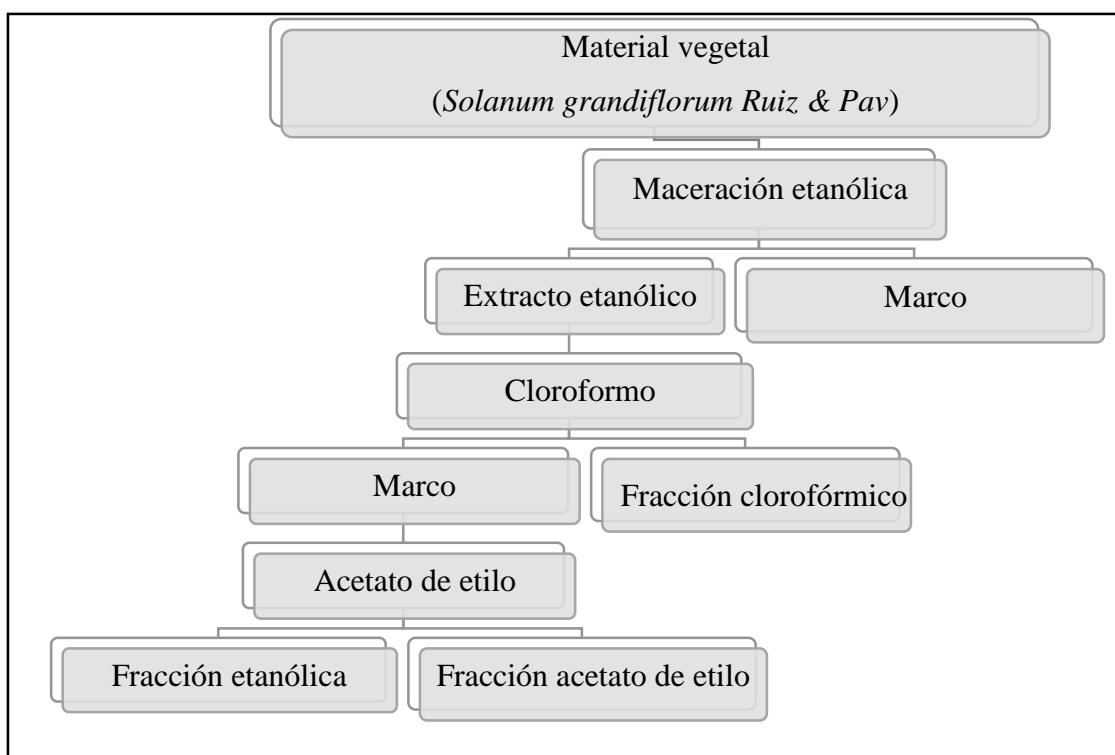
Se realizó el análisis fitoquímico del extracto a fin de revelar la presencia de componentes químicos (Lock, 2016) como alcaloides, flavonoides, taninos, saponinas, antraquinonas, azúcares reductores, glucósidos cardíacos, terpenoides y triterpenoides. (Okokon et al., 2017)

### **3.6.5. *Fraccionamiento del extracto etanólico***

El fraccionamiento del extracto obtenido de las semillas de la *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. se realizó por la técnica de reparto por triplicado utilizando solventes de polaridad creciente (cloroformo y acetato de etilo) en una relación 1:1 (Figura 3). (Marin et al., 2018)

Luego cada fracción se concentró eliminando el exceso de solvente y una vez secados se registró el peso obtenido para cada una de las fracciones y se almacenaron.

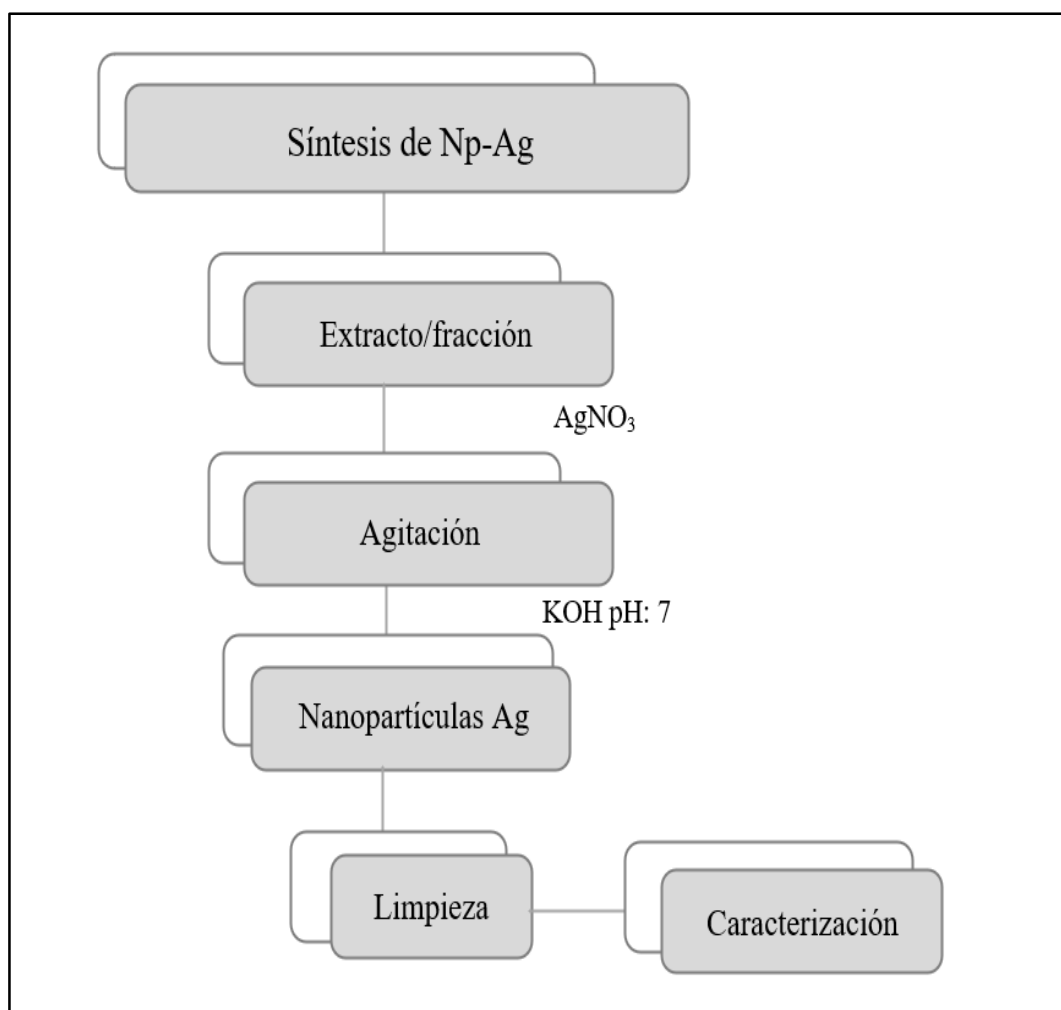
**Figura 3.** Fraccionamiento por reparto del extracto etanólico obtenido de la *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. con solventes de polaridad creciente.



### 3.6.6. Síntesis de nanopartículas de Ag

A partir de los extractos o fracciones obtenidos de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. se pesó 0.01g y se redisolvió en 10 mL de etanol al 80% y se llevó a un matraz aforado de 100 mL. Por otro lado, en un erlenmeyer de 50 mL se colocó el extracto y se agregó la solución de  $\text{AgNO}_3$  ( $10 \text{ mmol L}^{-1}$  o  $1 \text{ mmol L}^{-1}$ ) (gota a gota) bajo agitación (Gómez, 2013; Nagaich et al., 2016) y utilizando  $\text{KOH}$   $10 \text{ mmol L}^{-1}$  se llevó a pH 7. Se dejó en agitación (300 rpm) durante 1/2 hora, hasta que se observó un cambio de color en la solución de reacción. (Ramkumar et al., 2017) Para el proceso de limpieza de las NP-Ag se llevó a centrifugar a 10 000 rpm y se retiró el sobrenadante, este proceso se realizó por triplicado. El procedimiento, se repitió para las diferentes relaciones v/v del extracto/fracción 2:1, 3:1, 4:1, 5:1, 6:1, 7:1 y 8:1 y concentraciones de  $\text{AgNO}_3$  (Figura 4).

**Figura 4.** Síntesis de nanopartículas del extracto y fracciones del extracto etanólico obtenido de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav.



A continuación, en la Tabla 6 se detallan los códigos de las NP-Ag obtenidas a partir del extracto y fracciones.

**Tabla 6.** Codificación de NP-Ag sintetizadas.

Código	Extracto o fracción	Volumen (Extracto o Fracción) mL	Volumen (AgNO <sub>3</sub> ) mL	Concentración de AgNO <sub>3</sub> mmol L <sup>-1</sup>
NP-Ag-E-2-A		2		
NP-Ag-E-3-A		3		
NP-Ag-E-4-A		4		
NP-Ag-E-5-A	Etanólico	5	1	1
NP-Ag-E-6-A		6		
NP-Ag-E-7-A		7		
NP-Ag-E-8-A		8		
NP-Ag-E-2-B		2		
NP-Ag-E-3-B		3		
NP-Ag-E-4-B		4		
NP-Ag-E-5-B	Etanólico	5	1	10
NP-Ag-E-6-B		6		
NP-Ag-E-7-B		7		
NP-Ag-E-8-B		8		
NP-Ag-FC-2-B		2		
NP-Ag-FC-5-B	Fracción clorofórmica	5	1	10
NP-Ag-FC-8-B		8		
NP-Ag-FA-2-B		2		
NP-Ag-FA-5-B	Fracción de acetato de etilo	5	1	10
NP-Ag-FA-8-B		8		
NP-Ag-FE-2-B		2		
NP-Ag-FE-5-B	Fracción etanólica	5	1	10
NP-Ag-FE-8-B		8		

### 3.6.7. Caracterización de NP-Ag

La caracterización de las nanopartículas se realizó con los siguientes equipos:

- ✓ Espectrofotómetro ultravioleta-visible (UV- VIS)

Se realizó el análisis usando celda de cuarzo, a temperatura ambiente (25°C) y en un rango de 200-600 nm, este rango es donde se encuentran los picos característicos de las nanopartículas de plata. Es una técnica de caracterización indirecta de nanopartículas ya que solo nos permite su identificación en una solución mediante la formación de picos a una determinada longitud de onda y una respectiva absorbancia. (Salguero, 2016)

✓ Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Su principal uso para la caracterización de nanopartículas se centra en la detección de grupos funcionales enlazados a la superficie de las nanopartículas. Esta técnica usa energía del infrarrojo medio modulada para analizar una muestra. La luz infrarroja se absorbe a frecuencias específicas directamente relacionadas con las energías de enlace vibratorio interatómico de la molécula. (Ahmed et al., 2015)

✓ Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Esta técnica permitirá identificar la morfología y el tamaño de las nanopartículas obtenidas. Nos permite observar una imagen ampliada de un área o superficie utilizando electrones en lugar de ondas o radiación de luz. La principal ventaja que presenta es que el rango de aumento es muy amplio y nos permite obtener imágenes tridimensionales que son apropiadas para determinar la morfología y realizar una sencilla interpretación de un material en una escala muy pequeña. (Perales y Travezaño, 2019)

✓ Dispersión de luz dinámica (DLS)

Es una técnica no invasiva y bien establecida que se usará para medir el tamaño y distribución de las nanopartículas obtenidas. Esta técnica nos permite medir el tamaño aproximado de los nanomateriales suspendidos en soluciones líquidas o coloidales, ya que consiste en hacer atravesar una luz láser por la suspensión y mediante un detector capturar la cantidad de luz que es dispersada. (Neira, 2015)

## IV. Resultados

### 4.1. Extracción del material vegetal

Se pesó 20g de material vegetal (semilla, triturada y seca) se extrajo con 40 ml de etanol al 80% a temperatura ambiente. Se dejó en maceración por 3 días, se filtró usando papel filtro Whatman grado 40 (medio rápido) y se concentró en placas Petri a una temperatura entre 36-38 °C, se obtuvo 1.56g de extracto seco (Figura 10).

### 4.2. Marcha fitoquímica del extracto etanólico

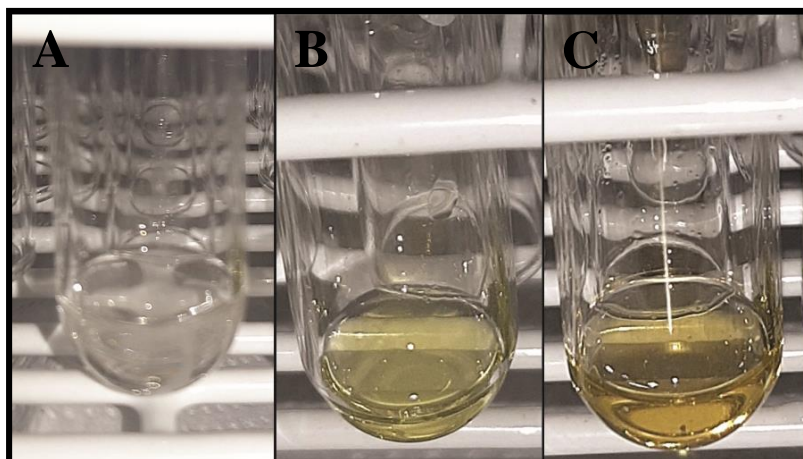
Se realizó el análisis fitoquímico del extracto etanólico, en las Tablas 7, 8 y 9 se detallan los resultados obtenidos (Figuras 5, 6, 7, 8 y 9).

**Tabla 7.** Análisis Fitoquímico del extracto de semillas del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruíz & Pav. reconstituido en metanol.

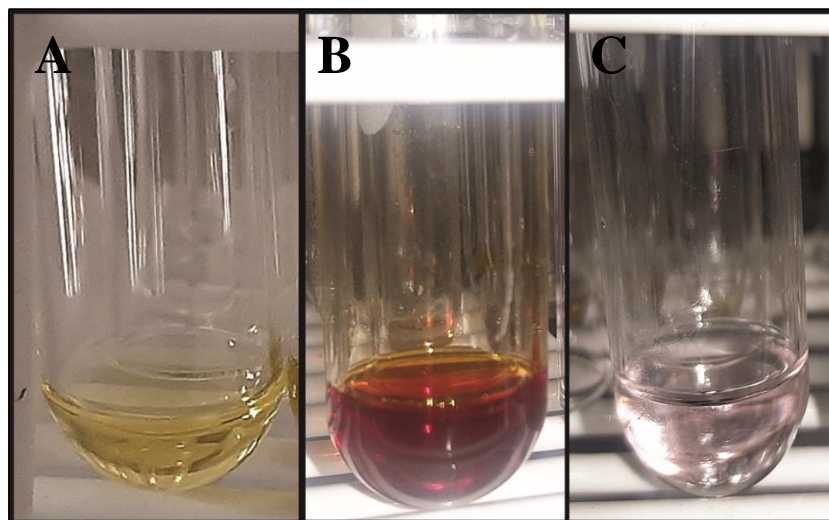
Extractos \ Reactivos	Semilla
Liebermann- Burchard	+
Shinoda	-
Baljet	-
Legal	-
Wagner	-
Dragendorff	-
Rosenheim	-
Tricloruro férrico	+

+ = Positivo, - = Negativo

**Figura 5.** Extracto etanólico de semilla reconstituido en metanol, (A) Shinoda. (B) Baljet. (C) Tricloruro férrico.



**Figura 6.** Extracto etanólico de semilla reconstituido en metanol, (A) Legal. (B) Dragendorff. (C) Liebermann–Burchard.

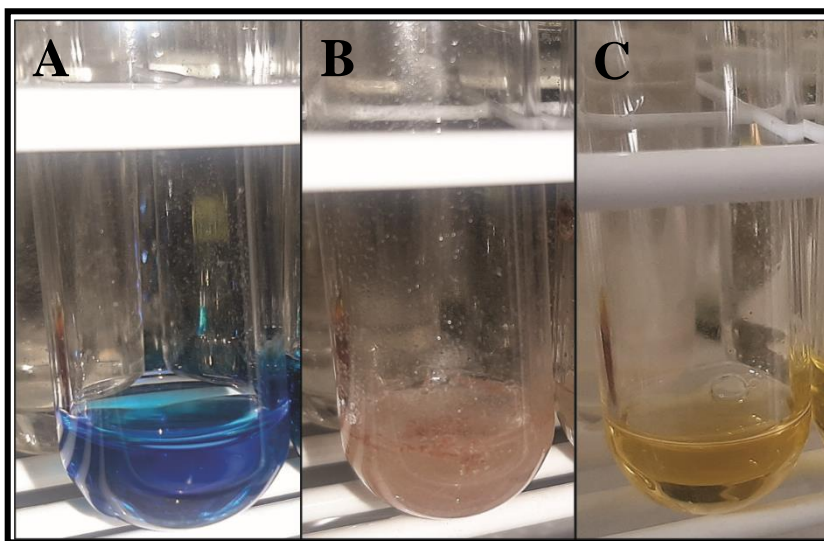


**Tabla 8.** Análisis Fitoquímico del extracto de semillas del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruíz & Pav. reconstituido en agua.

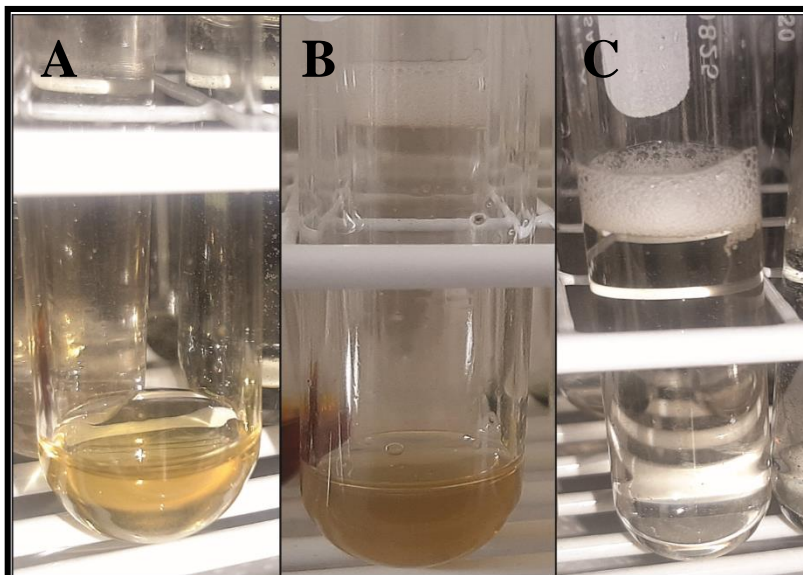
Extractos \ Reactivo	Semilla
Espuma	+
Baljet	-
Legal	-
Fehling	-
Molish	+
Tricloruro férrico	+

+ = Positivo, - = Negativo

**Figura 7.** Extracto etanólico de semillas reconstituido en agua (A) Fehling. (B) Molish. (C) Legal.



**Figura 8.** Extracto etanólico de semillas reconstituido en agua (A) Baljet. (B) Tricloruro férrico. (C) Espuma.





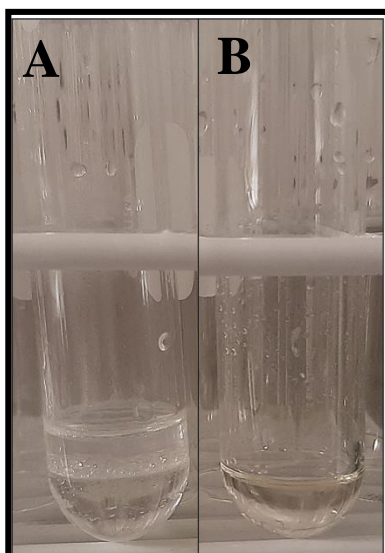
**Tabla 9.** Análisis Fitoquímico del extracto de semillas del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruíz & Pav. reconstituido en cloroformo.

Extractos \ Reactivo	Semilla
Liebermann- Burchard	-
Borotrager	-

- = Negativo

**Figura 9.** Extracto etanólico de semillas y cáscara reconstituido en cloroformo.

A) Borotrager B) Liebermann–Burchard.



En la Tabla 10 se detallan los resultados positivos obtenidos del análisis fitoquímico al extracto etanólico de las semillas del fruto de *S. grandiflorum* Ruíz & Pav.

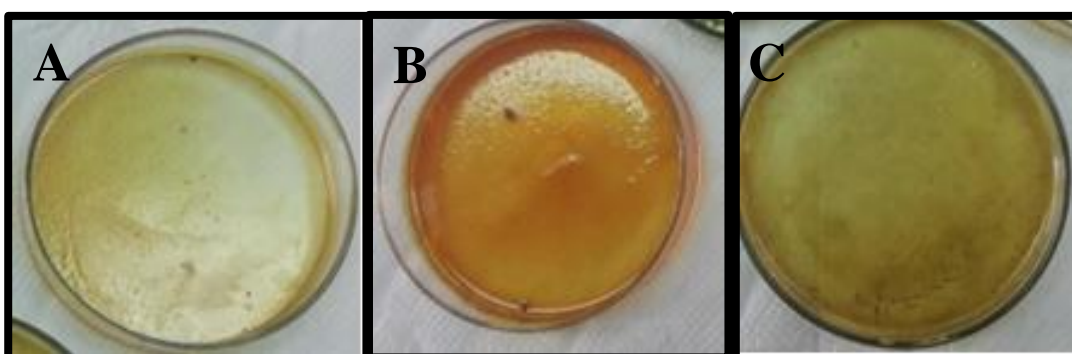
**Tabla 10.** Reconocimiento de metabolitos en el extracto etanólico de semillas de *S. grandiflorum* Ruiz & Pav.

<i>Metabolitos</i>	<i>Presencia /Ausenci a</i>	<i>Prueba realizada</i>	<i>Coloración /Precipitado</i>
Carbohidratos	+	Reacción Kéller- Killiani	Naranja
Taninos	+	Reacción de FeCl <sub>3</sub>	Azul-Negro
Saponinas	+	Ensayo de espuma	Espuma
Triterpenos y/o Esteroides	+	Reacción Liebermann- Burchard.	Marrón

### 4.3. Fraccionamiento del extracto etanólico

El extracto obtenido por maceración con etanol al 80% (semillas) de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. fue fraccionado por reparto utilizando solventes de polaridad creciente, en relación 1:1, tomando 40 ml extracto etanólico obtenido y 40 ml del solvente, mediante extracciones sucesivas se procedió a la extracción secuencial con cada uno de los solventes (cloroformo y Acetato de etilo) por triplicado. Cada una de las fracciones se concentró en placa Petri a una temperatura entre 36-38 °C eliminando el exceso de solvente y una vez desecados, se obtuvo 0.028g fracción acetato de etilo y 0.038g fracción etanólica (Figura 10).

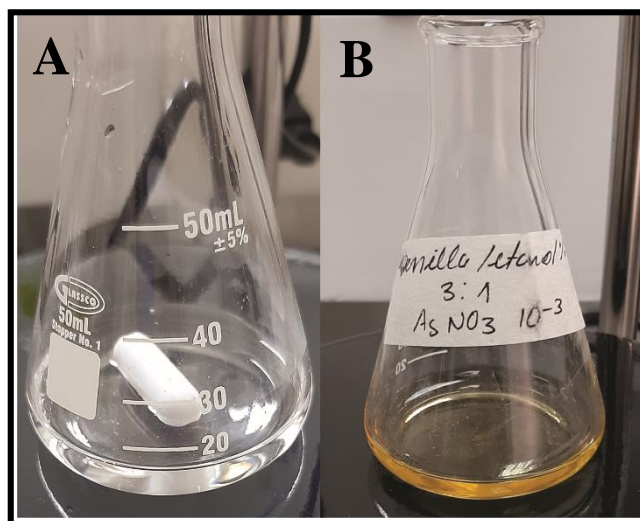
**Figura 10.** (A) Extracto etanólico de semilla de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. (B) Sub-fracción de acetato de etilo (C) Sub-fracción etanólica.



### 4.4. Síntesis de NP-Ag

En la figura 11, se observa el cambio de incoloro a amarillo intenso en la solución de reacción, que evidencia la formación de NP-Ag.

**Figura 11.** *Síntesis de NP-Ag, a partir de Solanum grandiflorum Ruiz & Pav. (A) Proceso inicial (B) NP-Ag.*



## 4.5. Caracterización de NP-Ag

### 4.5.1. Espectroscopia UV-Vis

La reducción de los iones plata se confirmó mediante el análisis con Espectroscopia Ultravioleta – Visible (UV-Vis) de la mezcla de reacción. El análisis se realizó utilizando el equipo Lambda 25, Perkin Elmer.

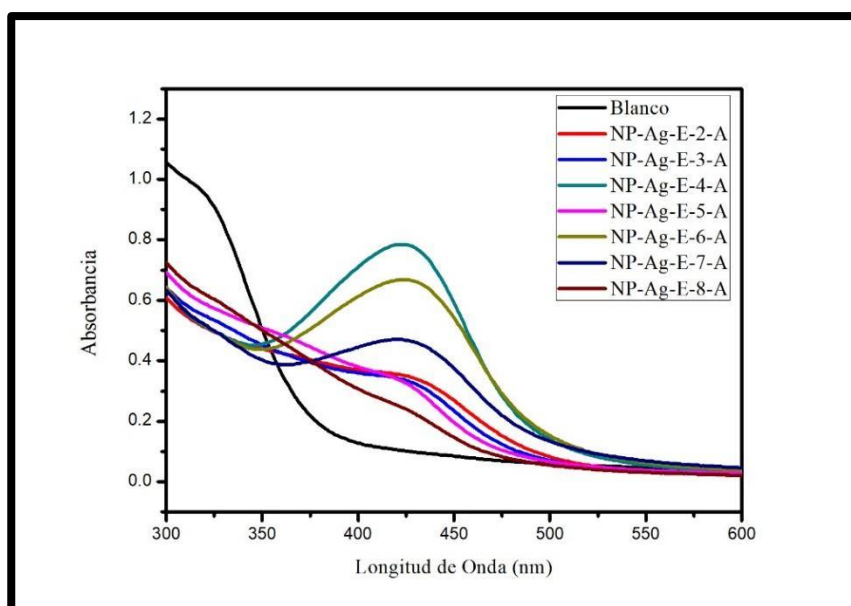
#### 4.5.1.1. Síntesis de NP-Ag con extracto etanólico.

En la Tabla 11, se muestran los resultados del análisis por espectrometría UV Visible de las NP-Ag, sintetizadas a partir del extracto etanólico con  $\text{AgNO}_3$  [ $1 \text{ mmol L}^{-1}$ ], se incluyen los valores de la longitud de onda máxima [400nm a 600nm] y la absorbancia.

**Tabla 11.** Longitudes de onda y absorbancias de las NP-Ag a partir del extracto etanólico  $\text{AgNO}_3$  [ $1 \text{ mmol L}^{-1}$ ].

	Longitud de Onda (nm)	Absorbancia
NP-Ag-E-2-A	400	0.371
NP-Ag-E-3-A	400	0.360
NP-Ag-E-4-A	421	0.785
NP-Ag-E-5-A	400	0.380
NP-Ag-E-6-A	422	0.668
NP-Ag-E-7-A	418	0.470
NP-Ag-E-8-A	400	0.307

**Figura 13.** Espectro UV-vis de las NP-Ag obtenidas usando extracto etanólico:  $\text{AgNO}_3$  [ $1 \text{ mmol L}^{-1}$ ].

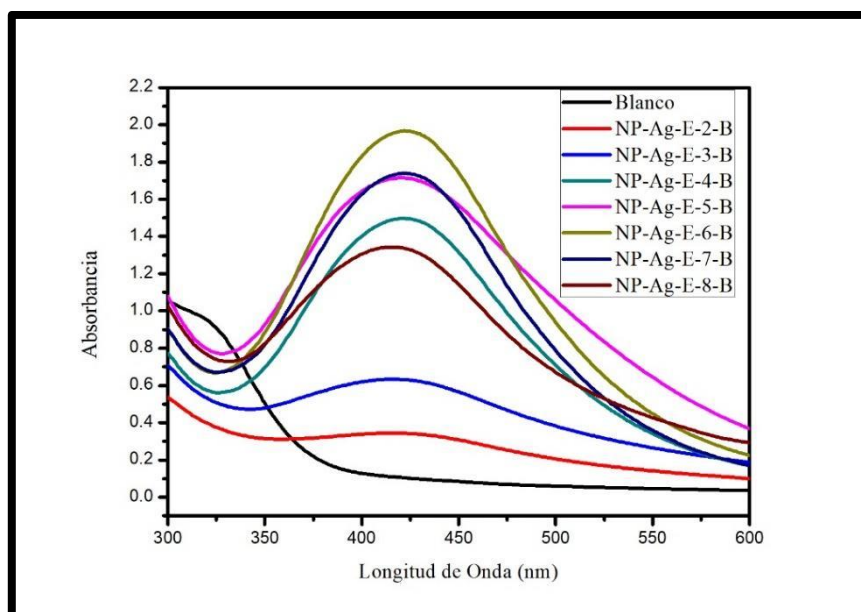


En la Tabla 12, se muestran los resultados del análisis por espectrometría UV Visible de las NP-Ag, sintetizadas a partir del extracto etanólico con  $\text{AgNO}_3$  [ $10 \text{ mmol L}^{-1}$ ], se incluyen los valores de la longitud de onda máxima [400 nm a 600 nm] y la absorbancia.

**Tabla 12.** Longitudes de onda y absorbancias de las NP-Ag a partir del extracto etanólico:  $AgNO_3$  [ $10 \text{ mmol L}^{-1}$ ].

	Longitud de Onda (nm)	Absorbancia
NP-Ag-E-2-B	411	0.344
NP-Ag-E-3-B	412	0.633
NP-Ag-E-4-B	420	1.497
NP-Ag-E-5-B	420	1.715
NP-Ag-E-6-B	422	1.967
NP-Ag-E-7-B	422	1.740
NP-Ag-E-8-B	414	1.344

**Figura 14.** Espectro UV-vis de las NP-Ag obtenidas usando Extracto etanólico:  $AgNO_3$  [ $10 \text{ mmol L}^{-1}$ ].



#### 4.5.1.2. Síntesis de NP-Ag con fracción acetato de etilo y fracción etanólica.

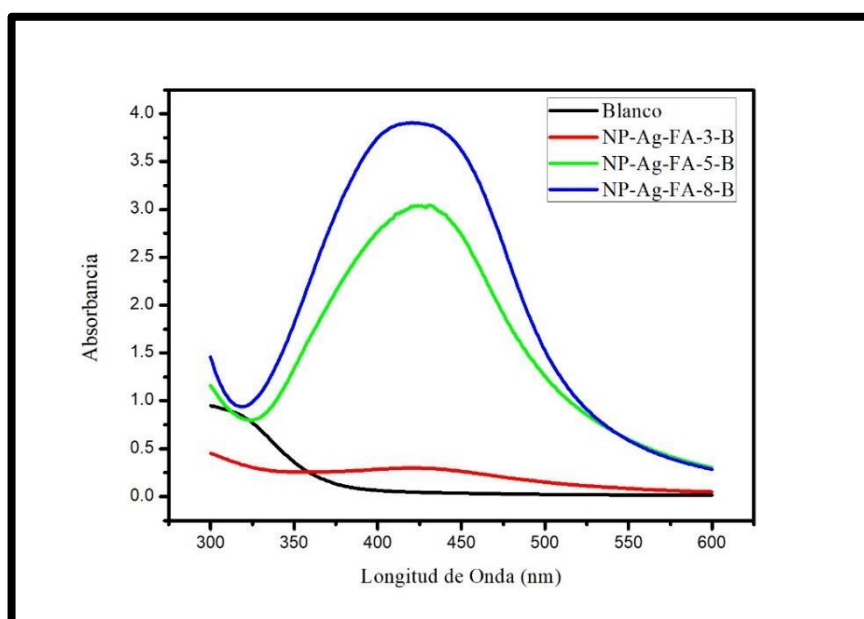
En la Tabla 13, se muestran los resultados del análisis por espectrometría UV-Vis de las NP-Ag, sintetizadas a partir de la fracción de acetato de etilo con  $AgNO_3$  [ $10 \text{ mmol}$

L<sup>-1</sup>], se incluyen los valores de la longitud de onda máxima [400nm a 600nm] y la absorbancia.

**Tabla 13.** Longitudes de onda y absorbancias de las NP-Ag sintetizadas con la fracción de acetato de etilo.

	Longitud de Onda (nm)	Absorbancia
NP-Ag-FA-3-B	420	3.990
NP-Ag-FA-5-B	424	3.039
NP-Ag-FA-8-B	419	0.298

**Figura 15.** Espectro UV-vis de las NP-Ag sintetizadas con la fracción de acetato de etilo.

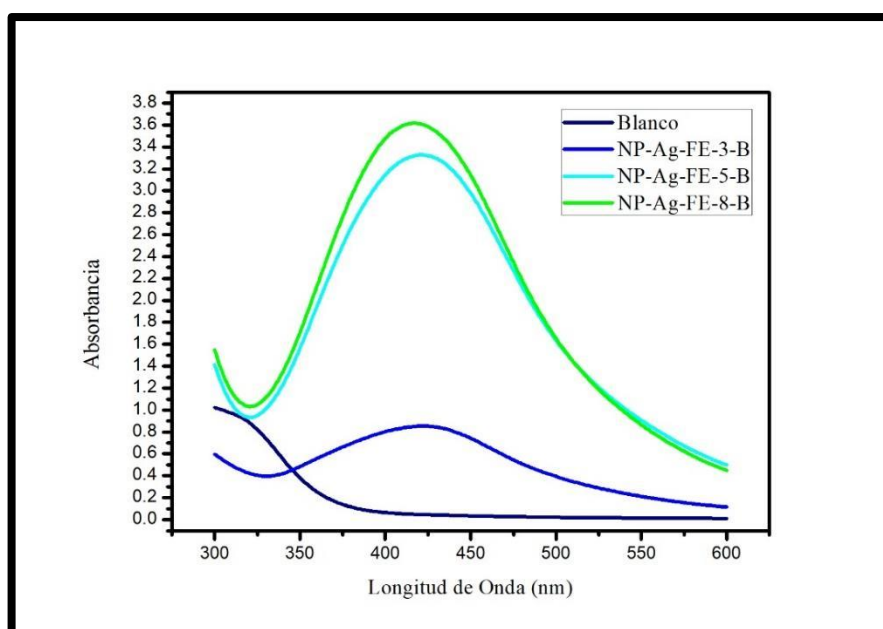


En la Tabla 14, se muestran los resultados del análisis por espectrometría UV-Vis de las NP-Ag, sintetizadas a partir de la fracción etanólica con AgNO<sub>3</sub> [10 mmol L<sup>-1</sup>], se incluyen los valores de la longitud de onda máxima [400 nm a 600 nm] y la absorbancia.

**Tabla 14.** Longitudes de onda y absorbancias de las NP-Ag sintetizadas con la fracción etanólica.

	Longitud de Onda (nm)	Absorbancia
NP-Ag-FE-3-B	421	0.854
NP-Ag-FE-5-B	421	3.356
NP-Ag-FE-8-B	411	3.622

**Figura 16.** Espectro UV-vis de las NP-Ag sintetizadas con la fracción de etanólica.



#### 4.5.2. Dispersión dinámica de luz (DLS)

El tamaño de partículas se confirmó mediante el análisis por Dispersión Dinámica de Luz (DLS) de la mezcla de reacción. El análisis se realizó utilizando el equipo Brookhaven Big sizer 90 Plus.



#### 4.5.2.1. Síntesis de NP-Ag con extracto etanólico.

En las Tablas 15 y 16, se muestran los resultados del análisis por DLS de las NP-Ag, sintetizadas a partir del extracto etanólico con  $\text{AgNO}_3$  [ $1 \text{ mmol L}^{-1}$ ] y  $\text{AgNO}_3$  [ $10 \text{ mmol L}^{-1}$ ] respectivamente, se incluyen los valores de diámetro hidrodinámico y polidispersidad.

**Tabla 15.** DLS de NP-Ag a partir del extracto etanólico con  $\text{AgNO}_3$  [ $1 \text{ mmol L}^{-1}$ ].

	<b>Diámetro hidrodinámico (nm)</b>	<b>Polidispersidad</b>
NP-Ag-E-2-A	104.4	0.296
NP-Ag-E-3-A	102.7	0.295
NP-Ag-E-4-A	120.1	0.303
NP-Ag-E-5-A	126.2	0.353
NP-Ag-E-6-A	101.8	0.315
NP-Ag-E-7-A	111.0	0.318
NP-Ag-E-8-A	154.2	0.309

**Tabla 16.** DLS de NP-Ag a partir del extracto etanólico con  $\text{AgNO}_3$  [ $10 \text{ mmol L}^{-1}$ ].

	<b>Diámetro hidrodinámico (nm)</b>	<b>Polidispersidad</b>
NP-Ag-E-2-B	109.2	0.279
NP-Ag-E-3-B	70.5	0.257
NP-Ag-E-4-B	91.8	0.289
NP-Ag-E-5-B	62.9	0.280
NP-Ag-E-6-B	90.3	0.302
NP-Ag-E-7-B	96.0	0.288
NP-Ag-E-8-B	72.8	0.307

#### 4.5.2.2. Síntesis de NP-Ag con fracción de acetato de etilo y fracción etanólica.

En la Tabla 17, se muestran los resultados del análisis por DLS de las NP-Ag, sintetizadas a partir de la fracción de acetato de etilo con  $\text{AgNO}_3$  [ $10 \text{ mmol L}^{-1}$ ], se incluyen los valores de diámetro hidrodinámico y polidispersidad.

**Tabla 17.** *DLS de NP-Ag a partir de la fracción de acetato de etilo.*

	<b>Diámetro hidrodinámico (nm)</b>	<b>Polidispersidad</b>
NP-Ag-FA-3-B	165.8	0.297
NP-Ag-FA-5-B	78.1	0.292
NP-Ag-FA-8-B	87.7	0.340

En la Tabla 18, se muestran los resultados del análisis por DLS de las NP-Ag, sintetizadas a partir de la fracción etanólica con  $\text{AgNO}_3$  [ $10 \text{ mmol L}^{-1}$ ], se incluyen los valores de diámetro hidrodinámico y polidispersidad.

**Tabla 18.** *DLS de NP-Ag a partir de la fracción etanólica.*

	<b>Diámetro hidrodinámico (nm)</b>	<b>Polidispersidad</b>
NP-Ag-FE-3-B	55.3	0.22
NP-Ag-FE-5-B	52.4	0.228
NP-Ag-FE-8-B	50.5	0.228

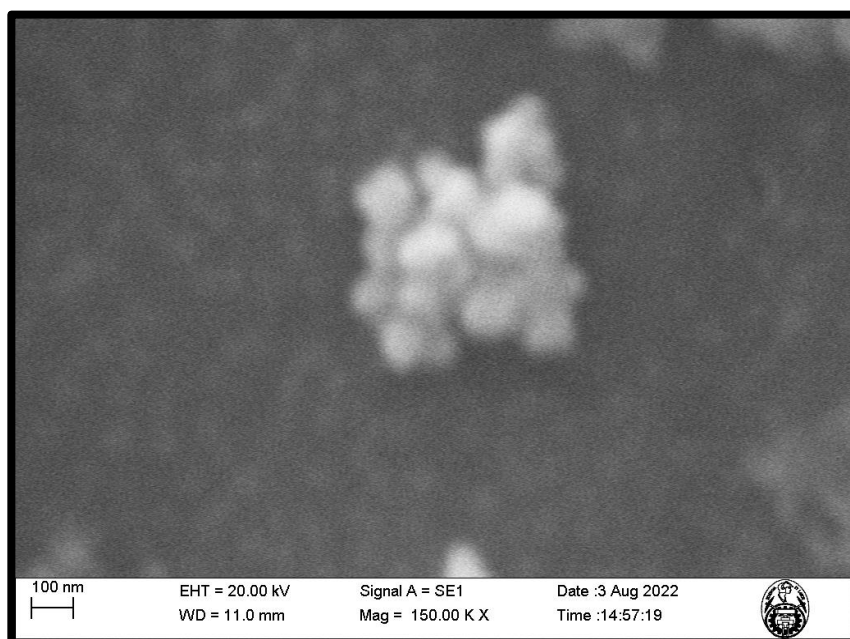
#### 4.5.3. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

La morfología de las NP-Ag obtenidas con el extracto y las fracciones se obtuvo mediante el análisis de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). El análisis se realizó utilizando el equipo Zeiss modelo EVO 10.

##### 4.5.3.1. Extracto etanólico de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav.

En la figura 17 podemos observar la caracterización por SEM de las NP-Ag obtenidas a partir del extracto etanólico, donde se evidencian nanopartículas con una morfología esférica.

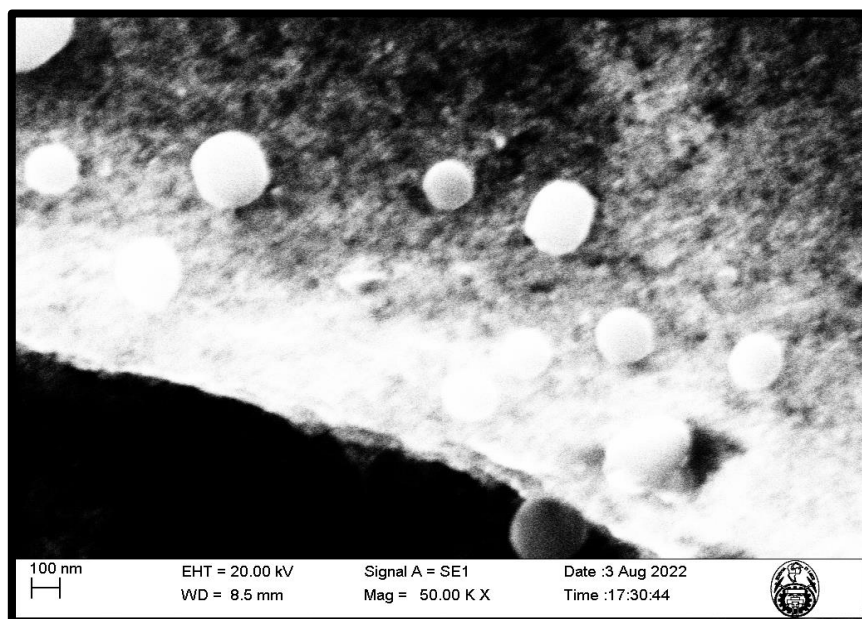
**Figura 17.** SEM de NP-Ag obtenido usando el extracto etanólico.



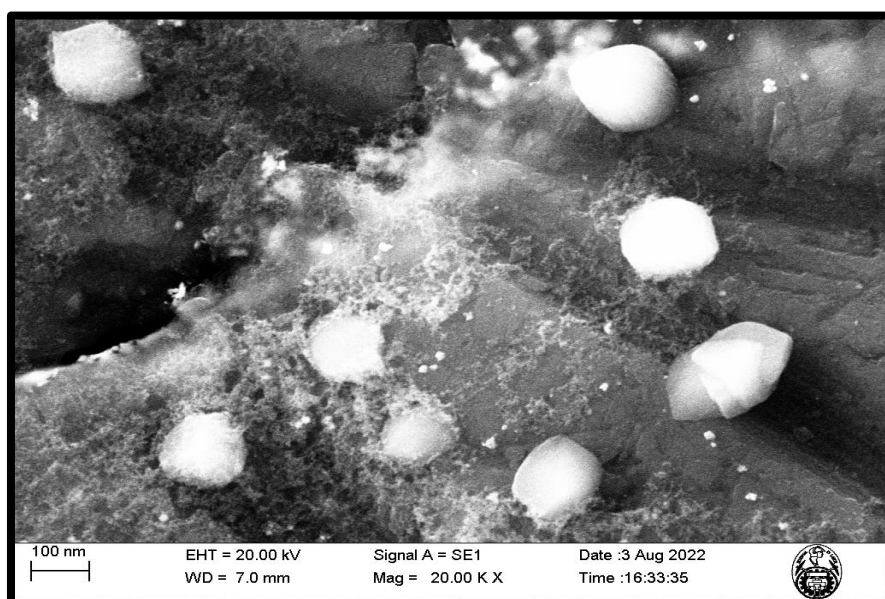
##### 4.5.3.2. Fracción acetato de etilo y etanólica de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav.

En las figuras 18 y 19 podemos observar la caracterización por SEM de las NP-Ag obtenidas a partir de la fracción acetato de etilo y etanólica respectivamente, donde se evidencian nanopartículas con una morfología esférica.

**Figura 18.** SEM de NP-Ag obtenido usando la fracción acetato de etilo.



**Figura 19.** SEM NP-Ag obtenido usando la fracción etanólica.



#### 4.5.4. Espectroscopia de infrarrojo (FT-IR).

La caracterización del extracto y fracción etanólica mediante Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) se realizó usando el equipo IR Prestige-21, Shimadzu.

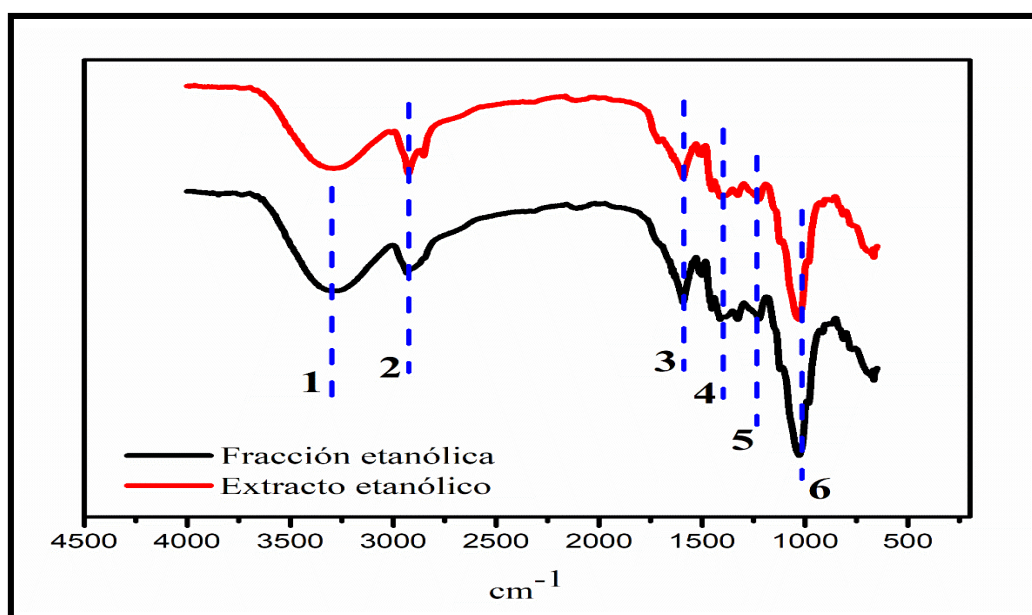
#### 4.5.4.1. Extracto y fracción etanólica de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav.

En la Tabla 19, se muestran los picos característicos y sus grupos funcionales, del extracto y fracción etanólica obtenidos de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav.

**Tabla 19.** Grupos funcionales del extracto y fracción etanólica.

Número de Onda (cm <sup>-1</sup> )	Tipo de enlace
3292	- OH Tensión
2920	- C-H Tensión
1583	C=O
1417	Grupos Nitros
1230	Carbonilo (Torsión)
1038	Aminas alifáticas

**Figura 20.** Espectro FTIR de extracto y fracción etanólica de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav.



## V. Discusión de resultados

La identificación de los compuestos orgánicos (glicósidos, triterpenos, taninos, saponinas y carbohidratos) presentes en la semilla del fruto de *Solanum grandiflorum Ruiz & Pav*, se realizó a partir de la marcha fitoquímica en el extracto etanólico, la cual tuvo como prioridad la identificación los metabolitos con capacidad antioxidante, en donde se confirmó la presencia de carbohidratos, taninos, saponinas, triterpenos y/o esteroides; los cuales pueden usarse como agentes reductores/estabilizantes para la síntesis de NP-Ag. (Niraimathi et al., 2013) Estos resultados contrastan con los estudios de Kaunda et al. (2019) y Daji et al. (2018) quienes realizaron su investigación en el género de *Solanum*, identificando diferentes metabolitos estos incluyen flavonoides, esteroides, saponinas, compuestos fenólicos entre otros. Asimismo, la presencia de los polifenoles según Padilla et al. (2008) reporta que poseen una propiedad reductora, la cual está asociada a su acción a través del rompimiento de la reacción en cadena de los radicales libres por donación de un átomo de hidrógeno. Por lo antes expuesto los polifenoles son idóneos para la síntesis de NPs debido al poder reductor que ejercen en la síntesis de NPs.

Adicionalmente la caracterización del extracto y fracción etanólica por FTIR que se realizó, como se puede observar en la figura 20, permitió la identificación de algunos grupos funcionales como hidroxilo, entre otros, los cuales propician a la formación de NP-Ag, de menor tamaño y estable.

El espectro FTIR del extracto etanólico presentó picos a 3292, 2920, 1583, 1417, 1230 y 1038  $\text{cm}^{-1}$  previamente reportados por otros autores para tipos de enlace - OH (tensión), - C-H (tensión), C=O, grupos nitros, carbonilo (Torsión) y grupos amino alifáticos, respectivamente (Aguilar et al., 2011; Gopinath et al., 2012), las NP - Ag sintetizadas a

partir de compuestos orgánicos (extractos o fracciones de plantas o parte de ellas), suelen estar asociadas a este tipo de enlaces (agentes reductores). Esto podría otorgarles a las nanopartículas Ag sintetizadas, propiedades biotecnológicas distintas a las obtenidas por síntesis química.

La síntesis de NP-Ag requiere de un agente reductor y un agente estabilizante, no obstante, en ocasiones la misma molécula cumple ambas funciones, como es el caso de síntesis por biorreducción. Sin embargo, existen otros factores que afectan en el tamaño y forma de las NPs, tales como temperatura, pH del medio y del extracto, concentraciones del extracto y solución acuosa de la sal precursora. La formación de NP-Ag se evidenció inicialmente con el viraje de incoloro a amarillo/marrón, para el extracto y cada una de las fracciones usadas. (Cardeño y Londoño, 2014; Grandez-Arias, 2016) Debido a que el agente reductor se oxida y pierde un electrón (o más de uno) mientras que el agente oxidante, en este caso el ion  $\text{Ag}^+$  se reduce a  $\text{Ag}^0$ . Al formarse los átomos  $\text{Ag}^0$ , desaparecen las fuerzas de repulsión presentes entre los cationes  $\text{Ag}^+$ , lo que favorece la agrupación de los átomos de plata en la formación de núcleos y posterior crecimiento, formando NP-Ag; no obstante, cuando una NP rebasa el radio crítico (tamaño mínimo de NP a partir del cual es termodinámicamente estable) se favorece su crecimiento de manera espontánea. Finalmente, los compuestos presentes en el extracto y/o fracción recubren las superficies de las nanopartículas hasta llegar a un equilibrio, debido a que reducen la energía en la interfase NP-solvente (tensión superficial) deteniendo el proceso de crecimiento de las NPs y evitando la agregación. (Perales y Travezaño, 2019)

Mediante los espectros UV-Vis se observa la resonancia de plasmones superficiales de las NP-Ag formadas en el rango de 400 a 420 nm (Tablas 11, 12, 13 y 14), lo cual se debe a la oscilación de electrones alrededor de la superficie de las nanopartículas. Por otro lado, se confirma que los extractos o fracciones obtenidos de *Solanum grandiflorum*

Ruiz & Pav. cumplen con la función de agente reductor y estabilizador en el proceso de síntesis, ya que la reducción fue instantánea y no ocurre cambio espectral después del tiempo transcurrido, indicando la finalización del proceso redox (Siddiqi et al., 2018). No obstante, se detalla que el pico de absorción es influenciado por las diferentes concentraciones del agente reductor dado que se vuelve más nítido cuando la concentración del extracto o fracción aumenta (Figura 13, 14, 15 y 16), este cambio indica una reducción en el diámetro medio de las NP-Ag. Mientras que la banda de resonancia del plasmón superficial con forma angosta indica la formación de NP-Ag esféricas y homogéneas, esto se confirmó más adelante por las imágenes del SEM (Figura 17 y 18) (Khalil et al., 2013; Siddiqi et al., 2018; Choi et al. 2018).

Por otro lado, el DLS no solo permitió confirmar el tamaño promedio de Np, sino que además permitió confirmar que las NP-Ag sintetizadas presentan una nucleación homogénea (Taylor and Francis Group, LLC, 2010), en las Tabla 15, 16, 17 y 18 se reportan índices de polidispersidad inferior al 0.35 este índice es una medida de heterogeneidad de la muestra basado en el tamaño de las partículas que la componen; concluyendo que se trata de una muestra moderadamente monodispersa. Es decir, los aglomerados poseen una moderada distribución de tamaños, ya que los valores próximos a cero indican que la muestra es monodispersa mientras que valores cercanos a uno indican una muestra con gran variedad de tamaños presentes (Alvear et al 2017; Mudalige et al., 2019).

Además a partir del extracto etanólico entre diferentes concentraciones del agente precursor a 1 mmol L<sup>-1</sup> y 10 mmol L<sup>-1</sup> en las Tablas 15 y 16, respectivamente; se observa que a menor concentración de agente precursor el diámetro hidrodinámico promedio de las NP-Ag se encuentra entre 100 nm a 160 nm, caso contrario ocurre a mayor concentración de agente precursor con un rango entre 60 nm a 110 nm; para ambos casos



no se descarta la presencia de NPs con un tamaño inferior; lo cual confirmaría la condición óptima de la concentración de agente precursor ( $\text{AgNO}_3$   $10 \text{ mmol L}^{-1}$ ) para la síntesis.

Así también, se realizó una comparación en diferentes relaciones v/v entre agente reductor/precursor, a fin de obtener un menor tamaño promedio, como se puede observar en la Tabla 6 se trabajó con diferentes relaciones (2:1, 3:1, 4:1, 5:1, 6:1, 7:1 y 8:1) para las NPs obtenidas a partir del extracto etanólico, por otro lado se trabajó con relaciones v/v de 3:1, 5:1 y 8:1 para las NPs obtenidas a partir de las fracción acetato de etilo y fracción etanólica, en donde se pudo observar que los mejores resultados se obtuvieron cuando es mayor el volumen de agente reductor (extracto o fracciones) (Khalil et al., 2013), esto se debe a que los agentes estabilizantes (compuesto polifenólicos) se adsorben a la superficie de la NP-Ag, lo que reduce la energía en la interfase NP-solvente (tensión superficial) deteniendo el proceso de crecimiento de las NPs y evitando la agregación de estas. La relación entre las concentraciones del agente estabilizante/precursor de plata, es importante para lograr una estabilización adecuada de las NPs. (Polte, 2015)

Al comparar los resultados obtenidos en la síntesis de NP-Ag con las fracciones (acetato de etilo y etanólica) y la misma concentración del agente precursor ( $10 \text{ mmol L}^{-1}$ ) (Tabla 17 y 18 respectivamente) se destaca un menor tamaño de diámetro hidrodinámico promedio de las NP-Ag, para la fracción etanólica entre 50 nm a 60 nm (Avalos et al., 2013), mientras que para la fracción acetato se encuentra entre 70 nm a 170 nm; esto se encuentra relacionado con la concentración de compuestos polifenólicos en la fracción etanólica, siendo estos compuestos los que juegan el papel de agentes reductores debido a que presentan estructuras químicas que les confieren mayor potencial reductor, protección y estabilidad, por lo cual son los metabolitos más importantes en la síntesis verde de nanopartículas. (Santos-Espinoza et al., 2020)

La fracción etanólica indica un índice de polidispersidad inferior es 0.25, evidenciando que un fraccionamiento (purificación) del extracto y un mayor volumen de la fracción etanólica (v/v), permitiría tener nanopartículas con un diámetro hidrodinámico inferior a 60 nm y monodispersa, debido a la eliminación de moléculas interferentes con las diferentes separaciones líquido-líquido.

Finalmente, las imágenes obtenidas por SEM, tal como se observan en las figuras 17, 18 y 19 proporcionan las características morfológicas de las AgNPs sintetizadas a partir del extracto etanólico, la fracción acetato de etilo y fracción etanólica respectivamente, obtenidas de semillas de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. En las figuras 17, 18 y 19 se observan la forma esférica de las AgNPs las cuales están recubiertas por los metabolitos (compuesto polifenólicos) que participan en el proceso reducción – oxidación.

## VI. Conclusiones

a) Los agentes reductores y estabilizantes presentes en el extracto y fracciones de las semillas del fruto de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. permitieron sintetizar NP-Ag. La formación de NP-Ag se evidenció mediante la coloración amarillo intenso, y la formación de la banda de absorción característica del plasmón superficial de las NP-Ag mediante la técnica UV-VIS, la cual presenta una mejor definición cuando el volumen del extracto es superior al agente precursor ( $\text{AgNO}_3$ ). La variación de la concentración de la solución de  $\text{AgNO}_3$  [ $1 \text{ mmol L}^{-1}$  o  $10 \text{ mmol L}^{-1}$ ] y el uso de fracciones del extracto obtenido de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav., nos evidencia la obtención de NP-Ag con diferente rango diámetro hidrodinámico promedio, obteniendo el mejor resultado al usar la fracción etanólica y la solución de  $\text{AgNO}_3$  [ $10 \text{ mmol L}^{-1}$ ] y a una relación v/v de 8:1; lo cual se debe a que existe una estabilización electrostática o estérica de las NPs metálicas. El uso de la fracción etanólica como agente reductor evidencia a partir del DLS, que se obtuvo NP-Ag con un radio hidrodinámico promedio inferior a 60 nm, lo cual podría ser una mejora en la técnica de síntesis verde a partir de las semillas de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav., e importancia del fraccionamiento de los compuestos orgánicos presentes (metabolitos secundarios).

b) Se logró concluir con los resultados obtenidos que los parámetros fisicoquímicos óptimos para la síntesis de nanopartículas de plata con extracto o fracción de semilla del fruto de la especie vegetal *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. son los siguientes: pH= 7, T° ambiente, concentración de  $\text{AgNO}_3$  de  $10 \text{ mmol L}^{-1}$ , relación V: V (Extracto o fracción:  $\text{AgNO}_3$ ) 8:1 con una agitación de 300 rpm por un tiempo de 30 minutos.

c) Las caracterizaciones mediante las técnicas de: UV-VIS, DLS y SEM de las NP-Ag obtenidas a partir del extracto etanólico y fracciones de las semillas de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav., permitieron evidenciar la formación de nanopartículas de plata (NP-Ag) esféricas en su mayoría, en un rango de tamaño de 50 a 160 nm. La caracterización mediante la técnica FTIR de la fracción y extracto etanólico obtenidos a partir de la semilla de *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav., da la certeza de la presencia de diferentes grupos funcionales, los cuales cumplen la función de reducir y estabilizar los iones  $\text{Ag}^+$ , a fin de obtener un tamaño inferior de 100 nm.

## VII. Recomendaciones

- a) Realizar la caracterización de los componentes del extracto por el método de HPLC para conocer el tipo de compuesto específico encargado de la síntesis de las nanopartículas.
  
- b) Evaluar la influencia de la temperatura de síntesis en diferentes niveles y otras variables como el pH del extracto a utilizar en la síntesis de nanopartículas de plata, en relación al tamaño de las partículas de la planta obtenidas.
  
- c) Estudiar el efecto tóxico de las nanopartículas de plata en función a su tamaño y cantidad de aplicación en muestras de agua para su uso para consumo humano.

## VIII. Referencias

- Aguilar M. (2019). “Síntesis verde de nanopartículas de Ag, Au, Cu<sub>2</sub>O y preparación convencional de nanoestructuras de Cu, Cu<sub>2</sub>O Y CuO en diferentes morfologías para la evaluación de sus propiedades catalíticas y ópticas” Instituto de investigación en metalurgia y materiales.
- Aguilar, M, San Martín, E, Ortega, L, Cobián, G y Sanchez, E. (2011). “Synthesis and characterization of silver nanoparticles: effect on phytopathogen *Colletotrichum gloeosporioides*.” *Journal of Nanoparticle Research*, Volume 13, Issue 6, pp.2525-2532.
- Ahmed, Shakeel et al. (2015). “Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Azadirachta Indica* Aqueous Leaf Extract”. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences* 9(1): 1–7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrras.2015.06.006>.
- Amin, Muhammad et al. (2012). “Green Synthesis of Silver Nanoparticles through Reduction with *Solanum Xanthocarpum* L. Berry Extract: Characterization, Antimicrobial and Urease Inhibitory Activities against *Helicobacter Pylori*.” *International Journal of Molecular Sciences* 13(8): 9923–41.
- Andrade-Bustamante, Gabriela et al. (2017). “Estudio Del Potencial Biocontrolador de Las Plantas Autóctonas de La Zona Árida Del Noroeste de México: Control de Fitopatógenos.” *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 49(1): 127–42.
- Alvear D.; Galeas S., Guerrero V.H., Debut A. (2017). “Síntesis y Caracterización de Nanopartículas de Magnetita” *Revista Politécnica* - Julio 2017, Vol. 39, No. 2.

- Arenas Ramos, Cristina. (2017). “Síntesis De Nanopartículas Metálicas a Partir De Extractos De Raspo De Uva”. 1:79.
- Arias, Fernando Grandez. (2016). “Síntesis, Caracterización Estructural y Actividad Antimicrobial de Nanopartículas de Cobre Recubiertas Con Plata (Cu@Ag) Obtenidas Por Electroless Plating.” *Repositorio de Tesis - UNMSM*: 1–5.
- Ávalos García, A & Pérez-Urria Carril, Elena. 2009. “Metabolismo Secundario de Plantas.” *Reduca* 2(3): 119–45.
- Ávalos, A, Haza, AI, Mateo, D y Morales, P. (2013). “NANOPARTÍCULAS DE PLATA: APLICACIONES Y RIESGOS TÓXICOS PARA LA SALUD HUMANA Y EL MEDIO AMBIENTE.” *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias* 11(1): 81–108.
- Avalos Funez A., Haza Duaso A. y Morales Gomez P. (2016). “NANOTECNOLOGIA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA I: APLICACIONES.” *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias* 10 (2) 2016: 1-17.
- Barros, Renata Priscila Costa et al. (2018). “Virtual Screening of Secondary Metabolites of the Genus Solanum with Potential Antimicrobial Activity.” *Brazilian Journal of Pharmacognosy* 28(6): 686–91. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2018.08.003>.
- Berlanga, I. (2013). “Síntesis y caracterización de nanomateriales 0D, 1D y 2D” Universidad Autónoma de Madrid.
- Bonatto, C. C., Silva; L. P. (2014). “Higher temperatures speed up the growth and control the size and optoelectrical properties of silver nanoparticles greenly synthesized by cashew nutshells”. *Industrial Crops and Products*. v. 58, p. 46-54.

- Bowles, Jane M. (2004). "Guide to plant collection and identification." Castanea.
- Camacho Polo J., Deschamps Mercado L. (2013). "Síntesis de nanopartículas de plata y modificación con pulpa de papel para aplicación antimicrobial". *UNIVERSIDAD DE CARTAGENA FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA CARTAGENADE INDIAS, D. T. y C.*
- Campos, B. (2011). "Síntesis y caracterización de los sistemas Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> por molienda mecánica". (Proyecto de fin de carrera, Universidad Carlos III de Madrid). Recuperado de Biblioteca Digital uc3m. <https://e-archivo.uc3m.es/>
- Cañon, T., Menco, M. (2018). Estudio fitoquímico de la especie vegetal solanum crinitipes dunal (solanaceae) y evaluación de uso como agente antimicrobiano. (Tesis). Recuperado del Repositorio Digital de la U.D.C.A. <http://www.>
- Cardeño, Lukas, and Martha E Londoño. (2014). "Síntesis Verde de Nanopartículas de Plata Mediante El Uso Del Ajo (Allium Sativum)." *Revista Soluciones de postgrado EIA* 101(2): 129–40. <http://www.rac.es/ficheros/doc/00547.pdf>.
- Cardoso, Patricia C. (2016). "Nanopartículas de plata: obtención, utilización como antimicrobiano e impacto en el área de la salud" *Rev. Hosp. Niños (B. Aires)* 2016; 58(260):19-28 / 19.
- Castro-Restrepo D. (2017). "Nanotecnología en la agricultura" *Bionatura* Volumen 2 / Número 3.
- Chen, X., and H. J. Schluesener. (2008). "Nanosilver: A Nanoproduct in Medical Application." *Toxicology Letters* 176(1): 1–12.



- Cohen, Michael S. et al. (2007). "In Vitro Analysis of a Nanocrystalline Silver-Coated Surgical Mesh." *Surgical Infections* 8(3): 397–403.
- Daji, Grace, Paul Steenkamp, Ntakadzeni Madala, and Bhekisisa Dlamini. (2018). "Phytochemical Composition of Solanum Retroflexum Analysed with the Aid of Ultra-Performance Liquid Chromatography Hyphenated to Quadrupole-Time-of-Flight Mass Spectrometry (UPLC-QTOF-MS)." *Journal of Food Quality* 2018.
- Esquivel-Figueroa, R.; Siannah María. M. (2020). "Síntesis biológica de nanopartículas de plata: revisión del uso potencial de la especie Trichoderma" *Rev. Cubana Quím.* Vol.33, no.2 mayo-agosto 2021, 23.
- Fernández, T. (2017). "Estudio de las aplicaciones biomédicas de las nanopartículas de plata". *Universidad de Sevilla*.
- Galarza, M. (2009). "Nanociencia, nanotecnología y su desarrollo en el Perú". *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*.
- GBIF (Global Biodiversity Information Facility). (2015). GBIF secretariat: GBIF backbone taxonomy.
- Gómez, Gerardo Leyva. (2013). "Nanopartículas de Plata: Tecnología Para Su Obtención, Caracterización y Actividad Biológica." *Investigación en Discapacidad* 2(1): 20–22.
- Gomez M. (2018). "Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde" *REPERT MED CIR.* 2018; 27(2):75-80.

Grandez-Arias, F. (2016). “Síntesis, caracterización estructural y actividad antimicrobial de nanopartículas de cobre recubiertas con plata (Cu@Ag) obtenidas por electroless plating”. *UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS*.

Guzmán Duxtan, A.; Rengifo Maravía, J; Echevarría Muñoz, J.(2021). “Síntesis y caracterización de nanopartículas de cobre (nps cu) por el método poliol asistido vía microondas (MW)” *Rev Soc Quím Perú*. 86(4).

Hernández Díaz, Marco Polo. (2013). “Síntesis De Nanopartículas De Plata Biológicamente Asistida Con Opuntia Sp. Y Su Incorporación En Membranas Poliméricas Nanofibrosas.”: 156.  
[https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/64/1/Tesis de maestria Marco Polo Hernadez.pdf](https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/64/1/Tesis%20de%20maestria%20Marco%20Polo%20Hernandez.pdf).

Hernandez, C & Quiroz, D. (2015). “GRAFENO: ESTADO DEL ARTE” CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS, S. C.

Iniesta, L. (2020). “Obtención de nanopartículas fotoluminiscentes de carbono a partir de la fragmentación de negro de carbono utilizando pulsos láser”. *UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO*.

Kaunda, Joseph Sakah, and Ying Jun Zhang. (2019). 9 Natural Products and Bioprospecting *The Genus Solanum: An Ethnopharmacological, Phytochemical and Biological Properties Review*. Springer Singapore.  
<https://doi.org/10.1007/s13659-019-0201-6>.

Khalil, Mostafa M.H., Eman H. Ismail, Khaled Z. El-Baghdady, and Doaa Mohamed. (2013). “Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Olive Leaf Extract and Its

Antibacterial Activity.” *Arabian Journal of Chemistry* (2014) 7(6): 1131–39.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.04.007>.

Ledezma, A. et al. (2014). “Síntesis Biomimética de Nanopartículas de Plata Utilizando Extracto Acuoso de Nopal (*Opuntia Sp.*) y Su Electrohilado Polimérico.” *Superficies y Vacío* 27(4): 133–40.

Lopez, M. (2020). “DESARROLLO DE NANOPARTÍCULAS DE QUITINA CAPACES DE INGRESAR, CIRCULAR Y ACTIVAR SEÑALES EN PLANTAS RELACIONADAS CON DEFENSA TEMPRANA”. *UNIVERSIDAD DE CHILE*.

Luna, A. (2012). “Síntesis y Caracterización de Óxidos Mixtos Cu-Ti por el Método de Microemulsión Inversa con Aplicaciones en Fotocatálisis”. INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS SECCION DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN.

Makarov V., Love A., Sinitsyna O., Makarova S., Yaminsky I., Taliansky M. and Kalinina N. (2014). ““Green” Nanotechnologies: Synthesis of Metal Nanoparticles Using Plants.” *Acta naturae*. VOL. 6 N°1 (20).

Mashwani, Zia ur Rehman, Mubarak Ali Khan, Tariq Khan, and Akhtar Nadhman. (2016). “Applications of Plant Terpenoids in the Synthesis of Colloidal Silver Nanoparticles.” *Advances in Colloid and Interface Science* 234(March 2018): 132–41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cis.2016.04.008>.

- Marin, Fernis J., Omar L. Torres, Sara M. Robledo, and Maria E. Doria. (2018). “Estudio Fitoquímico y Evaluación de la Actividad Antioxidante y Leishmanicida de la Especie *Pilocarpus alvaradoi* (Rutaceae) *Informacion Tecnologica* 29(3): 177–86.
- Marquez, J. (2020). “SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA Y ORO IMPREGNADAS EN CELULOSA BACTERIANA CON APLICACIÓN ANTIMICROBIANA”. *Universidad Católica de Santa María*.
- Medina, M. et al. (2015). “Las Nanoparticulas Y El Ambiente.” *Universidad, ciencia y tecnología* Vol. 19: 49–58.
- Mittal, Amit Kumar, Yusuf Chisti, and Uttam Chand Banerjee. (2013). “Synthesis of Metallic Nanoparticles Using Plant Extracts.” *Biotechnology Advances* 31(2): 346–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.01.003>.
- Morales, J; Morán, J; Quintana, M; Estrada, W. (2009). “Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata por la ruta sol-gel a partir de nitrato de plata” *Rev Soc Quím Perú*. 75 (2).
- Monge Oroz, Miguel. (2009). “Nanopartículas de Plata: Métodos de Síntesis En Disolución y Propiedades Bactericidas.” *Anales de la Real Sociedad Española de Química* (1): 33–41.
- Mosquera, E.; Rosas, N.; Debut, A.; Guerrero, V.H. (2015). “Síntesis de Nanopartículas de Dióxido de Titanio Obtenidas por el Método de Sol-Gel”. *Revista Politécnica* - Septiembre 2015, Vol. 36, No. 3.

- MUDALIGE, T., et al. (2019). “Chapter 11-Characterization of Nanomaterials: Tools and Challenges”. En: LÓPEZ RUBIO, A.; FABRA ROVIRA, M.J.; MARTÍNEZ SANZ, M.; GÓMEZ-MASCARAQUE, L.G. eds. *Nanomaterials for Food Applications*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2019, pp. 313-353. ISBN 978-0-12-814130-4
- Nagaich, Upendra, Neha Gulati, and Swati Chauhan. (2016). “Antioxidant and Antibacterial Potential of Silver Nanoparticles: Biogenic Synthesis Utilizing Apple Extract.” *Journal of Pharmaceutics*. 1–8.
- Neira García, I. (2015). “Síntesis verde de nanopartículas para la eliminación de colorantes en medios acuosos.” Trabajo de Fin de Grado, Universidade da Coruña, Departamento de Química Física e Ingeniería Química I, La Coruña, España.
- Ndeh, Nji Tsi, Santi Maensiri, and Duangkamol Maensiri. (2017). “The Effect of Green Synthesized Gold Nanoparticles on Rice Germination and Roots.” *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology* 8(3).
- Niraimathi KL, Sudha V, Lavanya R, Brindha P. (2013). “Biosíntesis de nanopartículas de plata usando extracto de *Alternanthera sessilis* (Linn.) y sus actividades antimicrobianas y antioxidantes”. *Biointerfaz Coll Surf B*. 2013; 102:288–91.
- Orozco, C.I., A. Alba, G. Beltrán, A. Orejuela, Y. Sarmiento & J.M. Vélez 2021-2-18. *Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav. En Bernal, R., S.R. Gradstein & M. Celis (eds.). (2015). “Catálogo de plantas y líquenes de Colombia”. *Instituto de Ciencias Naturales*, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

- Pacioni, Natalia L, Claudio D Borsarelli, Valentina Rey, and Alicia V Veglia. (2015). “Fabrication and Design of Medical and Biosensing Devices Silver Nanoparticle Applications”.
- Padilla, F. C, Rincón, A. M, Bou-Rached, L. (2008). “Contenido de polifenoles y actividad antioxidante de varias semillas y nueces” *ARCHIVOS LATINOAMERICANOS DE NUTRICION Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición* Vol. 58 Nº 3.
- Patel, Reena, Aditi Patel, A Desai, and Anju Nagee. (2012). “Study of Secondary Metabolites and Antioxidant Properties of Leaves, Stem and Root among Hibiscus Rosa-Sinensis Cultivars.” *Asian J. Exp. Biol. Sci* 3(4): 719–25.
- Perales Ticllacuri, Juan Vladimir, & Marsia Edith Neyra Travezaño. (2019). “Caracterización de Nanopartículas de Plata Obtenidas Mediante Síntesis Biogénica Usando Extracto de Coffea Arabica Procedente de Satipo - Junín Para Uso Antimicrobiano.” : 1–110. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5396>.
- Pereira, Thamer Matias et al. (2014). “Larvicidal Activity of the Methanol Extract and Fractions of the Green Fruits of Solanum Lycocarpum (Solanaceae) against the Vector Culex Quinquefasciatus (Diptera: Culicidae).” *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 47(5): 646–48.
- Polte J. (2015). “Fundamental growth principles of colloidal metal nanoparticles – a new perspective” *CrystEngComm*, 2015, 17, 6809.
- Ramkumar, Vijayan Sri et al. (2017). “Biofabrication and Characterization of Silver Nanoparticles Using Aqueous Extract of Seaweed Enteromorpha Compressa and Its Biomedical Properties.” *Biotechnology Reports* 14: 1–7.

- Rastogi, A., Singh, P., Haraz, F. A., & Barhoum, A. (2018). Biological synthesis of nanoparticles: an environmentally benign approach. En A. Barhoum, & A. S. Hamdy Makhoulf (Edits.), *Fundamentals of Nanoparticles: Classifications, Synthesis Methods, Properties and Characterization* (Primera ed., págs. 571-604). Elsevier. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-51255-8.00023-9>.
- Reverberi, A. P. et al. (2016). "Systematical Analysis of Chemical Methods in Metal Nanoparticles Synthesis." *Теоретические Основы Химической Технологии* 50(1): 63–70.
- Rodrigues, Dryelle Vieira & Abreu Lima Renato. (2014). "Estudo Fitoquímico e o Efeito Do Extrato Etanólico Das Folhas de Solanum Grandiflorum Ruiz Sobre Candida Albicans in Vitro/PHYTOCHEMICAL ANALYSIS AND THE EFFECT OF ETHANOL EXTRACT FROM THE LEAVES OF Solanum Grandiflorum RUIZ ON Candida..." *Saúde e Pesquisa* 7(2).
- Rodriguez, A. (2018). "Síntesis de nanomateriales óxido magnético-TiO<sub>2</sub> por estrategias del método de reacción en microemulsión aceite-en-agua y su evaluación" fotocatalítica en la producción de H<sub>2</sub>" Centro de Investigación en Materiales Avanzados.
- Salguero Salas, Marcelo Alexander. (2016). "Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata usando como reductores extractos de menta (*Origanum vulgare*) y cilantro (*Coriandrum sativum*), y como funcionalizante el látex de sangre de drago (*Croton lechleri*)" (Tesis de Disertacion, Pontificia universidad católica del ecuador). Recuperado del Repositorio Digital Red de Repositorios Latinoamericanos. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/>

- Sánchez Moreno, Minerva. (2017). “Módulo De Química Inorgánica E Ingeniería Química Nanopartículas De Plata : Preparación, Caracterización Y Propiedades con aplicación en inocuidad de los alimentos”.
- Santos-Espinoza, A, Gutiérrez-Miceli. F, Ruíz-Valdiviezo,V y Montes-Molina, J. (2020). “El papel de los compuestos polifenólicos en la síntesis verde de nanopartículas metálicas”. *BioTecnología*, Vol. 24, No. 2.
- Seyyednejad, Seyyed Mansour, Haniyeh Koochak, Esmail Darabpour, and Hossein Motamedi. (2010). “A Survey on Hibiscus Rosa-Sinensis, Alcea Rosea L. and Malva Neglecta Wallr as Antibacterial Agents.” *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine* 3(5): 351–55.
- Siddiqi, Khwaja Salahuddin, Azamal Husen, and Rifaqat A.K. Rao. (2018). “A Review on Biosynthesis of Silver Nanoparticles and Their Biocidal Properties.” *Journal of Nanobiotechnology* 16(1).
- Sifontes, Ángela B. (2014). “Biosíntesis de Nanomateriales: Hacia El Avance de La Nanotecnología Verde.” *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología* 7(13).
- Shen, J., & Shao, X. (2005). A comparison of accelerated solvent extraction, Soxhlet extraction, and ultrasonic-assisted extraction for analysis of terpenoids and sterols in tobacco. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 383(6), 1003– 1008.  
<https://doi.org/10.1007/s00216-005-0078-6>



- Swilam, Noha, and Khaled A. Nematallah. (2020). "Polyphenols Profile of Pomegranate Leaves and Their Role in Green Synthesis of Silver Nanoparticles." *Scientific Reports* 10(1): 1–11.
- Taylor and Francis Group, LLC. (2010). "Colloidal Dispersion of Metallic Nanoparticles: FOrmation and Functional Propierties". En R. Hidalgo Álvarez (Ed.), *Structure and Functional Properties of Colloidal Systems* (Vol. 146). united States of America: CRC Press. Recuperado el 23 de mayo de 2019.
- V Gopinath , D MubarakAli, S Priyadarshini, N Meera Priyadharsshini, N Thajuddin y P Velusamy. (2012). "Biosynthesis of silver nanoparticles from *Tribulus terrestris* and its antimicrobial activity: a novel biological approach." *Colloids Surf B Biointerfaces*. 2012 Aug 1;96:69-74. <https://doi: 10.1016/j.colsurfb.2012.03.023>.
- Vilchis-Nestor A.R. et al. (2008). "Solventless synthesis and optical properties of Au and Ag nanoparticles using *Camellia sinensis* extract" *Materials Letters* 62: 3103–3105.
- Zanella R. (2012). "Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño" *Mundo Nano* Vol. 5, No. 1, enero-junio
- Zuñe Da Silva, Luis F. (2016). "Diversidad de La Familia Solanaceae En Dos Áreas Naturales Protegidas Del." *Rev. Ciencia, Tecnología y Humanidades* 7(1): 11–24.

## IX. Anexos

### 9.1. Constancia de clasificación taxonómica *Solanum grandiflorum* RUIZ & PAV.



**"Año de la universalización de la salud"**

**UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA**



**CONSTANCIA DE CLASIFICACIÓN TAXONOMICA**

**INVESTIGADORA PRINCIPAL**

Nora Gabriela Herrera Hernández

**"Actividad de nanopartículas metálicas con terpenos de *Solanum grandiflorum* en el control de la plaga del *Zea mays* L. (maíz) por *Spodoptera frugiperda*"**

**Contrato número:**

N° 397-2019-2019-FONDECYT LIMA-PERÚ

2020



**UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS**  
 Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA  
**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA**  
 Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura (IVITA)  
 Estación Experimental Pucallpa



"Año de la lucha contra la Corrupción e Impunidad"

HERBARIO REGIONAL DE UCAYALI IVITA PUCALLPA HIRUIP

### CONSTANCIA

Por el presente dejo constancia que las muestras botánicas presentada por el **Proyecto de Investigación Básica N° 397 – 2019 – FONDECYT - CONCYTEC**, pertenece a la especie: ***Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav.**

Clase: Equisetopsida  
 Sub clase: Magnoliidae  
 Orden: Solanales  
 Familia: Solanaceae  
 Género: Solanum  
 Especie: ***Solanum grandiflorum* Ruiz & Pav.**  
 N.V.: Sicahuito

Se expide la presente constancia para los fines convenientes del solicitante.

Pucallpa 16 de octubre del 2020



Dra. Zoyia Mirella Clavo Peralta  
 Responsable del Herbario Regional de Ucayali – IVITA Pucallpa  
 Registro CBP No. 1187