

Aplicación de nanopartículas de plata y su relación con el crecimiento de fresa

Disraeli Eron Moreno-Guerrero¹

Catalino Jorge López-Collado^{1,§}

Santos Gerardo Leyva-Mir²

Sergio Humberto Chávez-Franco³

Alejandro Alonso-López¹

Diego Esteban Platas-Rosado¹

1 Colegio de Postgraduados-Campus Veracruz. Carretera Federal Xalapa-Veracruz km 88.5, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. CP. 91690. (moreno.disraeli@colpos.mx; dplatas@colpos.mx).

2 Departamento de Parasitología Agrícola-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Federal México- Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (leyvamir13@gmail.com).

3 Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo. Carretera Federal México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56230. (sergiocf@colpos.mx).

Autor para correspondencia: ljorge@colpos.mx.

Resumen

El empleo de nanopartículas de plata (NPsAg) se ha acrecentado recientemente, debido a su aplicación en distintas áreas de las ciencias. En plantas han mostrado diferentes efectos en función de la especie y la concentración. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de NPsAg vía foliar y vía raíz en dosis crecientes en el crecimiento de plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivar Festival. El experimento se estableció en invernadero en el campo agrícola experimental de la UACH, Texcoco, Estado de México, en los años 2022 y 2023. Como material vegetal se utilizaron plantas de fresa cultivar Festival que se colocaron en un sistema hidropónico abierto. Posteriormente, se aplicaron NPsAg vía foliar (0, 40, 80, 120, 160 mg L⁻¹) y vía raíz (0, 5, 10, 15, 20 mg L⁻¹) respectivamente. A los 56 días después del inicio de tratamientos se registró altura de planta, diámetro de corona, número de hojas, estolones, flores y frutos mostrando como resultados que, la dosificación vía foliar de NPsAg aumentó el diámetro de corona (25.8%), número de hojas (19.8%), flores (18.3%), frutos (28.3%) y estolones (50%) y la dosificación vía raíz incrementó altura de planta (11.9%), número de hojas (14.9%), flores (21.1%), frutos (31.8%) y estolones (31.8%). Como conclusión, la aplicación de NPsAg vía foliar y vía raíz incrementan las variables de crecimiento medidas en plantas de fresa cultivar Festival siendo las NPsAg una alternativa para la soberanía alimentaria.

Palabras clave:

Fragaria x ananassa Duch., desarrollo, frutillas, nanotecnología.



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

Introducción

El desarrollo de insumos agrícolas basados en nanomateriales, como nanofertilizantes y nanopesticidas ofrecen un gran potencial para mejorar la administración de insumos agrícolas suprimiendo la actividad patógena, mejorando el rendimiento y la calidad de los cultivos. Las NPsAg actualmente se incorporan a diversos productos de consumo, como textiles, cosméticos, pinturas y envases de alimentos (Zhang *et al.*, 2019). Actualmente, el sector agrícola debe producir de manera más factible económicamente y con el menor impacto ambiental siendo la nanotecnología una alternativa en la agricultura sostenible (Singh *et al.*, 2020).

Ciertos reportes destacan que, las nanopartículas biosintetizadas presentan un menor nivel de toxicidad que, las nanopartículas sintetizadas por métodos químicos debido a la estabilidad que muestran con compuestos orgánicos reduciendo así, los residuos tóxicos tanto en su síntesis como en su aplicación agronómica (Sadak, 2019). Las plantas superiores emplean las propiedades químicas de las NPsAg para la catálisis de reacciones claves, como centros activos de muchas enzimas o para mantener la estructura proteínica, por lo que son requeridas en cantidades mínimas para un buen metabolismo celular (Adisa *et al.*, 2019).

En aspectos de nutrición vegetal el proceso de acceso sucede cuando las NPsAg se encuentran potencialmente biodisponibles a nivel de raíz, a su vez, la absorción ocurre cuando las NPsAg atraviesan la membrana celular y así también, el transporte de dichas nanopartículas de plata ocurre en los sistemas vasculares; es decir, a nivel de xilema y floema y finalmente, la asimilación es cuando las NPsAg se incorporan al metabolismo vegetal generando determinado efecto (Ur Rahim *et al.*, 2021).

En un estudio en el cultivo de frijol de castilla (*Vigna sinensis*) y trigo (*Triticum aestivum*) se demostró que, la aplicación de 50 mg L⁻¹ y 70 mg L⁻¹ NPsAg respectivamente, aumentó el crecimiento y la biomasa, al estimular la actividad fisiológica, bioquímica y agronómica, por lo que, las NPsAg estimulan el crecimiento en diferentes cultivos (Yan y Chen, 2019).

Recientemente se investigó la actividad citotóxica y genotóxica en el cultivo de cebolla (*Allium cepa*) mediante el uso de NPsAg Bionag Argovit™ donde, se evaluó en un rango de concentración de 5 a 100 µg ml⁻¹; es decir, de 10 a 17 veces mayor que el utilizado para otras formulaciones de nanopartículas de plata con polivinilpirrolidona NPsAg-PVP en otros cultivos.

Se obtuvo como resultado que, no existió daño citotóxico ni genotóxico en las concentraciones evaluadas, destacando que, la relación metal-agente de recubrimiento juega un papel fundamental en esta respuesta y debe considerarse dentro de los parámetros fisicoquímicos clave para el diseño y fabricación de nanomateriales más seguros en la agricultura (Casillas-Figueroa *et al.*, 2020).

En México, en el año 2022 la superficie destinada a la producción de este cultivo fue de 12 913 ha; es decir, aproximadamente el 1% de la superficie nacional con una producción de 578 141 t (SIAP, 2024). Por lo que es de suma importancia incrementar el rendimiento y las características nutricionales del fruto de fresa. Se han realizado trabajos de investigación limitados sobre los efectos de las NPsAg en el crecimiento de fresa. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de NPsAg vía foliar y vía raíz a dosis crecientes en el crecimiento de plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) cultivar Festival.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el campo agrícola experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México, durante los años 2022 y 2023. El campo agrícola experimental está ubicado en 19.4661° de latitud norte y -98.8538° de longitud oeste a una altitud de 2 250 m.

Nanopartículas de plata

Se utilizó la formulación comercial Bionag Argovit™ de NPsAg (Centro de Investigación y producción vector-Vita, Novosibirsk, Rusia), que contienen 12 mg ml⁻¹ de plata metálica y 188 mg ml⁻¹ de PVP de 15-30 kD en agua, un contenido promedio de 20% NPsAg (200 mg L⁻¹ NPsAg) con un diámetro promedio hidrodinámico de la plata metálica con PVP de 70 nm (Juárez-Moreno *et al.*, 2016).

Material vegetal

Se emplearon plántulas de fresa cultivar Festival provenientes de Zamora, Michoacán, con características morfológicas iniciales de hojas (5), altura de planta (11.2 cm) y diámetro de corona (1.3 cm).

Manejo del experimento

Se emplearon bolsas de polietileno de 30 x 30 cm donde se utilizó como sustrato tezontle con una granulometría de 4 mm. La nutrición de las plantas se realizó con la solución nutritiva universal de Steiner (1984), la cual en forma completa está constituida por (en mol cm⁻³): 12 de NO₃⁻, 1 de H₂PO₄⁻, 7 de SO₄⁻², 7 K⁺, 9 de Ca⁺² y 4 de Mg⁺². El proceso de establecimiento de los experimentos de aplicación de NPsAg que fueron vía foliar y vía raíz se inició con la desinfección del sustrato tezontle con hipoclorito de sodio a una dosis de 40 ml L⁻¹, sumergiendo el tezontle en la solución desinfectante por 60 minutos y después se extrajo dicho sustrato y se enjuagó con agua durante tres veces finalizando con su solarización durante tres días.

Posteriormente, se establecieron sistemas de riego por goteo para proseguir con el trasplante de plantas de fresa cultivar Festival que se realizó el 2 de septiembre de 2022. La distancia entre las plantas fue de 30 cm y entre bloques de 1 m colocando una malla sombra durante los primeros 15 días para alcanzar niveles de temperatura (18 °C) y humedad relativa (70 %). A los siete días después del trasplante se aplicó la solución nutritiva universal de Steiner a una concentración de 30% para contribuir a uniformizar las plantas de fresa.

A los 45 días después del trasplante se aplicó la solución nutritiva de Steiner a una concentración de 60%. A los 90 días después del trasplante en la etapa fenológica de fructificación, se aplicó la solución nutritiva de Steiner a una concentración de 100%. Las plantas de fresa se irrigaron tres veces por día durante 7 min por cada riego a lo largo del ciclo biológico del cultivo.

Aplicación de nanopartículas de plata

Los experimentos de aplicación de nanopartículas de plata vía foliar y vía raíz consistieron en cinco tratamientos cada uno que fueron 0, 40, 80, 120 y 160 mg L⁻¹ y 0, 5, 10 15 y 20 mg L⁻¹ NPsAg respectivamente, aplicados en ocho intervalos diferentes; es decir, a los 7, 14, 21, 28, 35, 42, 49 y 56 días después del trasplante. Las dosis aplicadas se seleccionaron después de una revisión exhaustiva de literatura de investigaciones previas sobre la aplicación de NPsAg en plantas.

Los tratamientos con las dosis más altas de los experimentos de aplicación de nanopartículas de plata vía foliar y vía raíz fueron 160 mg L⁻¹ y 20 mg L⁻¹ respectivamente y se seleccionaron teniendo en cuenta la toxicidad de los metales en plantas superiores (Rezvani *et al.*, 2012).

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA), estableciendo cinco bloques con cinco tratamientos donde se ensayó cada tratamiento cuatro veces por experimento donde se diferenciaron por la forma de aplicación de NPsAg que fue vía foliar y vía raíz dando un total de 100 unidades experimentales por experimento. La unidad experimental fue una bolsa de polietileno negro 30 x 30 cm conteniendo una planta de fresa cultivar Festival.

Medición de rasgos morfológicos

Para los experimentos de aplicación de nanopartículas de plata vía foliar y vía raíz se seleccionaron al azar 25 plantas de cada experimento para la recolección de datos. Se marcaron cinco plantas por tratamiento de cada respectivo experimento para estimar crecimiento. A los 56 días después de la primera aplicación de NPsAg, se recopilaban datos para las siguientes variables de crecimiento.

Crecimiento

Se utilizaron las plantas seleccionadas al azar por cada experimento para evaluar las variables de crecimiento. Se registró altura de planta (cm), diámetro de corona (cm), número de hojas, flores, frutos y estolones y se promediaron los datos obtenidos.

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos, se realizó un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey, con un nivel de significancia de 0.05, utilizando el paquete estadístico Sas 9.4.

Resultados y discusión

Variables de crecimiento mediante la aplicación de nanopartículas de plata vía foliar y vía raíz

La aplicación vía foliar y raíz de nanopartículas de plata influyó en las variables de crecimiento de fresa, por lo cual a continuación se presentan los resultados de las pruebas de comparación de medias (Cuadro 1 y 2).

Cuadro 1. Altura de planta (cm), diámetro de corona (cm), número de hojas, número de flores, número de frutos y número de estolones de fresa cultivar Festival, asperjadas con 0, 40, 80, 120 y 160 mg L⁻¹ NPsAg Bionag ArgovitTM, a 56 días después del inicio de tratamientos vía foliar.

Tto. de NPsAg (mg L ⁻¹)	Altura de planta (cm)	Diámetro de corona (cm)	Núm. de hojas	Núm. de flores	Núm. de frutos	Núm. de estolones
0	17.5 ±0.8a	1.8 ±0.1c	10.8 ±0.6b	6.9 ±1c	6.7 ±0.7c	1.6 ±0.3b
40	18.4 ±0.1a	1.9 ±0.1bc	10.9 ±0.6b	7.7 ±0.6ab	8.6 ±0.4a	2.1 ±0.3a
80	18.2 ±1a	1.9 ±0.2b	12.6 ±1.1a	7.3 ±0.6bc	7.6 ±0.5b	2.4 ±0.3a
120	18.1 ±0.3a	2.2 ±0.1a	13 ±1.1	8.1 ±0.9a	7.9 ±0.9ab	2.2 ±0.4a
160	18.1 ±0.8a	2.0 ±0.1b	11.6 ±0.6b	8.2 ±0.4a	7.8 ±0.4b	2.1 ±0.4a
DMSH	0.939	0.174	0.921	0.774	0.752	0.449
R ²	0.228	0.3	0.443	0.385	0.292	0.184
CV	8.255	13.997	12.447	16.139	15.502	34.04

Medias con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). NPsAg= nanopartículas de plata.



Cuadro 2. Altura de planta (cm), diámetro de corona (cm), número de hojas, número de flores, número de frutos y número de estolones de fresa cultivar Festival, asperjadas con 0, 5, 10, 15 y 20 mg L⁻¹ NPsAg Bionag ArgovitTM, a 56 días después del inicio de tratamientos vía raíz.

Tto. de NPsAg (mg L ⁻¹)	Altura de planta (cm)	Diámetro de corona (cm)	Núm. de hojas	Núm. de flores	Núm. de frutos	Núm. de estolones
0	17.3 ±0.8c	1.9 ±0.2a	10.3 ±0.6b	7.3 ±0.9b	5.5 ±0.9b	2 ±0.7b
5	18.3 ±0.9b	2.1 ±0.2a	10.6 ±1.1b	8.6 ±0.6a	7.2 ±1.3a	2.7 ±0.4a
10	18.5 ±0.9b	2.1 ±0.2a	11.9 ±0.9a	8.1 ±0.8ab	7.1 ±1.1a	3 ±0.3a
15	19.4 ±0.5a	2 ±0.2a	11.1 ±1.2ab	8.9 ±1.4a	7 ±0.6a	2.6 ±0.2a
20	19.1 ±0.5ab	2 ±0.1a	11.1 ±0.6ab	8 ±0.7ab	7.2 ±1.3a	2.8 ±0.2a
DMSH	0.769	0.199	1.116	0.851	1.312	0.483
R ²	0.506	0.333	0.226	0.512	0.182	0.32
CV	6.611	15.538	16.13	16.506	30.796	29.26

Medias con letras diferentes en cada columna indican diferencias estadísticas entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$). NPsAg= nanopartículas de plata.

Altura de planta

La altura de planta no tuvo efecto mediante la aplicación vía foliar de 40, 80, 120 y 160 mg L⁻¹ NPsAg con respecto al tratamiento testigo de 0 mg L⁻¹ (Cuadro 1). Por otro lado, la altura de planta (19.38 cm) tuvo efecto a través de la aplicación vía raíz de 15 mg L⁻¹ NPsAg. No hubo diferencias estadísticas significativas en la altura de planta al aplicar vía raíz 5, 10 y 20 mg L⁻¹ (Cuadro 2).

Al respecto, Rezvani *et al.* (2012) en azafrán (*Crocus sativus*) y Sadak (2019) en fenogreco (*Trigonella foenum-graecum*) encontraron que, aplicaciones de nanopartículas de plata de 40 mg L⁻¹ acrecentaron la altura de plantas y mencionan que, las NPsAg actúan estimulando el incremento de los niveles del ácido indol-3-acético que es precursor de las auxinas y la disminución de los niveles del etileno.

Diámetro de corona

El tratamiento que generó mayor diámetro de corona (2.24 cm) fue la aplicación vía foliar de 120 mg L⁻¹ NPsAg. No hubo diferencias estadísticas significativas en el diámetro de corona al aplicar vía foliar 0, 40, 80 y 160 mg L⁻¹ (Cuadro 1). Por otra parte, el diámetro de corona no tuvo efecto mediante la aplicación vía raíz de 5, 10, 15 y 20 mg L⁻¹ NPsAg con respecto al tratamiento testigo de 0 mg L⁻¹ (Cuadro 2).

Incrementos en el diámetro de tallo (cm) fueron reportados por Gupta *et al.* (2018) en arroz (*Oryza sativa*), Das *et al.* (2018) en frijol (*Phaseolus vulgaris*), Byczyńska *et al.* (2019) en tulipán (*Tulipa gesneriana* L.) y Alkaç *et al.* (2022) en lilis hallaron que, aplicaciones de nanopartículas de plata de 40, 50, 100 y 50 mg L⁻¹ respectivamente, aumentaron el diámetro de tallo.

Se destaca que, las NPsAg intervienen mediante múltiples vías de señalización hormonal optimizando el proceso de síntesis y translocación de carbohidratos y proteínas y a su vez, eficientizan el proceso de absorción del macroelemento nitrógeno que optimiza la síntesis de proteínas, específicamente de glicoproteínas que son componentes esenciales de la pared celular en plantas superiores.

Número de hojas

Las plantas que tuvieron mayor número de hojas (12.6 y 13) fueron aquellas tratadas con la aplicación vía foliar de 80 y 120 mg L⁻¹ NPsAg. No hubo diferencias estadísticas significativas en el número de hojas al aplicar vía foliar 0, 40 y 160 mg L⁻¹ (Cuadro 1). Ahora bien, el tratamiento

que también generó mayor número de hojas (11.9) fue la aplicación vía raíz de 10 mg L⁻¹ NPsAg. No hubo diferencias estadísticas significativas en el número de hojas al aplicar vía raíz 0, 5, 15 y 20 mg L⁻¹ (Cuadro 2).

Aumentos en número de hojas fueron reportados por El-Batal *et al.* (2016) en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Vinkovik *et al.* (2017) en chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) y Sarmast y Salehi (2021) en tabaco (*Nicotiana tabacum*) descubrieron que, aplicaciones de nanopartículas de plata de 10, 0.01 y 50 mg L⁻¹ respectivamente, acrecentaron el número de hojas recalando que, las NPsAg aplicadas actúan como supresores de los genes y de las vías de señalización del etileno inhibiendo la abscisión de hojas y en consecuencia, se bioestiman los genes y las vías de señalización de las auxinas y citocininas que estimulan la división celular.

Número de flores

El tratamiento que generó mayor número de flores (8.1 y 8.16) fue la aplicación foliar de 120 y 160 mg L⁻¹ NPsAg. No hubo diferencias estadísticas significativas en el número de flores al aplicar vía foliar 0, 40 y 80 mg L⁻¹ (Cuadro 1). Por otro lado, el número de flores (8.65 y 8.9) tuvo efecto también mediante la aplicación vía raíz de 5 y 15 mg L⁻¹ NPsAg. No hubo diferencias estadísticas significativas en el número de flores al aplicar vía raíz 0, 10 y 20 mg L⁻¹ (Cuadro 2).

Al respecto, Safa *et al.* (2015) en gerbera (*Gerbera jamesonii* cv. 'Balance') y Salachna *et al.* (2019) en lirios orientales (*Lilium* cv. Mona Lisa) detectaron que, aplicaciones de nanopartículas de plata de 10, 50 y 100 mg L⁻¹ respectivamente, acrecentaron el número de flores por planta mencionando que, las NPsAg actúan como un tratamiento preventivo a la presencia de bacterias y hongos.

Así también, las NPsAg se correlacionan con la acumulación de proteínas asociadas al ciclo celular y al metabolismo de los carbohidratos y con cambios en la expresión de los genes involucrados en múltiples procesos celulares como la proliferación celular, la fotosíntesis y las vías de señalización de hormonas como las auxinas, el ácido abscísico y el etileno.

Número de frutos

El número de frutos (8.6) tuvo efecto a través de la aplicación vía foliar de 40 mg L⁻¹ NPsAg. No hubo diferencias estadísticas significativas en el número de frutos al aplicar vía foliar 80, 120 y 160 mg L⁻¹ (Cuadro 1). Por otra parte, el tratamiento que también generó mayor número de frutos (7.25, 7.1, 7.05 y 7.16) fue la aplicación vía raíz de 5, 10, 15 y 20 mg L⁻¹ NPsAg con respecto al tratamiento testigo de 0 mg L⁻¹ (Cuadro 2).

Incrementos en número de frutos fueron reportados por Shams *et al.* (2013) en pepino (*Cucumis sativus* cv. 'Negeen') y Younes y Nassef (2016) en jitomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) hallaron que, aplicaciones de nanopartículas de plata de 300 y 10 mg L⁻¹ acrecentaron el número de frutos por planta destacando que, las NPsAg intervienen activando la enzima superóxido dismutasa (SOD) que disminuye los niveles de estrés favoreciendo el óptimo crecimiento y desarrollo.

Asimismo, las NPsAg actúan aumentando la concentración del complejo de cisteína mediante la activación de la enzima sintetizadora de fitoquelatinas (gamma-glutamilcisteína dipeptidil transpeptidasa) haciendo más eficiente la protección de las células vivas, disminuyendo el estrés oxidativo y generando como resultado la optimización de la fotosíntesis y la respiración.

Número de estolones

Las plantas que tuvieron mayor número de estolones (2.1, 2.4, 2.25 y 2.1) fueron aquellas tratadas con la aplicación vía foliar de 40, 80, 120, y 160 mg L⁻¹ con respecto al tratamiento testigo de 0 mg L⁻¹ (Cuadro 1). Ahora bien, el tratamiento que también generó mayor número de estolones (2.75, 3, 2.6 y 2.79) fue la aplicación vía raíz de 5, 10, 15 y 20 mg L⁻¹ NPsAg con respecto al tratamiento testigo de 0 mg L⁻¹ (Cuadro 2).

Al respecto, Abbas y Abdulhussein (2021); Tung *et al.* (2021) en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) encontraron que, aplicaciones de nanopartículas de plata de 10 mg L⁻¹ acrecentaron el número

de estolones mencionando que, las NPsAg conforme a su tamaño y forma se da la capacidad por parte de la planta superior para poder accederlas, absorberlas, translocarlas y asimilarlas para activar diversos mecanismos enzimáticos implicados en procesos anabólicos y catabólicos como la fotosíntesis y respiración.

Así también, las NPsAg actúan inhibiendo la formación y actividad de etileno retrasando la senescencia mediante la supresión de la actividad de las enzimas hidrolíticas celulasas y pectinasas y en consecuencia, se bioestimula la síntesis de los reguladores de crecimiento auxinas y citocininas para la generación de nuevos brotes.

Conclusiones

Bajo los recientes reportes del presente trabajo de investigación y conforme al efecto de nanopartículas de plata, las aplicaciones de NPsAg vía foliar de 40 a 120 mg L⁻¹ mejoraron considerablemente las variables de crecimiento diámetro de corona (cm), número de hojas, flores, frutos y estolones; de la misma manera, la aplicación de NPsAg vía raíz de 10 a 15 mg L⁻¹ mejoraron las variables de crecimiento altura de plantas (cm), número de hojas, flores, frutos y estolones. Esto demuestra que las NPsAg pueden lograr un aumento en el rendimiento, disminuir los costos y el tiempo de producción de fresa cultivar Festival y ser una alternativa viable en la agricultura y en consecuencia, en la soberanía alimentaria de México.

Bibliografía

- 1 Abbas, H. K. and Abdulhussein, M. A. 2021. Improving shoot multiplication of strawberry (*Fragaria ananassa* L. Cv. Roby Gem) *in vitro* by using agnps and iron nanoparticles. Nveo-Natural Volatiles & Essential Oils. 7(14):2521-2530.
- 2 Adisa, I. O.; Pullagurala, V. L. R.; Peralta-Videa, J. R.; Dimkpa, C. O.; Elmer, W. H.; Gardea-Torresdey, J. L. and White, J. C. 2019. Recent advances in nano-enabled fertilizers and pesticides: a critical review of mechanisms of action. Environmental Science: Nano. 6(7):2002-2030. <https://doi.org/10.1039/C9EN00265K>.
- 3 Alkaç, O. S.; Öcalan, O. N. and Güneş, M. 2022. Effect of silver nanoparticles treatments on some characteristics of "santander" Lily cultivar. Turkish Journal of Agriculture Food Science and Technology. 10(2):125-128. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v10i2.125-128.4386>.
- 4 Byczyńska, A.; Zawadzka, A. and Salachna, P. 2019. Silver nanoparticles preplant bulb soaking affects tulip production. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science. 69(3):250-256. <https://doi.org/10.1080/09064710.2018.1545863>.
- 5 Casillas-Figueroa, F.; Arellano-García, M. E.; Leyva-Aguilera, C.; Ruíz-Ruiz, B.; Luna Vázquez-Gómez, R.; Radilla-Chávez, P.; Chávez-Santoscoy, R. A.; Pestryakov, A.; Toledano-Magaña, Y.; García-Ramos, J. C. and Bogdanchikova, N. 2020. Argovit™ silver nanoparticles effects on *Allium cepa*: plant growth promotion without cyto genotoxic damage. Nanomaterials. 10(7):1386-1406. <https://doi.org/10.3390/nano10071386>.
- 6 Das, P.; Barua, S.; Sarkar, S.; Karak, N.; Bhattacharyya, P.; Raza, N.; Bhattacharyya, P.; Raza, N.; Kim, K. H. and Bhattacharya, S. S. 2018. Plant extract mediated green silver nanoparticles: efficacy as soil conditioner and plant growth promoter. Journal of Hazardous Materials. 201862(346):62-72. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.12.020>.
- 7 El-Batal, A. I.; Gharib, F. A. E. L.; Ghazi, S. M.; Hegazi, A. Z. and Hafz, A. G. M. A. E. 2016. Physiological responses of two varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to foliar application of silver nanoparticles. nanomaterials and nanotechnology. 6(13):1-16. <https://doi.org/10.5772/62202>.
- 8 Gupta, S. D.; Agarwal, A. and Pradhan, S. 2018. Phytostimulatory effect of silver nanoparticles (AgNPs) on rice seedling growth: an insight from antioxidative enzyme activities and gene

- expression patterns. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018624(161):624-633. [10.1016/j.ecoenv.2018.06.023](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.06.023).
- 9 Juárez-Moreno, K.; González, E. B.; Girón-Vázquez, N.; Chávez-Santoscoy, R.; Mota-Morales, J. and Perez-Mozqueda, L. 2016. Comparison of cytotoxicity and genotoxicity effects of silver nanoparticles on human cervix and breast cancer cell lines. *Human & Experimental Toxicology*. 36(9):931-948. <https://doi.org/10.1177/0960327116675206>.
- 10 Rezvani, N.; Sorooshzadeh, A. and Farhadi, N. 2012. Effect of nano-silver on growth of saffron in flooding stress. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*. 6(1):11-16.
- 11 Sadak, M. S. 2019. Impact of silver nanoparticles on plant growth, some biochemical aspects, and yield of fenugreek plant (*Trigonella foenum-graecum*). *Bulletin of the National Research Centre*. 43(1):1-6. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0077-y>.
- 12 Safa, Z.; Hashemabadi, D.; Kaviani, B.; Nikchi, N. and Zarchini, M. 2015. Studies on quality and vase life of cut *Gerbera jamesonii* cv. 'Balance' flowers by silver nanoparticles and chlorophenol. *Journal of Environmental Biology*. 36(2):425-431.
- 13 Salachna, P.; Byczyńska, A.; Zawadzka, A.; Piechocki, R. and Mizielińska, M. 2019. Stimulatory effect of silver nanoparticles on the growth and flowering of potted oriental lilies. *Agronomy*. 9(10):610-624. <https://doi.org/10.3390/agronomy9100610>.
- 14 Sarmast, M. K. and Salehi, H. 2021. Sub-lethal concentrations of silver nanoparticles mediate a phytostimulatory response in tobacco via the suppression of ethylene biosynthetic genes and the ethylene-signaling pathway. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*. 58(2022):1-14. <https://doi.org/10.1007/s11627-021-10193-1>.
- 15 Shams, G.; Ranjbar, M. and Amiri, A. 2013. Effect of silver nanoparticles on concentration of silver heavy element and growth indexes in cucumber (*Cucumis sativus* cv. negeen). *Journal of Nanoparticle Research*. 1630(15):1-12. <https://doi.org/10.1007/s11051-013-1630-5>.
- 16 SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Avance de siembras y cosechas resumen nacional. <https://nube.siap.gob.mx/avance-agricola/>.
- 17 Singh, R. P.; Handa, R. and Manchanda, G. 2020. Nanoparticles in sustainable agriculture: an emerging opportunity. *Journal of Controlled Release*. 329(2021):1234-1248. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2020.10.051>.
- 18 Steiner A. A. 1984. The universal nutrient solution. Proceeding 6th International Congress on soilless culture. ISOSC. Lunteren, Netherlands. 633-650 pp.
- 19 Tung, H. T.; Thuong, T. T.; Cuong, D. M.; Luan, V. Q.; Hien, V. T.; Hieu, T.; Nam, B. M.; Phuong, H. T. N.; Vinh, V. B. T.; Khai, H. D. and Nhut, D. T. 2021. Silver nanoparticles improved explant disinfection, *in vitro* growth, runner formation and limited ethylene accumulation during micropropagation of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*. 145(2):393-403. <https://doi.org/10.1007/s11240-021-02015-4>.
- 20 Ur Rahim, H.; Qaswar, M.; Uddin, M.; Giannini, C.; Herrera, M. L. and Rea, G. 2021. Nano-enable materials promoting sustainability and resilience in modern agriculture. *Nanomaterials*. 11(8):2068-2095. <https://doi.org/10.3390/nano11082068>.
- 21 Vinković, T.; Novák, O.; Strnad, M.; Goessler, W.; Jurašin, D. D.; Parašiković, N. and Vrhek, I. V. 2017. Cytokinin response in pepper plants (*Capsicum annuum* L.) exposed to silver nanoparticles. *Environmental Research*. 201710(156):10-18. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.015>.
- 22 Yan, A. and Chen, Z. 2019. Impacts of silver nanoparticles on plants: a focus on the phytotoxicity and underlying mechanism. *International Journal of Molecular Sciences*. 20(5):1003-1024. <https://doi.org/10.3390/ijms20051003>.

- 23 Younes, N. A. and Nassef, D. M. T. 2016. Effect of silver nanoparticles on salt tolerancy of tomato trans-plants (*Solanum lycopersicom* Mill.). Assiut Journal of Agricultural Sciences. 46(6):76-85. <https://doi.org/10.21608/ajas.2016.522>.
- 24 Zhang, W.; Ke, S.; Sun, C.; Xu, X.; Chen, J. and Yao, L. 2019. Fate and toxicity of silver nanoparticles in freshwater from laboratory to realistic environments: a review. Environmental Science and Pollution Research. 8(26):7390-7404. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04150-0>.



Aplicación de nanopartículas de plata y su relación con el crecimiento de fresa

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 January 2025
Date accepted: 01 March 2025
Publication date: 02 August 2025
Publication date: Jul-Aug 2025
Volume: 16
Issue: 5
Electronic Location Identifier: e3738
DOI: 10.29312/remexca.v16i5.3738

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Fragaria x ananassa Duch.

desarrollo

frutillas

nanotecnología.

Counts

Figures: 0

Tables: 2

Equations: 0

References: 24

Pages: 0