

Verbesina crocata como agente biosintético de nanopartículas de plata/cloruro de plata y su evaluación en plántulas de rábano

Verbesina crocata as a biosynthetic agent of silver/silver chloride nanoparticles and its evaluation in radish seedlings

A. D. Ramírez-Herrera ^{a, b, *}, J. de J. Ceja-Buenrostro ^b, A. Miranda-Torres ^b, F. J. Reynoso-Marín ^b

^a Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Michoacán, 59510, Jiquilpan, Michoacán México.

^b Ingeniería en Nanotecnología, Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo, 59103, Sahuayo, Michoacán, México.

Resumen

La biosíntesis mediada por extractos de plantas promete ser un método sostenible para sintetizar nanomateriales. Es sabido que las biomoléculas presentes en extractos de plantas favorecen la formación de nanopartículas (NP's) a la vez que las estabilizan y funcionalizan. Por tanto, el uso de plantas utilizadas en la herbolaria mexicana puede brindar a los nanomateriales obtenidos un gran impacto, como es el caso de *Verbesina crocata* (capitaneja). El objetivo del presente trabajo es reportar la biosíntesis de nanopartículas de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl-NP's) mediada por *V. crocata*, su caracterización y actividad fitotóxica en semillas de *Raphanus sativus*. Se encontró que los extractos acuosos de capitaneja son capaces de generar nanoestructuras, así como presentar efectos alelopáticos que disminuyen el desarrollo de *R. sativus*. En cambio, las Ag/AgCl-NP's obtenidas presentan fitotoxicidad dependiente de la concentración en *R. sativus*. Los extractos de *V. crocata* son una alternativa viable para la biosíntesis de Ag/AgCl-NP's.

Palabras Clave:

Capitaneja, Síntesis verde, Fitotoxicidad, Nanotoxicidad, Herbolaria mexicana.

Abstract

Plant extract-mediated biosynthesis promises to be a sustainable method for synthesizing nanomaterials. It is well known that biomolecules present in plant extracts promote the formation of nanoparticles (NP's) while stabilizing and functionalizing them. Therefore, the use of plants in Mexican herbal medicine can have a significant impact on the resulting nanomaterials, as is the case with *Verbesina crocata* (capitaneja). The objective of this work is to report on the biosynthesis of silver/silver chloride nanoparticles (Ag/AgCl-NPs) mediated by *V. crocata*, their characterization, and phytotoxic activity in *Raphanus sativus* seeds. Aqueous extracts of capitaneja were found to be capable of generating nanostructures and exhibiting allelopathic effects that decrease the development of *R. sativus*. In contrast, the Ag/AgCl-NPs obtained exhibit concentration-dependent phytotoxicity to *R. sativus*. *V. crocata* extracts are a viable alternative for the biosynthesis of Ag/AgCl-NPs.

Keywords:

Capitaneja, Green synthesis, Phytotoxicity, Nanotoxicity, Mexican herbal medicine.

1. Introducción

En las últimas décadas, se intensificó el interés por estudiar organismos vivos (bacterias, levaduras, algas, hongos y plantas) así como sus derivados con el fin de crear métodos de síntesis innovadores, simples, económicos y amigables con el medio ambiente que produzcan nanopartículas (NP's) con características fisicoquímicas estables (Vanlalveni *et al.*, 2024). Se ha buscado superar las limitaciones de las técnicas físicas y químicas tradicionales, siendo la "nanotecnología verde" una posible solución a la obtención NP's sin requerir productos químicos peligrosos, consumir energía excesivamente, ni producir subproductos dañinos en el proceso (Edo *et al.*, 2025). La síntesis

biológica, síntesis verde o biosíntesis de NP's ha revolucionado diversos sectores, principalmente, en el área de la salud y alimentos como la biomedicina, la cosmetología y la agricultura, entre muchos otros (Banu y Chakraborty, 2024). De este método, específicamente, la fitosíntesis que utiliza únicamente plantas y sus productos, destaca por su eficacia y simpleza, debido a que los componentes generados por las plantas una vez extraídos son capaces no solo de sintetizar sino también de funcionalizar las NP's obtenidas con los mismos componentes de la biosíntesis (Edo *et al.*, 2025). Debido a que las plantas dependiendo de factores ambientales, sean bióticos o abióticos, producen metabolitos con funciones diversas desde autoprotección hasta comunicación, estas características son aprovechadas para la creación de fármacos, biocidas, repelentes, así como otros

*Autor para la correspondencia: aramirez1806@alumno.ipn.mx, 130357@ucemich.edu.mx

Correo electrónico: aramirez1806@alumno.ipn.mx, 130357@ucemich.edu.mx (Angel Daniel Ramírez-Herrera), jm5209027@gmail.com (José de Jesús Ceja-Buenrostro), tarallan1216@gmail.com (Allan Miranda-Torres), fjreynoso@ucemich.edu.mx (Francisco Javier Reynoso-Marín)

productos naturales accesibles y de fácil degradación, mismas de las que se ha aprovechado la nanotecnología (De-Oliveira *et al.*, 2014). Por tanto, la fitosíntesis de NP's tiene como fundamento procesos de óxido-reducción facilitados por las biomoléculas presentes en los extractos de plantas, que permiten la reducción de iones metálicos, promoviendo la creación de "semillas" de nucleación, que posteriormente desencadenan en la formación de NP's (Dzul-Erosa *et al.*, 2018). Entre los principales compuestos reportados que favorecen la fitosíntesis se encuentran las proteínas, aminoácidos, enzimas, polisacáridos, alcaloides, taninos, compuestos fenólicos, saponinas, terpenoides, entre otros compuestos antioxidantes (Vanlalveni *et al.*, 2024).

En otro orden de ideas, en México existe una gran variedad de especies vegetales destinadas a alimentos, así como relevantes en la medicina tradicional, que son una excelente fuente de componentes fitoquímicos y que han sido utilizadas para la síntesis de NP's (Hernández-Díaz *et al.*, 2024). Algunas de estas especies que han sido reportadas como mediadoras de síntesis de NP's para plata (Ag), cloruro de plata (AgCl), oro y óxido de zinc son: chicalote o cardosanto (*Argemone mexicana L.*), hojas de maíz (*Zea Mays*), chaya maya (*Cnidoscolus chayamansa*), residuos de agave (*Agave tequilana Weber var. azul*), cempasúchil (*Tagetes erecta*), epazote (*Dysphania ambrosioides L*) y nopal (*Opuntia sp.*) (Téllez-de-Jesús *et al.*, 2021; Villanueva-Ibáñez *et al.*, 2015; Dzul-Erosa *et al.*, 2018; López-Naranjo *et al.*, 2018; Katta y Dubey, 2021; Álvarez-Chimala *et al.*, 2021; Ledezma *et al.*, 2014). En cambio, existen plantas que son originarias y utilizadas en México, pero tienen muy vagos estudios como es el caso de capitaneja (*Verbesina crocata*) que ha sido utilizada como planta medicinal para tratar numerosos trastornos que se remonta a la época prehispánica (Heyerdahl-Viau *et al.*, 2023; García-Bores *et al.*, 2020). Desafortunadamente la información disponible acerca de *V. crocata* es predominantemente empírica y los escasos informes científicos sobre su actividad biológica han confirmado su eficacia como agente cicatrizante a la par de los tratamientos de uso comercial (Recoveron®), un ligero efecto antidiabético y un efecto diurético aumentando el flujo urinario y la excreción de Na^+/K^+ (Heyerdahl-Viau *et al.*, 2023; García-Bores *et al.*, 2020; Salazar-Gómez *et al.*, 2018; Marles y Farnsworth, 1995). Dichas propiedades son indicativas de la riqueza de metabolitos y el gran potencial presente en los extractos de *V. crocata*. La capitaneja es una planta endémica con presencia en más de una decena de estados del centro occidente de México, creciendo en un amplio rango altitudinal, así como de una gran variedad de territorios desde tierras deforestadas hasta bordos de carreteras (Heyerdahl-Viau *et al.*, 2023). Aunado a que su crecimiento, propagación y adaptación es fácil al igual que rápido, lo que significa que su uso no amenaza la biodiversidad de la flora mexicana.

Con base en lo antes mencionado, al considerar la deficiente información sobre las ventajas fisicoquímicas que presentan los extractos acuosos de *V. crocata* y, tomando en cuenta que, hasta la fecha, no se ha publicado reporte alguno sobre su uso en la síntesis de NP's. El objetivo del presente trabajo es aumentar el conocimiento entorno a posibles aplicaciones de *V. crocata*, como lo es la fitosíntesis de nanopartículas de plata/cloruro de plata (Ag/AgCl-NP's), así como analizar el potencial fitotóxico de las NP's y el extracto, con la finalidad de incentivar a la investigación de esta planta al igual que de las NP's obtenidas.

2. Metodología

2.1. Preparación del extracto

El material vegetal correspondiente a *V. crocata* utilizada fue recolectada en el municipio de Sahuayo de Morelos, Michoacán. Localizada a una latitud $20^{\circ} 05' 03.7''$ latitud norte, $102^{\circ} 45' 22.3''$ longitud oeste. Una vez obtenidas, se desprendieron las hojas de las plantas, las cuales fueron lavadas con agua destilada para eliminar posibles impurezas y se almacenaron hasta su completa deshidratación para su uso.

El extracto se obtuvo a partir de 4 g de hojas secas de *V. crocata*, en 200 ml de agua destilada por el método de decocción a 70°C por 10 min, se separó de la parte sólida mediante filtración a vacío, utilizando un filtro convencional y se almacenó para su posterior uso.

2.2. Análisis cualitativo fitoquímico de extractos

El extracto de *V. crocata* obtenido fue sometido a pruebas para conocer de manera cualitativa los componentes fitoquímicos presentes en el mismo. Los análisis realizados fueron para la detección de alcaloides, taninos, saponinas, fenoles, terpenoides y flavonoides, de acuerdo con lo reportado por Nortjie *et al.*, (2022), las cuales se realizaron por triplicado y de la siguiente manera.

Detección de alcaloides: 2 ml de extracto se disolvió en 3 ml de ácido clorhídrico al 5 % y se filtró para ser sometido a la prueba de Wagner. Se añadieron 10 gotas del reactivo de Wagner al extracto filtrado y se dejó reaccionar. La formación de una fase color marrón rojizo, indica la presencia de alcaloides.

Detección de taninos: Se mezclaron 2 ml de extracto, con 2 ml de agua y se calentaron a baño María. La mezcla se filtró y se le añadieron 10 gotas de cloruro férrico al 5 %. El color verde oscuro indica la presencia de taninos.

Detección de saponinas: Se mezclaron 5 ml del extracto, con 5 ml de agua destilada. Posteriormente, se agitó por 1 min vigorosamente. La formación de espuma indica la presencia de saponinas.

Detección de fenoles: Se mezclaron 10 gotas de solución de acetato de plomo al 5 %, con 5 ml del extracto. La aparición de color amarillo indica la presencia de fenoles.

Detección de Terpenoides: Se mezcló 1 ml del extracto, con 2 ml de cloroformo y 3 ml de ácido sulfúrico concentrado, añadiéndose cuidadosamente cada uno. La presencia de un color marrón rojizo indica la presencia de terpenoides.

Detección de flavonoides: Se le adicionaron 10 gotas de ácido sulfúrico al extracto y se dejó reaccionar. La formación de un color naranja indica la presencia de flavonoides.

2.3. Biosíntesis de las nanopartículas de plata

Para la síntesis de las Ag/AgCl-NP's se realizó una única concentración de nitrato de plata (AgNO_3 , Golden Bell con pureza de 99.0 %) y de extracto. Se preparó una solución de 0.1 Mol de AgNO_3 , en 60 ml de agua destilada, se mantuvo bajo agitación magnética constante (600 rpm), bajo condiciones de iluminación normal y temperatura ambiente. Posteriormente a la solución se adicionaron 40 ml de extracto, obteniéndose una medición de pH de $7 (\pm 0.1)$, la cual no fue alterada. Pasados 10 min de reacción la solución fue retirada de la agitación y almacenada para futuros análisis.

2.4. Caracterización de las nanopartículas

Las Ag/AgCl-NP's sintetizadas se caracterizaron por medio de diversas técnicas analíticas que incluyen espectroscopía ultravioleta-visible (UV-Vis), espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier (FT-IR), difracción de rayos X (DRX) y microscopía electrónica de barrido (MEB) equipado con espectroscopía de energía dispersiva (EDS).

Las propiedades ópticas fueron analizadas con un espectrofotómetro de UV-Vis Lambda 25 marca Perkin Elmer en un rango de longitud de onda de 200-800 nm. La presencia de grupos funcionales pertenecientes a los metabolitos secundarios se estudió mediante un espectrofotómetro de FT-IR Frontier, Perkin Elmer en un rango de número de onda entre los 4000 y 400 cm^{-1} . El producto de la síntesis fue centrifugado a 5000 rpm por 15 min. El precipitado obtenido se mantuvo a 70 °C por 24 h para el análisis de DRX y MEB. La morfología y la composición elemental de las Ag/AgCl-NP's fueron detectadas usando un microscopio JEOL 66-10LV equipado con EDS utilizando una potencia de 20 kV y distancia de trabajo de 10 mm, las partículas fueron recubiertas con oro. La estructura cristalina se determinó usando un difractor de rayos X de polvo, modelo D8 Avance A25 marca Bruker con radiación CuK α (1.5418 nm), el ángulo de inicio fue 10°, el ángulo final de 80.001°, el paso de 0.0255°, con un voltaje de 40 kV y una intensidad de corriente de 40 mA. El resultado obtenido de DRX fue sometido a un refinamiento por el método de Rietveld, mediante el software de acceso libre FullProf Suite. El tamaño de cristalito se determinó para cada uno de los planos cristalinos de acuerdo con la ecuación de Scherrer (Tamanna et al., 2024):

$$D = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta}$$

Donde D representa el tamaño del cristalito, K es la constante de Scherrer ($K = 0.90$), λ es la longitud de onda de la radiación (CuK $\alpha = 1.5418$ nm), β es el ancho total en la mitad del pico (radianes) y θ es el ángulo difractado del pico.

2.5. Efecto fitotóxico de las nanopartículas de plata en *Raphanus sativus*

El desarrollo de esta metodología se basó en lo reportado por Galindo-Guzmán et al. (2022), Marium et al. (2019), así como Vashisth y Nagarajan (2010). Las Ag/AgCl-NP's se utilizaron directamente como se obtuvieron de la síntesis. Se realizaron 3 tratamientos diferentes en porcentaje de volumen (% v/v) Ag/AgCl-NP's/Agua destilada (20/80, 10/90 y 5/95 %). Las soluciones fueron sonicadas para mejorar la dispersión. El pH de cada suspensión no fue ajustado antes de la exposición de las semillas. Como control se utilizó únicamente agua destilada. Asimismo, se utilizó el extracto sin diluir de *V. crocata* y AgNO $_3$ a 0.01 Mol como referencia.

Las semillas de *Raphanus sativus* utilizadas fueron de la variedad *Champion* comerciales. Se colocaron en NaClO al 2,5% durante 5 min y finalmente se lavaron con agua destilada. Las semillas se secaron al aire libre y se colocaron durante 15 min en suspensiones preparadas como se describió anteriormente, en condiciones estáticas. Una vez pasado el tiempo, se retiraron las soluciones de las semillas. Las semillas fueron transferidas a cajas plásticas (de 12 cm x 12 cm x 5 cm respectivamente) con papel filtro húmedo. Se mantuvieron condiciones de iluminación normal y temperatura ambiente durante el tiempo estudiado. Se colocaron 20 semillas por tratamiento, por triplicado. Las placas se cubrieron y se cerraron. Después de 8 días de tratamiento se registró el crecimiento de las plántulas en términos del día de germinación (DG), longitud de la raíz (LR), longitud del tallo (Lt), la longitud total (LT) de las plántulas y peso fresco (PF), el resultado se

comparó para ver el efecto de las Ag/AgCl-NP's en la germinación de las semillas, así como el crecimiento temprano de las plántulas. Se registró el DG de las semillas, considerando la emergencia de la radícula en la semilla mayor a 1 mm. El porcentaje de germinación (PG) se calculó con la siguiente fórmula:

$$PG (\%) = \frac{\text{No. de semillas germinadas}}{\text{No. total de semillas control}} \times 100$$

La LR, la Lt, así como la LT de las plántulas germinadas se midieron usando un vernier. La LR se tomó del sitio de la aparición de la raíz hasta la punta de la raíz, la Lt se midió desde la base hasta el ápice. La LT es el resultado de la suma de LR y Lt. Las plántulas se pesaron posterior a los 8 días, para obtener el PF de cada una de las plántulas utilizando una balanza analítica.

Para los parámetros como el índice de vigor I (ÍVI), el índice de tolerancia al estrés de la longitud del brote (SLSI), así como índice de tolerancia al estrés de la longitud de la raíz (RLSI), se calcularon utilizando las siguientes fórmulas:

$$\text{ÍVI} = \text{Germinación}(\%) \times \text{Lon. plántula (cm)}$$

$$SLSI = \frac{\text{Lon. del brote (tallos) de la plántula tratada}}{\text{Lon. del brote (tallos) de la plántula control}} \times 100$$

$$RLSI = \frac{\text{Lon. de la raíz de la plántula tratada}}{\text{Lon. del de la raíz de la plántula control}} \times 100$$

2.6. Análisis estadístico

El experimento se realizó mediante un diseño completamente al azar con su respectivo control, tres tratamientos y tres repeticiones. La normalidad y la homogeneidad de las varianzas en los datos para cada una de las variables de respuesta se verificó con la prueba de Bartlett y Kolmogorov-Smirnov. Los resultados obtenidos se analizaron mediante análisis de varianza ANOVA y la comparación de medias con la prueba de Tukey con una significancia de $p \leq 0.05$. Se utilizó el paquete estadístico Minitab versión 18 para el análisis de los datos.

3. Resultados y discusión

El extracto acuoso de hojas de *V. crocata* presentó una coloración amarilla clara, como se puede observar en la figura 1A. Dicho extracto, al ser sometido a las pruebas fitoquímicas se encontraron resultados positivos a alcaloides, taninos, saponinas, fenoles, terpenoides y flavonoides. Lo anterior, concuerda con los metabolitos secundarios reportados por Salazar-Gómez et al. (2018), que a su vez reportan también coumarinas, saponinas esteroidales y antraquinonas. Entre los posibles compuestos encontrados podrían estar presentes lupeol, galegina, daucosterol, acetil-sitosterol, sitosterol glicósido, 2-(3,4-dihidroxifenil)-5,7-dihidroxicromán-3-il-4-(3-amino-4-hidroxifenil)-3-hidroxitobutanoato, filoflavan y/o catequina 3-glucósido que pertenecen a la estructura de los metabolitos secundarios encontrados y han sido previamente reportados para *V. crocata* (García-Bores et al., 2020; Marles y Farnsworth, 1995). Dichos constituyentes le confieren propiedades terapéuticas que han sido vagamente estudiadas, entre las que destacan su actividad cicatrizante en heridas, antidiabética y diurética (Heyerdahl-Viau et al., 2023).

En otro orden de ideas, al adicionar a la solución de AgNO_3 el extracto, se observó un cambio de coloración en la solución casi inmediato. La solución pasó de un tenue amarillo claro a un rojizo oscuro, para finalmente apreciarse un color marrón amarillento oscuro. Se observó la coloración máxima a los 10 min de reacción, tiempo al que se detuvo la agitación. La solución exhibió una homogeneidad, lo que sugiere que las NP's eran estables y estaban dispersas (Figura 1A). Este cambio de coloración es un indicativo de la formación de las Ag/AgCl-NP's, debido a que efectivamente los metabolitos secundarios están actuando como agentes quelantes, reductores o estabilizadores de las partículas de manera pasiva o activa (Li *et al.*, 2022). Las moléculas previamente mencionadas debido a sus arreglos estructurales podrían tener mayor facilidad para la generación de NP's. Lo anterior dado que dichas biomoléculas pueden generar transformaciones tautoméricas de la forma enol a la forma ceto, desligando átomos de hidrógeno reactivo que reducen los iones metálicos a NP's y a su vez quelar los iones metálicos o las NP's con sus grupos funcionales, implicando que están presentes tanto en la nucleación de las NP's como en la agregación y estabilización de estas (Ramírez-Herrera *et al.*, 2024).

Se confirmó la formación de Ag/AgCl-NP's mediante espectrofotometría UV-Vis (Figura 1A). Las Ag/AgCl-NP's absorbieron luz en la región visible debido al plasmón de resonancia superficial, produciendo una banda de absorción con un máximo a 445 nm. La banda de absorción presente no se mostraba en la solución de AgNO_3 ni en el espectro correspondiente a *V. crocata*, lo cual indica la reducción de sales de Ag^+ a Ag^0 . Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Hachem *et al.*, (2024) así como por Naim *et al.*, (2024) para la producción de Ag/AgCl-NP's con longitud de onda características similares. Además, el espectro del extracto de *V. crocata* presentó una saturación entre los 403-327 nm debido a los compuestos fitoquímicos presentes, saturación que desaparece completamente una vez sintetizadas las Ag/AgCl-NP's, reafirmando lo antes mencionado. Asimismo, la banda de absorción característica para las NP's de AgCl se puede apreciar cercana a los 300 nm. Estos resultados muestran Ag/AgCl-NP's tienen una alta absorción de luz visible y la posibilidad de exhibir un excelente rendimiento fotocatalítico impulsado por luz visible, al igual que las obtenidas por Mandal *et al.*, (2022).

La presencia de los posibles grupos funcionales responsables presentes en las biomoléculas que biorredujeron y estabilizaron las Ag/AgCl-NP's se determinó mediante espectroscopia FT-IR (Figura 1B). Los espectros de las biomoléculas presentes en el extracto de *V. crocata*, se estudiaron antes y después de la reducción de las nanopartículas (Figura 1B). Los resultados obtenidos tienen bandas similares a las reportadas por Naim *et al.*, (2024), Wintachai *et al.*, (2024) así como por Hachem *et al.*, (2024). La banda de absorción a 3300 cm^{-1} corresponde a la vibración de estiramiento de O-H y N-H. Los picos a 2361 y 2341 cm^{-1} tanto en el extracto como en las Ag/AgCl-NP's se deben al dióxido de carbono. El pico a 1635 cm^{-1} se relaciona con el estiramiento de los grupos carbonilo C=O, que pueden estar presentes en anillos conjugados y aromáticos, cetonas al igual que en flavonoides y demás componentes del extracto de las hojas. La banda a 1365 cm^{-1} al igual que la de 1290 cm^{-1} representa la vibración de estiramiento de los enlaces C-O. A causa de que los enlaces Ag-Ag pueden apreciarse por debajo de 400 cm^{-1} , fuera del rango de detección del equipo FT-IR utilizado para dichos enlaces. Como resultado, los espectros no se muestran picos de absorción de enlaces Ag-Ag (Gharibshahi *et al.*, 2017).

La morfología de las Ag/AgCl-NP's sintetizadas se determinó por MEB y su composición elemental mediante EDS. Las Ag/AgCl-NP's formadas fueron casi esféricas y estaban conformadas principalmente por Ag y Cl (Figura 2). No obstante,

también se encontraron otros elementos constitutivos como el oxígeno, carbono, nitrógeno, magnesio y potasio que son componentes presentes en el extracto de *V. crocata*. El tamaño de las NP's oscilaba entre los 20 a 60 nm. Cabe resaltar que, en la mayoría de los casos de biosíntesis de este tipo de NP's la morfología dominante es esférica (Ahmed *et al.*, 2016; Dzule-Erosa *et al.*, 2018). Los resultados morfológicos obtenidos concuerdan con lo obtenido por Kushwaha y Malik (2012), que utilizaron *V. encelioides* nativa de la India como mediadora de la síntesis.

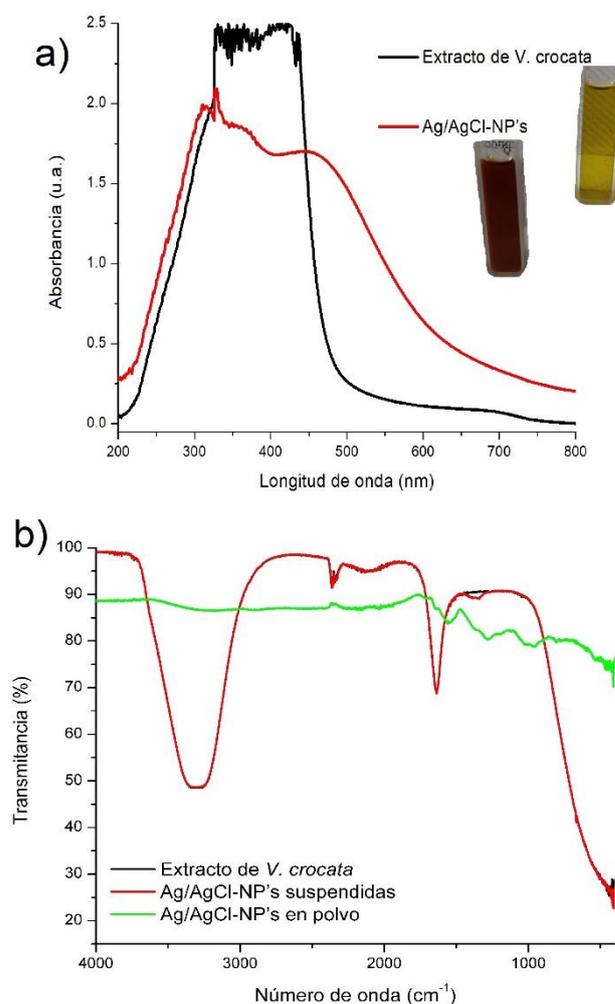


Figura 1: a) Espectro de UV-Vis del extracto de *V. crocata*, así como de las Ag/AgCl-NP's; y b) Espectro de FT-IR del extracto de *V. crocata*, así como de las Ag/AgCl-NP's suspendidas y en polvo.

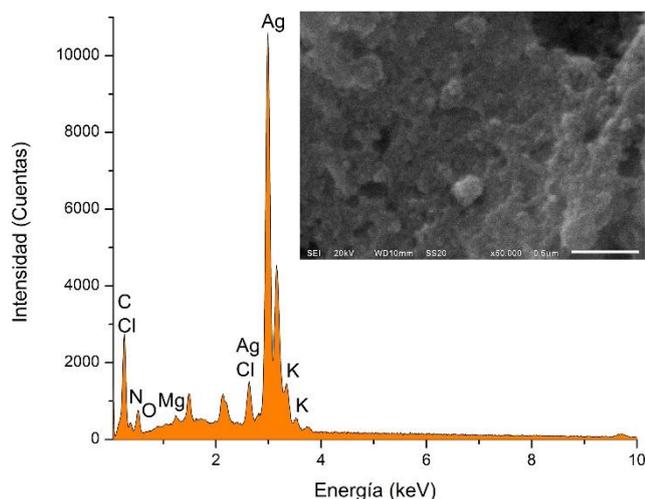


Figura 2: Análisis por MEB y EDS de las Ag/AgCl-NP's.

La cristalinidad y la microestructura de fase de las Ag/AgCl-NP's se evaluó mediante DRX y fue sometido a un refinamiento por el método de Rietveld para determinar los parámetros de la muestra (Figura 3). Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Hachem et al., (2024) y Mandal et al., (2022). Para el refinamiento se utilizó el método de mínimos cuadrados que realiza ajustes analíticos en un perfil cristalográfico para minimizar la diferencia teórica hasta su coincidencia con el perfil de la información cristalográfica entre los patrones simulados y observados brindando datos relevantes. Dicha minimización se midió utilizando los parámetros del índice de fiabilidad, R_{wp} (error residual ponderado) y R_{exp} (error esperado), que se definen como:

$$R_{wp} = \left[\frac{\sum_i w_i (I_{i0} - I_{ic})^2}{\sum_i w_i I_{i0}^2} \right]^{1/2}$$

$$R_{exp} = \left[\frac{N - P}{\sum_i w_i I_{i0}^2} \right]^{1/2}$$

Donde I_0 e I_c son las intensidades experimental y calculada, respectivamente. N y w_i ($=1/I_0$) representan el número de observaciones experimentales y su ponderación. P es el número de parámetros de ajuste. El grado de ajuste GoF (1.73) se calculó mediante el cociente entre los dos valores obtenidos, R_{wp} (21.3) y R_{exp} (12.34). Para validar la fiabilidad de los presentes resultados, el valor de grado de ajuste es fundamental.

La posición de los picos del patrón de DRX, el plano al que corresponden, los parámetros y el tipo de red cristalina, el porcentaje de cada fase, el ancho medio de los picos, así como el tamaño de cristalito para cada plano se muestran en la Tabla 1. Los datos obtenidos al compararse con los patrones estándar publicados por el Joint Committee on Powder Diffraction Standards corresponden con las cartas cristalográficas 00-004-0783 para Ag y 00-031-1238 para AgCl.

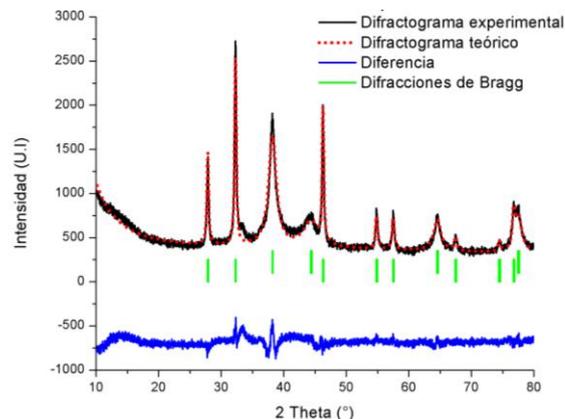


Figura 3: Refinamiento del patrón de difracción de las Ag/AgCl-NP's por el método de Rietveld.

Tabla 1: Datos obtenidos a partir del refinamiento de Rietveld.

Fase y proporción	a (Å) α (°)	hkl	2θ (°)	FWHM (rad)	Cristalito (nm)
Ag 225 (Fm-3m) 64.85 %	4.087	111	38.1	0.0127	11.11
		200	44.28	0.0255	5.49
		220	64.42	0.0120	16.47
		311	77.37	0.0108	23.06
		111	27.78	0.0027	209.21
AgCl 225 (Fm-3m) 35.15 %	5.556	200	32.19	0.0026	56.78
		220	46.17	0.0023	130.98
		311	54.74	0.0030	72.66
		222	57.39	0.0032	47.28
		400	67.35	0.0032	66.57
		331	74.35	0.0031	50.95
		420	76.62	0.0033	50.59

El efecto de los tratamientos sobre los parámetros medidos en la germinación de las semillas de *R. sativus* se muestran en la Figura 4 y la Tabla 2. La aplicación del extracto, el $AgNO_3$ así como de las Ag/AgCl-NP's tuvo efectos significativos entre los tratamientos al igual que con el control ($p \leq 0.05$) de las variables medidas.

Las semillas tratadas con extracto de *V. crocata* tuvo similitudes estadísticas con el control únicamente en parámetros como la LR y el PF. Sin embargo, todos los demás parámetros tienen diferencias significativas con respecto al control, mostrando un efecto negativo en la germinación y crecimiento de las semillas. Cabe señalar que es el primer reporte en el que se utilizan extracto de *V. crocata* para conocer el efecto en etapas tempranas de crecimiento en plantas. La diferencia estadística con respecto al control, debida a la disminución de los parámetros medidos puede ser atribuido al efecto alelopático de la *V. crocata*. Es posible que los componentes presentes en el extracto tengan la función de aleloquímicos, los cuales, estén afectando directamente el crecimiento y desarrollo de *R. sativus*. Este efecto ha sido previamente reportado en la especie *Verbena*, puntualmente en: *V. sphaerocephala*, *V. fastigiata* así como *V. encelioides*, quienes han disminuido parámetros biométricos de germinación y crecimiento de cultivos de importancia comercial como: *Vigna radiata*, *Cicer arietinum*, *Cucumis melo*, *Solanum lycopersicum*, *Cucumis sativus*, *Triticum aestivum* y *Zea mays* (Velasco-Ramírez et al., 2022; Khattak et al., 2023; Barala et al., 2025). La respuesta alelopática que provocó el extracto de *V. crocata* puede ser causado por la presencia de ciertos componentes fenólicos, como menciona Velasco-Ramírez et al. (2022), que reportan que concentraciones altas de componentes fenólicos inhiben el crecimiento y desarrollo de semillas, pero concentraciones bajas pueden generar un efecto contrario.

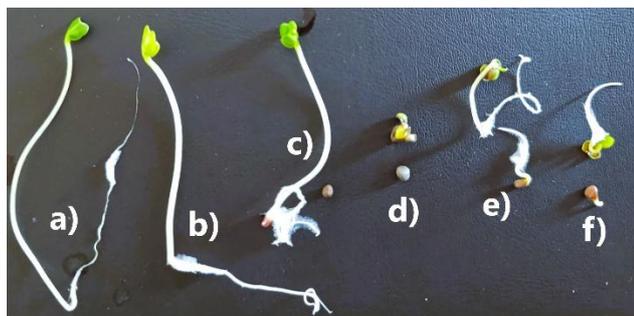


Figura 4: Plántulas y semillas de *R. sativus* después de 8 días de crecimiento para el a) Control, los tratamientos con b) extracto de *V. crocata*, c) AgNO_3 , así como con las Ag/AgCl-NP's al d) 20%, e) 10% y f) 5%.

En cambio, todos los tratamientos en las que se usaron iones o NP's de Ag, presentan diferencias estadísticas significativas con respecto del control y entre los mismos tratamientos (Tabla 2). A excepción únicamente del PF tratado con AgNO_3 que tiene similitud estadística con el control. Es importante destacar que el tiempo de exposición de las semillas en las soluciones es relativamente "corto" (15 min). No obstante, pasado el primer día de germinación todas las semillas tratadas con iones o NP's mostraban una coloración plateada en la cubierta seminal (Figura 4c y 4d), la cual, únicamente cambiaba si la semilla germinaba (4e y 4f) y se mantenía en caso de no germinar. Lo anterior indica que la cubierta seminal tiene características fisicoquímicas que permiten la deposición de la Ag sobre su superficie. Además de que no es una barrera suficiente para proteger la semilla a pesar de tener un grosor de entre los 40 a 50 micrones (Taladrid y Espinosa, 2021). Los efectos fitotóxicos de las Ag/AgCl-NP's son mayores que su contraparte iónica, con excepción de las variables DG y PG. El DG de los tratamientos con Ag/AgCl-NP's a concentración alta y media se mantiene similar, no obstante, a baja concentración incluso duplica el tiempo de la Ag iónica. Caso contrario en el PG donde la concentración alta de Ag/AgCl-NP's tiene un efecto similar a la Ag iónica y se aprecia un efecto hormético en concentración media y baja. Este resultado es un proceso que no ha sido dilucidado del todo debido a que las NP's presentan toxicidad dependiente de varios factores como los precursores de la síntesis de NP's utilizados; tamaño, concentración y morfología de las NP's, condición de exposición NP's-Planta, tipo de biológico utilizado, entre otros (Tripathi *et al.*, 2024). Es conocido, que el principal mecanismo de toxicidad de las NP's una vez internalizadas, es su descomposición en iones de Ag, que posteriormente interactúan con diversas biomoléculas de la semilla generando estrés oxidativo mediado por especies reactivas de oxígeno (ERS), causando un impacto tóxico en la germinación y crecimiento de las semillas (Tripathi *et al.*, 2024). En dichas condiciones de estrés oxidativo, como en este caso, es posible que exista daño oxidativo mediado por ERS sobre el ARNm como reporta Handayani *et al.*, (2022) que inhibe la síntesis y degradación de proteínas, deteriorando su función que resulta en la inhibición de la germinación o aumento en la latencia de las semillas. Dicho efecto puede apreciarse en la Figura 4d, donde las semillas tratadas a concentraciones altas de Ag/AgCl-NP's mostraban mayor latencia e incluso cambios de coloración indicativos de necrosis. Caso contrario, el efecto hormético observado a concentraciones media y baja con respecto de la alta, puede ser causado también por las ERS como reportan Bello-Bello *et al.*, (2017) como respuesta del germinado al estrés producido por las dosis de Ag/AgCl-NP's. Este efecto es una respuesta adaptativa dinámica, causado por la plasticidad biológica del organismo en todos sus procesos ante estresores intermitentes

como lo son las NP's utilizadas. Lo anterior, es un ejemplo de la complejidad de las interacciones existentes entre NP's-Plantas.

Tabla 2: Comparación de medias de los tratamientos resultantes de las pruebas de fitotoxicidad en *R. sativus*.

Muestra/ Parámetro	C	E	Ag ⁺	NP's 20 %	NP's 10 %	NP's 5 %
DG (día)	1.8 ±0.4 a	2.7 ±0.4 b	3.3 ±1 bc	5.6 ±1 cde	5.6 ±0.5 d	7 ±0.6 e
PG (%)	61.6 ±2.8 a	51.6 ±2.8 b	5 ±0 e	5 ±0 e	21.6 ±2.8 c	11.6 ±2.8 d
LR (cm)	5.7 ±1 a	4.1 ±0.7 ab	4.3 ±0.5 b	0.4 ±0.3 d	2.5 ±1 c	1.1 ±0.5 d
Lt (cm)	7.7 ±1 a	6.2 ±0.7 b	5.3 ±0.5 b	0.5 ±0.4 d	2.1 ±0.9 c	0.6 ±0.4 d
LT (cm)	13.4 ±1.2 a	10.3 ±1.2 b	9.6 ±0.6 b	0.6 ±0.5 d	4.6 ±1.2 c	0.6 ±0.5 d
PF (cg)	12.3 ±2.3 a	11.2 ±1.5 a	10 ±1 ab	4 ±1 cd	6 ±1.6 bc	1.3 ±1 d
ÍVI (%cm)	830 ±12 a	532 ±12 b	48 ±6 d	4 ±3 e	100 ±6 c	22 ±9 de
SLSI (%)	No aplica	80 ±3.6 a	68 ± 3.4 b	4.3 ±1.8 d	28 ±3.6 c	8.5 ±2.2 d
RLSI (%)	No aplica	75 ±5.3 a	80 ±5.3 a	5.8 ±2.6 c	44 ±4.4 b	20.3 ±2.6 c

La disminución de los parámetros LR, Lt, LT, PF, ÍVI, SLSI al igual que RLSI (Tabla 2), en los tratamientos con Ag iónica o NP's, tienen una relación directa con el aumento de la latencia en la semilla y el estrés oxidativo causado, previamente señalado. Sin embargo, se observó en todos los tratamientos con presencia de Ag una modificación en los pelos de la raíz, mostrándose un aumento en estos, así como un mayor ancho (Figura 4c, d, e y f), que puede ser ocasionado como una medida adaptativa de las raíces para diluir la concentración de Ag. Cabe señalar que el crecimiento de pelos radiculares favorece al exudado de sustancias químicas como moco y ácidos orgánicos, que le confieren una carga negativa a la superficie radicular, favoreciendo la afinidad de las NP's para acumularse más fácilmente por cargas electrostáticas (Milewska-Hendel *et al.*, 2019). Estas estructuras no solo aumentan la superficie radicular, sino también ofrecen puntos de interacción y bioacumulación, debido a que por afinidad fisicoquímica las NP's de Ag son capaces de acumularse alrededor de las puntas de los pelos radiculares, para posteriormente ser internalizadas (Francis *et al.*, 2024). Dicho crecimiento y aumento de pelos radicales fue reportado también por Pittola *et al.*, (2017) al tratar semillas de *R. sativus* con soluciones de 10000 mg L⁻¹ de NP's de Ag. Sin embargo, nuestros resultados en parámetros medidos tienen similitudes y discrepancias con lo previamente reportado por Zuverza-Mena *et al.*, (2016) y Pittola *et al.*, (2017) para semillas de *R. sativus* tratadas con NP's de Ag. Estas diferencias en los resultados pueden ser causadas por múltiples factores, como lo son: el material biológico, las NP's y el proceso de exposición NP's-Plantas, por lo que es imperante realizar más estudios para determinar y estandarizar los procesos.

4. Conclusiones

El presente trabajo reporta el primer estudio entorno a la síntesis de Ag/AgCl-NP's utilizando *V. crocata*, planta utilizada en la medicina herbal y originaria de México. El estudio confirma la presencia de metabolitos secundarios en extractos acuosos de *V. crocata* con excelente capacidad reductora, idónea para reducir iones de Ag y formar NP's. El extracto presentó compuestos con función aleloquímica disminuyendo los parámetros medidos en

semillas de *R. sativus*. Las Ag/AgCl-NP's obtenidas son de naturaleza cuasi esférica, con presencia predominantemente de Ag metálica al igual que de AgCl, con tamaños menores a los 100 nm. Las Ag/AgCl-NP's sintetizadas presentaron efectos fitotóxicos disminuyendo los parámetros medidos en semillas de *R. sativus*. Cabe destacar que, para mejorar las fases obtenidas, el tamaño de NP's así como un menor efecto fitotóxico se recomienda realizar investigaciones adicionales. Debido a que este es el primer estudio realizado utilizando *V. crocata*, es necesario escudriñar por completo sus posibles efectos, así como aplicaciones. Para que las NP's obtenidas tengan un efecto potenciado y direccionado.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias al apoyo de la Universidad de La Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo.

6. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

7. Abreviaciones y Acrónimos

Cloruro de plata: AgCl.
 Día de germinación: DG.
 Difracción de rayos X: DRX.
 Especies reactivas de oxígeno: ERS.
 Espectroscopia de energía dispersiva: EDS.
 Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier: FT-IR.
 Espectroscopía ultravioleta-visible: UV-Vis.
 Índice de tolerancia al estrés de la longitud de la raíz: RLSI.
 Índice de tolerancia al estrés de la longitud del brote: SLSI.
 Índice de vigor I: ÍVI.
 Longitud de la raíz: LR.
 Longitud del tallo: Lt.
 Longitud total de las plántulas: LT
 Microscopía electrónica de barrido: MEB.
 Nanopartículas de plata/cloruro de plata: Ag/AgCl-NP's.
 Nanopartículas: NP's.
 Nitrato de plata: AgNO₃.
 Peso fresco: PF.
 Plata: Ag.
 Porcentaje de germinación: PG
Raphanus: *R*.
Verbesina: *V*.

8. Referencias

- Ahmed, S., Ahmad, M., Swami, B. L., Ikram, S., (2016). A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial applications: A green expertise. *Journal of Advanced Research*, 7, 17–28. DOI: 10.1016/j.jare.2015.02.007
- Álvarez-Chimala, R., García-Pérez, V., I., Álvarez-Pérez, M. A., Arenas-Alatorre, J. Á., (2021). Green synthesis of ZnO nanoparticles using a *Dysphania ambrosioides* extract. Structural characterization and antibacterial properties. *Materials Science & Engineering C*, 118, 1-13. DOI: 10.1016/j.msec.2020.111540
- Banu, K. S., Chakraborty, P., (2024). An overview of bio-assisted nanoparticles: Synthesis, application and challenges in nature's toolbox. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 39, 1-15. DOI: 10.1016/j.nanoso.2024.101317
- Barala, P., Solanki, P., Maurya, V., Yadav, I. B., Chhawri, R., Sachdeva, V., Hooda, V., (2025). Allelopathic effect of *Verbesina encelioides* aqueous root extract on germination and growth of economically important crops. *Ecological Frontiers*, 45, 756-767. DOI: 10.1016/j.ecofro.2025.02.003
- Bello-Bello, J. J., Chavez-Santoscoy, R. A., Lecona-Guzmán, C. A., Bogdanchikova, N., Salinas-Ruíz, J., Gómez-Merino, F. C., Pestryakov, A., (2017). Hormetic Response by Silver Nanoparticles on In Vitro Multiplication of Sugarcane (*Saccharum spp.* Cv. Mex 69-290) Using a Temporary Immersion System. *Dose-Response*, 15, 1-9. DOI: 10.1177/1559325817744945
- De-Oliveira, J. L., Ramos-Campos, E. V., Bakshi, M., Abhilash, P. C., Fernandes-Fraceto, L., (2014). Application of nanotechnology for the encapsulation of botanical insecticides for sustainable agriculture: prospects and promises. *Biotechnology Advances*, 32, 1550-1561. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2014.10.010
- Dzul-Erosa, M. S., Cauich-Díaz, M. M., Razo-Lazcano, T. A., Avila-Rodríguez, M., Reyes-Aguilera, J. A., González-Muñoz, M. P., (2018). Aqueous leaf extracts of *Cnidioscolus chayamansa* (Mayan chaya) cultivated in Yucatán México. Part II: Uses for the phytomediated synthesis of silver nanoparticles. *Materials Science and Engineering: C*, 91, 838-852. DOI: 10.1016/j.msec.2018.06.007
- Edo G. I., Mafe, A. N., Ali, A. B. M., Akpogheli, P. O., Yousif, E., Isoje, E. F., Igbuku, U. A., Zainulabdeen, K., Owheruo, J. O., Essagah, A. E. A., Umar, H., Ahmed, D. S., Alamiery, A. A., (2025). Eco-friendly nanoparticle phytosynthesis via plant extracts: Mechanistic insights, recent advances, and multifaceted uses. *Nano TransMed*, 4, 1-23. DOI: 10.1016/j.ntm.2025.100080
- Francis, D. V., Abdalla, A. K., Mahakham, W., Sarmah, A. K., A, Z. F. R., (2024). Interaction of plants and metal nanoparticles: Exploring its molecular. *Environment International*, 190, 1-18. DOI: 10.1016/j.envint.2024.108859
- Galindo-Guzmán, A. P., Fortis-Hernández, M., De-La-Rosa-Reta, C. V., Zermeno-González, H., Galindo-Guzmán, M., (2022). Síntesis química de nanopartículas de óxido de zinc y su evaluación en plántulas de *Lactuca sativa*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 13, 299-308. DOI: 10.29312/remexca.v13i28.3284
- García-Bores, A. M., Álvarez-Santos, N., López-Villafranco, M. E., Jaquez-Ríos, M. P., Aguilar-Rodríguez, S., Grego-Valencia, D., Espinosa-González, A. M., Estrella-Parra, E. A., Hernández-Delgado, C. T., Serrano-Parrales, R., González-Valle, M. del R., Benítez-Flores, J. del C., (2020). *Verbesina crocata*: A pharmacognostic study for the treatment of wound healing. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27, 3113-3124. DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.08.038
- Gharibshahi, L., Saion, E., Gharibshahi, E., Shaari, A. H., Matori, K. A., (2017). Influence of Poly(vinylpyrrolidone) concentration on properties of silver nanoparticles manufactured by modified thermal treatment method, *PLoS One*, 12, 1-17. DOI: 10.1371/journal.pone.0186094.
- Hachem, Z., Kashmar, R., Abdallah, A. M., Awad, R., Khalil, M. I., (2024). Characterization, antioxidant, antibacterial, and antibiofilm properties of biosynthesized Ag/AgCl nanoparticles using *Origanum ehrenbergii* Boiss. *Results in Materials*, 21, 1-14. DOI: 10.1016/j.rinma.2024.100550
- Handayani, W., Yasman, Umar, A., Yudasari, N., (2022). Phytotoxicity study of silver nanoparticles on the germination of water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsk.) and mustard green (*Brassica rapa* L.) seeds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1201, 1-7. DOI: 10.1088/1755-1315/1201/1/012080
- Hernández-Díaz, M. N., Torres-Valencia, N., Miranda-Arámbula, M., Ríos-Cortés, A. M., Fernández-Luqueño, F., López-Gayou, V., López-Valdez F., (2024). El rol de las plantas silvestres o cultivables de México en la síntesis de nanopartículas. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 17, 1-17. DOI: 10.22201/ceich.24485691e.2024.32.69743

- Heyerdahl-Viau, I., López-Naranjo, F., Córdova-Moreno, R., Urbina-Pastrana, A., Martínez-Núñez, J. M., (2023). A Brief Review of *Verbesina crocata* (Cav.) Less., a Scantly Studied Medicinal Plant. *Research Journal of Pharmacognosy*, 10, 51–56. DOI: 10.22127/RJP.2022.363697.1985
- Katta, V. K. M., Dubey, R. S., (2021). Green synthesis of silver nanoparticles using *Tagetes erecta* plant and investigation of their structural, optical, chemical and morphological properties. *Materials Today: Proceedings*, 45, 794–798. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.02.809
- Khattak, A., Naveed, S., Khalid, N., Khan, I. U., Bakht, T., (2023). Allelopathic Effects of *Verbesina encelioides* Extracts on the Germination and Growth Parameters of Monocotyledonous Seeds. *Pakistan Journal of Weed Science Research*, 29, 179-185. DOI: 10.17582/journal.PJWSR/2023/29.3.179.185
- Kushwaha, H. B., Malik, C. P., (2012). Nanofabrication of Silver Nanoparticles From the Stem and Leaf Extract of *Verbesina encelioides*. *National Academy Science Letters*, 35, 555-563. DOI: 10.1007/s40009-012-0097-8
- Ledezma, A., Romero, J., Hernández, M., Moggio, I., Arias, E., Padrón, G., Orozco, V., Martínez, A., Torres, S., (2014). Síntesis biomimética de nanopartículas de plata utilizando extracto acuoso de nopal (*Opuntia sp.*) y su electrohilado polimérico. *Superficies y Vacío*, 27, 133-140.
- Li, S., Zhang, H., Cong, B., He, P., Liu, W., Liu, S., (2022). A Novel Ag@AgCl Nanoparticle Synthesized by Arctic Marine Bacterium: Characterization, Activity and Mechanism. *International Journal of Molecular Science*, 23, 1-18. DOI: 10.3390/ijms232415558
- López-Naranjo, E. J., Hernández-Rosales, I. P., Bueno-Durán, A. Y., Martínez-Aguilar, M. L., González-Ortiz, L. J., Pérez-Fonseca, A. A., Robledo-Ortiz, J. R., Sánchez-Peña, M. J., Manzano-Ramírez, A., (2018). Biosynthesis of silver nanoparticles using a natural extract obtained from an agroindustrial residue of the tequila industry. *Materials Letters*, 213, 278-281. DOI: 10.1016/j.matlet.2017.11.078
- Mandal, B. K., Chauhan, P. S., Mandal, R., Das, R., (2022). Green synthesis of AgCl nanoparticles using *Calotropis gigantea*: Characterization and their enhanced antibacterial activities. *Chemical Physics Letters*, 801, 1-9. DOI: 10.1016/j.cplett.2022.139699
- Marium, A., Kausar, A., Shah, S. M. A., Ashraf, M. Y., Akhtar, N., Akram, M., Riaz, M., (2019). Assessment of Cucumber Genotypes for Salt Tolerance Based on Germination and Physiological Indices. *Dose-Response* 17, 1-8. DOI: 10.1177/1559325819889809
- Marles, R. J., Farnsworth, N.R., (1995). Antidiabetic plants and their active constituents. *Phytomedicine*, 2, 137-189. DOI: 10.1016/S0944-7113(11)80059-0
- Milewska-Hendel, A., Zubko, M., Stróż, D., Kurczyńska, E. U., (2019). Effect of Nanoparticles Surface Charge on the *Arabidopsis thaliana* (L.) Roots Development and Their Movement into the Root Cells and Protoplasts. *Plant Cell and Organism Development*, 20, 1-22. DOI: 10.3390/ijms20071650
- Naim, R. H., Uddin M. B., Kabir, S. R., Asaduzzaman, A. K. M., Shaha, R. K., Hasan, I., (2024). Biosynthesis, antimicrobial and in vitro antiproliferative activities of silver/silver chloride nanoparticles from mixed fruit extracts of *Capsicum frutescens* and *Tamarindus indica*. *Food Chemistry Advances*, 5, 1-9. DOI: 10.1016/j.focha.2024.100773
- Nortjie, E., Basitere, M., Moyo, D., Nyamukamba, P., (2022). Extraction Methods, Quantitative and Qualitative Phytochemical Screening of Medicinal Plants for Antimicrobial Textiles: A Review. *Plants* 11, 1-17. DOI: 10.3390/plants11152011
- Pittola, M., Tomacheskia, D., Simõesa, D. N., Ribeiro, V. F., Santana, R. M. C., (2017). Macroscopic effects of silver nanoparticles and titanium dioxide on edible plant growth. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 8, 127-133. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enmm.2017.07.003>
- Ramírez-Herrera, A. D., Barbosa-Sabanero, G., Lazo-de-la-Vega-Monroy, M.-L., González-Domínguez, M. I., (2024). *Bougainvillea spectabilis* como mediadora para la biosíntesis de nanopartículas de plata, evaluación de su efecto antimicrobiano y citotóxico. *Biotecnia*, 26, 1-10. DOI: 10.18633/biotecnia.v26.2257
- Salazar-Gómez, A., Pablo-Pérez, S. S., Estévez-Carmona, M. M., Meléndez-Camargo, M. E., (2018). Diuretic activity of aqueous extract and smoothie preparation of *Verbesina crocata* in rat. *Bangladesh Journal of Pharmacology*; 13, 236-240. DOI: 10.3329/bjp.v13i3.27584
- Taladrid, I. J., Espinosa, M. B., (2021). Semillas de rabanitos (*Raphanus sativus L.*): observaciones de su morfología bajo microscopía electrónica, germinación y utilidad para estudios de fitotoxicidad. *Polibotánica*, 51, 171-183. DOI: 10.18387/polibotanica.51.11
- Tamanna, N. J., Hossain, Md., S., Bahadur, N. M., Ahmed, S., (2024). Green synthesis of Ag₂O & facile synthesis of ZnO and characterization using FTIR, bandgap energy & XRD (Scherrer equation, Williamson-Hall, size-train plot, Monshi-Scherrer model). *Results in Chemistry* 7, 1-10. DOI: 10.1016/j.rechem.2024.101313
- Téllez-de-Jesús, D. G., Flores-Lopez, N. S., Cervantes-Chávez, J. A., Hernández-Martínez, A. R., (2021). Antibacterial and antifungal activities of encapsulated Au and Ag nanoparticles synthesized using *Argemone mexicana L* extract, against antibiotic-resistant bacteria and *Candida albicans*. *Surfaces and Interfaces*, 27, 1-12. DOI: 10.1016/j.surfin.2021.101456
- Tripathi, S., Mahra, S., Sharma, S., Mathew, S., Sharma, S., (2024). Interaction of silver nanoparticles with plants: A focus on the phytotoxicity, underlying mechanism, and alleviation strategies. *Plant Nano Biology*, 9, 1-11. DOI: 10.1016/j.plana.2024.100082
- Vanlalveni, C., Ralte, V., Zohmingliana, H., Das, S., Anal, J. M. H., Lallianrawna, S., Rokhum, S. L., (2024). A review of microbes mediated biosynthesis of silver nanoparticles. *Heliyon*, 10, 1-37. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e32333
- Vashisth, A., Nagarajan, S., (2010). Effect on germination and early growth characteristics in sun flower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. *Journal of Plant Physiology*, 167, 149-156. DOI: 10.1016/j.jplph.2009.08.011
- Velasco-Ramírez, A. P., Velasco-Ramírez, A., Hernández-Herrera, R. M., Ceja-Esquivel, J., Velasco-Ramírez, S. F., Ramírez-Anguiano A. C., Torres-Morán, M. I., (2022). The Impact of Aqueous Extracts of *Verbesina sphaerocephala* and *Verbesina fastigiata* on Germination and Growth in *Solanum lycopersicum* and *Cucumis sativus* Seedlings. *Horticulturae*, 8, 1-15. DOI: 10.3390/horticulturae8070652
- Villanueva-Ibáñez, M., Yañez-Cruz, M. G., Álvarez-García, R., Hernández-Pérez, M.A., Flores-González, M.A., (2015). Aqueous corn husk extract-mediated green synthesis of AgCl and Ag nanoparticles. *Materials Letters* 152, 166–169. DOI: 10.1016/j.matlet.2015.03.097
- Wintachai P., Jaroensawat N., Harding P., Wiwasuku T., Mitsuwan W., Septama A. W., (2024). Antibacterial and antibiofilm efficacy of *Solanum lasiocarpum* root extract synthesized silver/silver chloride nanoparticles against *Staphylococcus haemolyticus* associated with bovine mastitis. *Microbial Pathogenesis*, 192, 1-11. DOI: 10.1016/j.micpath.2024.106724
- Zuverza-Mena, N., Armendariz, R., Peralta-Videa, J. R., Gardea-Torresdey, Jorge L., (2016). Effects of Silver Nanoparticles on Radish Sprouts: Root Growth Reduction and Modifications in the Nutritional Value. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1-11. DOI: 10.3389/fpls.2016.00090