

Artículo

# Biosíntesis de nanopartículas de plata mediante *Trichoderma asperellum* y su impacto en el crecimiento vegetativo del maíz (*Zea mays* L.)

## *Biosynthesis of silver nanoparticles by Trichoderma asperellum and its impact on vegetative growth of corn (Zea mays L.)*

Daicy Verónica Rios-Catota <sup>1,\*</sup>, Ana Ruth Álvarez-Sánchez <sup>1</sup> y José Humberto Vera-Rodríguez <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Unidad de Posgrado, Maestría en Biotecnología Agropecuaria. Quevedo, Ecuador, 120550; <https://orcid.org/0000-0002-8650-9582>, [daicy.rios2016@uteq.edu.ec](mailto:daicy.rios2016@uteq.edu.ec); <https://orcid.org/0000-0003-2780-8600>, [aalvarezs@uteq.edu.ec](mailto:aalvarezs@uteq.edu.ec).

<sup>2</sup> Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Ciencias Agrarias, Santa Elena, Ecuador, 240207; <https://orcid.org/0000-0003-3027-059X>, [jvera7569@upse.edu.ec](mailto:jvera7569@upse.edu.ec).

\* Correspondencia: [daicy.rios2016@uteq.edu.ec](mailto:daicy.rios2016@uteq.edu.ec)

 <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n2/57>

**Cita:** Rios-Catota, D. V., Álvarez-Sánchez, A. R., & Vera-Rodríguez, J. H. (2025). Biosíntesis de nanopartículas de plata mediante *Trichoderma asperellum* y su impacto en el crecimiento vegetativo del maíz (*Zea mays* L.). *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 3(2), 148-158. <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n2/57>

**Recibido:** 10/04/2025  
**Revisado:** 23/05/2025  
**Aceptado:** 25/05/2025  
**Publicado:** 28/05/2025



**Copyright:** © 2025 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)**.

[\(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

**Resumen:** Se investigó el efecto de nanopartículas de plata (AgNPs) biosintetizadas con el hongo *Trichoderma asperellum* en el crecimiento de *Zea mays* L. La síntesis de AgNPs se evidenció por un cambio colorimétrico y se confirmó espectrofotométricamente con un pico a 430 nm; el FT-IR mostró biomoléculas del hongo en las nanopartículas, y el AFM reveló partículas triangulares de 25-75 nm. Se realizó un experimento en Santa María del Toachi con un diseño aleatorizado que incluyó cinco tratamientos: control, fertilización NPK y AgNPs a 1%, 2% y 3%, evaluando variables como germinación, altura de planta, diámetro del tallo y longitud radicular a los 20 días. El análisis estadístico mediante ANOVA y la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) mostró que tanto el NPK como las AgNPs mejoraron la germinación, pero las AgNPs promovieron un crecimiento significativamente mayor en altura, diámetro y longitud radicular en comparación con el NPK. Estos resultados sugieren que las AgNPs biosintetizadas por *T. asperellum* tienen un potencial considerable para mejorar el crecimiento vegetativo temprano del maíz.

**Palabras clave:** cultivo; desarrollo; hongo; planta; molecular.

**Abstract:** The effect of silver nanoparticles (AgNPs) biosynthesized with the fungus *Trichoderma asperellum* on the growth of *Zea mays* L. was investigated. AgNP synthesis was evidenced by a colorimetric change and confirmed spectrophotometrically with a peak at 430 nm; FT-IR showed fungal biomolecules in the nanoparticles, and AFM revealed triangular particles of 25–75 nm. An experiment was conducted in Santa María del Toachi with a randomized design that included five treatments: control, NPK fertilization and AgNPs at 1%, 2% and 3%, evaluating variables such as germination, plant height, stem diameter and root length at 20 days. Statistical analysis using ANOVA and Tukey's test ( $p < 0.05$ ) showed that both NPK and AgNPs improved germination, but AgNPs promoted significantly greater growth in root height, diameter, and length compared to NPK. These results suggest that AgNPs biosynthesized by *T. asperellum* have considerable potential to improve early vegetative growth of maize.

**Keywords:** cultivation; development; fungus; plant; molecular.

## 1. Introducción

La síntesis de nanopartículas de plata ha emergido como un área de interés en la investigación científica debido a sus amplias aplicaciones en campos como la medicina, la agricultura y la tecnología (García-Núñez et al., 2025). En particular, el uso de microorganismos en la producción de estas nanopartículas ofrece un enfoque biológico y sostenible que puede reemplazar los métodos químicos tradicionales (Jiménez et al., 2024). Este estudio se enfoca en la utilización de *Trichoderma asperellum*, un hongo filamentoso conocido por sus propiedades benéficas en el suelo y su capacidad para promover el crecimiento de las plantas (Vera et al., 2025b).

El hongo *T. asperellum* es reconocido por su actividad fungicida y su capacidad para mejorar la salud del suelo (Jeres-Caguana et al., 2025). Además, este hongo tiene la capacidad de interactuar con las raíces de las plantas, fomentando un ambiente propicio para el crecimiento (Vera Rodríguez et al., 2024). Al investigar su potencial en la síntesis de nanopartículas de plata, se abre una nueva vía para explorar cómo estas nanopartículas pueden influir en el crecimiento vegetativo de especies agrícolas como el maíz (Lira Saldivar et al., 2018).

El maíz es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, no solo por su valor alimenticio, sino también por su papel en la economía global, la FAO estimó que la producción mundial de maíz para la temporada 2023/2024 fue de aproximadamente 500 millones de toneladas (Vera et al., 2024a). Sin embargo, el crecimiento y desarrollo del maíz pueden verse afectados por diversos factores, incluyendo patógenos del suelo y condiciones adversas (bióticas como abióticas) como estrés por falta de agua (sequía), inundaciones, altas y bajas temperaturas, daño por granizo y mala fertilidad del suelo (Vera-Rodríguez et al., 2021). La aplicación de nanopartículas de plata, sintetizadas biológicamente, podría ofrecer una solución innovadora para mejorar la resistencia de las plantas y, por ende, su rendimiento (Esquivel-Figueroa & Mas-Diego, 2021).

La nanotecnología ha emergido como una herramienta prometedora en la agricultura, ofreciendo soluciones para mejorar la salud de las plantas y el rendimiento de los cultivos (Ávila-Quezada et al., 2024). La síntesis biológica de nanopartículas ofrece ventajas significativas sobre los métodos químicos, incluyendo la reducción de residuos tóxicos y la posibilidad de obtener partículas con características más ajustadas a las necesidades específicas de las aplicaciones agrícolas al utilizar microorganismos o sus biopolímeros como agentes reductores y estabilizadores (Aguilar et al., 2021).

Es crucial entender los mecanismos a través de los cuales estas nanopartículas pueden influir en el crecimiento de las plantas (Reyes-Pérez et al., 2025). Las nanopartículas de plata (AgNPs) han mostrado propiedades antimicrobianas y fitosanitarias, protegiendo a las plantas de enfermedades y promoviendo un ambiente más saludable para su desarrollo (Ramírez-Herrera et al., 2024). Este aspecto es fundamental para diseñar estrategias que mejoren la producción agrícola de manera sostenible.

El presente estudio no solo busca establecer una relación entre la síntesis de nanopartículas de plata mediante *T. asperellum* y su impacto en el maíz, sino que también pretende contribuir al entendimiento de cómo los agentes biológicos pueden ser utilizados en la agricultura moderna. Este hongo libera metabolitos que poseen la capacidad de reducir los iones de plata a su forma nanométrica y estabilizar las nanopartículas formadas, evitando su agregación, la integración de tecnologías biotecnológicas en la agricultura podría revolucionar la manera en que se cultivan los alimentos y se gestionan los recursos naturales (Vera Rodríguez et al., 2024).

Finalmente, esta investigación se inscribe en la agricultura sostenible y la biotecnología, buscando mejorar el rendimiento de cultivos con respeto ambiental, contribuyendo al ODS 2 (hambre cero). La biosíntesis de AgNPs con *T. asperellum* apoya el ODS 12 (producción y consumo responsables) al ser una alternativa limpia a métodos químicos. Su menor demanda energética y residuos favorecen el ODS 13 (acción por el clima), transformando la agricultura convencional. El objetivo fue evaluar el impacto de AgNPs biosintetizadas con *T. asperellum* en el crecimiento del maíz (*Zea mays* L.).

## 2. Materiales y Métodos

### Sitio de estudio

La obtención de las nanopartículas de plata (AgNPs) biosintetizadas por *Trichoderma asperellum* se procedió en los laboratorios de Química y Bioquímica de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), mientras que el establecimiento del cultivo de maíz para comprobar la parte experimental se realizó en la finca “La Esperanza” de la parroquia Santa María del Toachi de Santo Domingo de los Tsáchilas (N 0°64'12,81'', E 79°23'30,12'').

### Obtención de la cepa de *T. asperellum*

Se empleó una cepa de hongo *T. asperellum* 100 % pura, de 326 pares de base (pb) de longitud, caracterizada molecularmente bajo el fragmento beta-tubulina (BtuB) para confirmar su identidad, accesión ([PP596864.1](#)) propiedad de Vera et al. (2025b).

### Producción de biomasa de *T. asperellum*

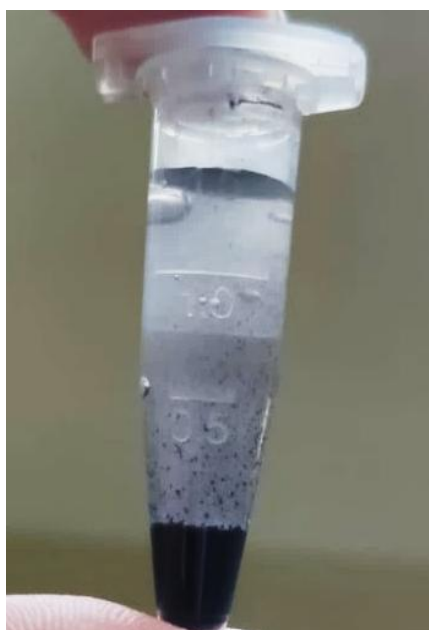
Se generó biomasa del hongo tomando 2 gramos del micelio del hongo de la placa Petri e inoculando en 100 mL de medio líquido Potato Dextrose Broth (PDB) previamente esterilizado en autoclave. El cultivo se mantuvo en agitación constante a 150 rpm durante 72 horas a 28°C en una incubadora orbital. Transcurrido este periodo de tiempo se realizó el filtrado con la ayuda de un papel filtro.

### Síntesis de nanopartículas

Para la síntesis de AgNPs se preparó una solución de 0,017 gramos de nitrato de plata  $\text{AgNO}_3$  diluido en 100 mL de agua destilada a la que se le colocó 5 mL del filtrado de *T. asperellum*. Se mantuvo en reposo la mezcla bajo oscuridad a temperatura ambiente durante 20 minutos. Después se calentó a 60 °C por 15 minutos, se observó el cambio de coloración a marrón amarillento como un indicativo de la formación de nanopartículas de plata. Se ajustó el pH a 9. Luego se recuperó y purificó las nanopartículas del medio acuoso con la ayuda de una centrifugada a 5000 rpm durante 20 minutos a 20 °C, fue separado el sobrenadante para el establecimiento de las concentraciones para los tratamientos (Figura 1).

### Figura 1.

Eppendorf con nanopartículas de plata sintetizadas por *T. asperellum*



A una muestra del producto final se midió su absorbancia por espectroscopia ultravioleta-visible (UV-VIS) en un espectrofotómetro marca HACH modelo DR 3900 a una longitud de onda de 850 nm.

Se prestó los servicios del Centro de Nanociencia y Nanotecnología (CENCINAT) de la Escuela Superior Politécnica del Ejército (ESPE) para efectuar los análisis de (AFM) mediante microscopio de fuerza atómica y FT-IR por espectrógrafo infrarrojo.

### Establecimiento de los tratamientos y cultivo

Con el sedimento obtenido, producto de la síntesis de AgNPs con *T. asperellum* se establecieron concentraciones al 1%, 2% y 3%, es decir 1 gramo de AgNPs diluido por cada 100 mL de agua destilada, como referencia.

Para el establecimiento del cultivo de maíz se utilizó recipientes plásticos de 2 Kg de capacidad, llenadas con sustrato orgánico de contenido 1 % (NPK) y 18,4 % de materia orgánica, el genotipo de semilla híbrida utilizado fue TRUENO® AGRIPAC, sembrando una semilla por maceta, considerada como unidad experimental (UE).

La frecuencia de aplicación de los tratamientos se dio en cuatro ocasiones cada 5 días de iniciada la siembra hasta que el maíz alcanzara su estadio V3 de la etapa vegetativa, es decir hasta que tuviera su tercera hoja verdadera (20 días). Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación de las semillas, altura de la planta, diámetro del tallo y largo radicular.

### Diseño experimental

El estudio fue de tipo experimental bajo un diseño completamente aleatorizado DCA para el cual se estableció 5 tratamientos: T1 (Control); T2 (NPK 12,3-16-20) 4,5 g/planta); T3 (AgNPs 1%); T4 (AgNPs 2%); T5 (AgNPs 3%), cada tratamiento contó con 10 réplicas, en total 50 UE.

Los datos recolectados durante la experimentación fueron analizados mediante un análisis de varianza simple ANOVA, se realizó una post-hoc (HSD) de Tukey  $p < 0,05$ . Los datos fueron tabulados en el software estadístico InfoStat versión 2020.

## 3. Resultados y discusión

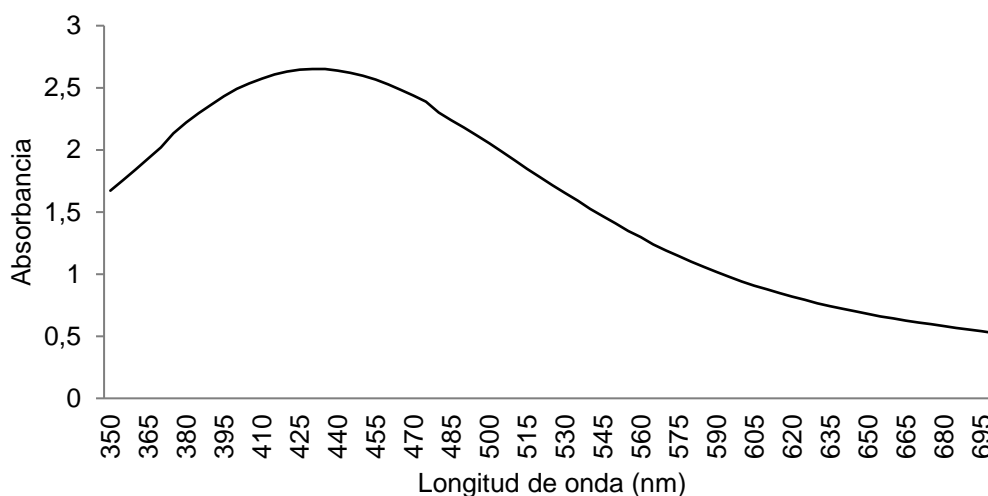
### 3.1. Caracterización de las nanopartículas

#### 3.1.1. Absorbancia por espectroscopia ultravioleta-visible (UV-VIS)

La Figura 2 muestra la curva de absorbancia producto de la espectroscopia ultravioleta-visible (UV-VIS) realizada a la muestra de nanopartículas de plata (AgNPs) sintetizadas por *T. asperellum*.

**Figura 2.**

Absorbancia de la espectroscopia ultravioleta-visible (UV-VIS).



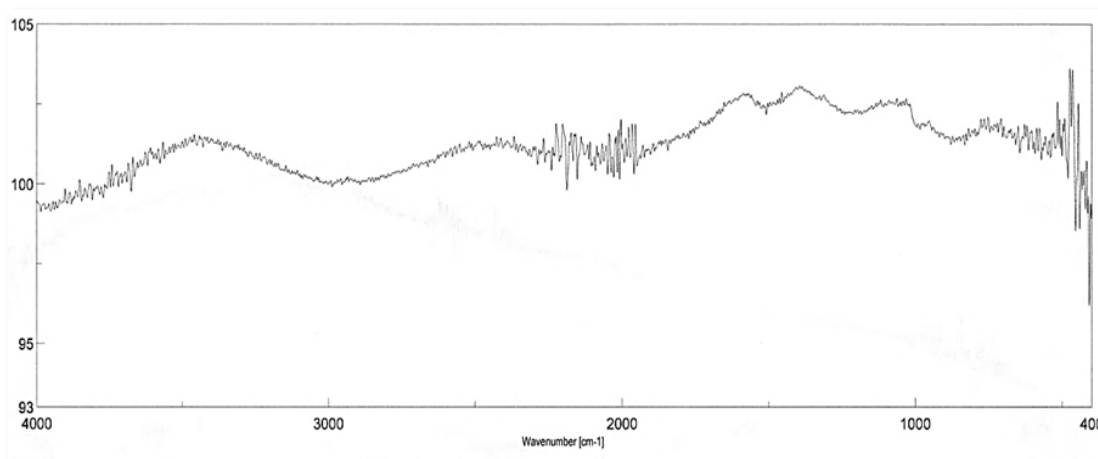
Se registró una absorbancia de 2,65 con un pico máximo de longitud de onda a 430 nm, indicando la presencia de AgNPs en la muestra analizada. Este pico máximo de absorbancia observado se encuentra dentro del rango típicamente reportado para nanopartículas de plata esféricas (Agreda & Aldama, 2016). La alta intensidad del pico de absorbancia sugiere una concentración relativamente alta de nanopartículas de plata en la muestra analizada (Espinoza & Ballardo, 2024).

### 3.1.2. FT-IR

El espectro FT-IR de la Figura 3 muestra la transmitancia o absorbancia de las nanopartículas de plata en función del número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ ).

**Figura 3.**

Espectro FT-IR de la nanopartícula de plata



En las regiones analizadas entre 400-4000  $\text{cm}^{-1}$ , se hallaron picos correspondientes a enlaces que están asociados a grupos funcionales como alcoholes, aminas, ácidos carboxílicos, ésteres y amidas. La presencia de ciertas bandas indica la presencia de biomoléculas o compuestos químicos utilizados en la síntesis de las nanopartículas de plata. Estas bandas pueden proporcionar información sobre la naturaleza química de la superficie de las nanopartículas de plata, por la presencia de moléculas orgánicas adsorbidas durante o después de la síntesis (Rivera Denis et al., 2021). Esto se debe a los compuestos químicos presente en el hongo *T. asperellum*. Estas moléculas orgánicas pueden adsorberse en la superficie de las nanopartículas de plata, proporcionando estabilidad e impidiendo la agregación (García-Martínez, 2006).

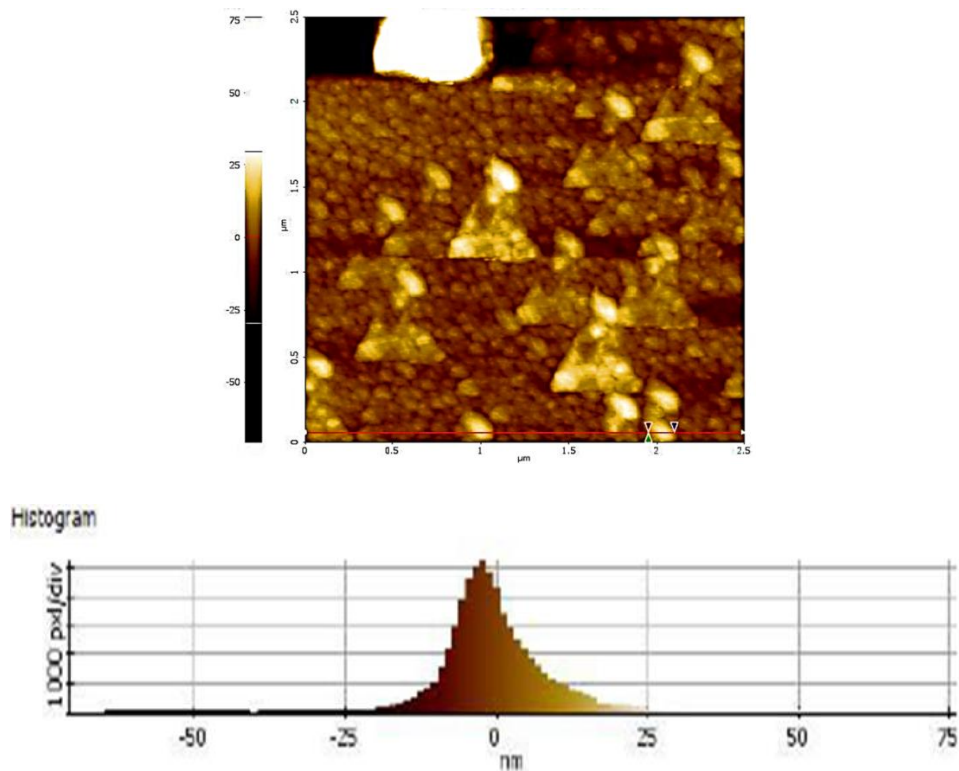
### 3.1.3. AFM

La Figura 4 y 5 muestra una imagen de microscopía de fuerza atómica (AFM) de una muestra de nanopartículas de plata sintetizada.

La imagen AFM revela la presencia de nanopartículas de plata con una morfología predominantemente triangular, distribuidas sobre una superficie ligeramente rugosa con tamaños que oscilan entre 25 y 75 nm. Esta observación de formas triangulares en nanopartículas de plata es consistente con estudios previos que han demostrado que la morfología de las nanopartículas de plata puede ser controlada mediante la manipulación de las condiciones de síntesis, incluyendo la concentración de los reactivos, la temperatura y el uso de agentes directores de crecimiento (Díaz Acosta, 2019). Por ejemplo, Cuervo-Osorio et al. (2024) reportaron la síntesis de nanopartículas de plata triangulares utilizando un método fotoquímico, destacando la influencia de la cinética de crecimiento en la obtención de formas anisotrópicas (Figura 4).

**Figura 4.**

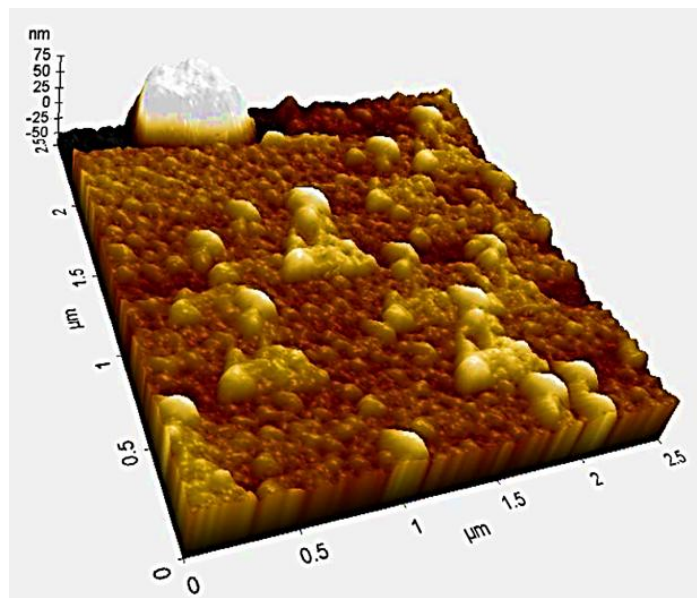
Microscopía de fuerza atómica de muestra de nanopartícula de plata

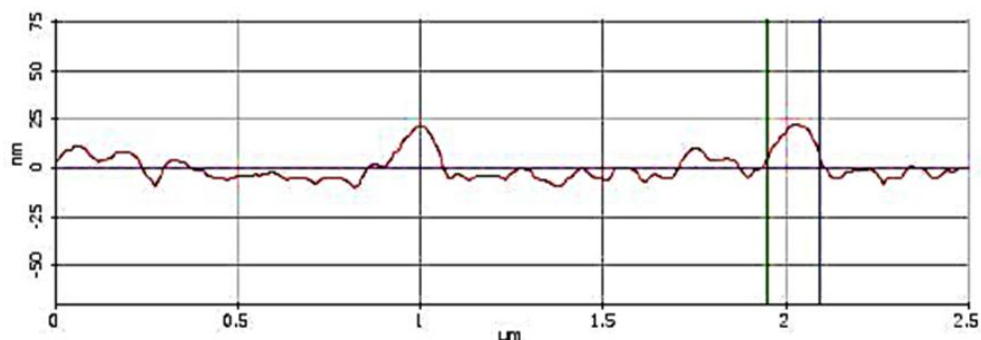


El perfilado de líneas mostró una altura de 25 nm. El perfil muestra las variaciones en la altura de la superficie a lo largo de la línea trazada (Figura 5). La AFM se destaca por su habilidad para analizar la morfología superficial a escala nanométrica, ofreciendo imágenes tridimensionales y perfiles de altura que son esenciales en diversas áreas de la ciencia de materiales y la nanotecnología (Carreño & Gómez, 2015).

**Figura 5.**

Perfil de sección transversal 3D de la nanopartícula de plata





### 3.2. Parámetros agronómicos

La Tabla 1 presenta los resultados de los parámetros agronómicos del maíz híbrido Trueno bajo el efecto de las nanopartículas de plata sintetizadas con *T. asprellum* durante la etapa vegetativa, estadio V3 del cultivo.

**Tabla 1.** Parámetros agronómicos del maíz bajo el efecto de nanopartículas de plata sintetizadas con *T. asprellum*.

Variable	Unidad	Tratamientos					E.E.
		T1	T2	T3	T4	T5	
Porcentaje de germinación	%	90 b	100 a	100 a	100 a	100 a	1,05
Altura de la planta 20 DDS	cm	21,60 d	29,60 d	34,00 c	43,90 b	44,90 a	2,66
Diámetro del tallo 20 DDS	cm	0,78 cd	0,80 cd	0,83 c	0,96 b	1,2 a	0,08
Largo radicular 20 DDS	cm	19,3 d	25,5 c	27,3 b	34,5 a	34,80 a	2,19

T1 (Control); T2 (NPK); T3 (AgNPs 1%); T4 (AgNPs 2%); T5 (AgNPs 3%). Las medias de los grupos con letras diferentes en una misma fila (a, b, c, d) son significativamente diferentes según el análisis estadístico. DDS= días después de la siembra.

#### 3.2.1. Porcentaje de germinación

Los resultados presentados sugieren que la aplicación de fertilizante NPK (T2) y las nanopartículas de plata en las tres concentraciones probadas (T3, T4 y T5) tuvieron un efecto positivo en el porcentaje de germinación en comparación con el grupo control (T1). El grupo control (T1) mostró un porcentaje de germinación ligeramente inferior (90%) y fue estadísticamente diferente de los demás tratamientos.

Los efectos de las AgNPs en la germinación de semillas son variados, con estudios que reportan efectos tanto positivos como negativos dependiendo de la concentración, el tipo de planta y las características de las nanopartículas (Pérez-Hernández et al., 2024). Algunos estudios sugieren que bajas concentraciones de AgNPs pueden incluso promover la germinación en ciertas especies según Rodríguez-González & Díaz-Cervantes, (2024).

#### 3.2.2. Altura de la planta

La aplicación de nanopartículas de plata, especialmente en concentraciones del 2% y 3%, promueve significativamente el crecimiento en altura de las plántulas de maíz a los 20 DDS, superando incluso el efecto del fertilizante NPK en este parámetro. Estos resultados sugieren un potencial beneficio del uso de AgNPs en la agricultura para mejorar el crecimiento temprano de las plantas.

Estos hallazgos indican que las AgNPs, en las concentraciones evaluadas, pueden tener un efecto promotor del crecimiento en las plántulas de maíz. Este efecto podría atribuirse a varios mecanismos, incluyendo la posible mejora en la absorción de nutrientes, la estimulación de la actividad fotosintética o efectos antimicrobianos que favorecen un ambiente radicular saludable (Pérez-Hernández et al., 2024). Sin embargo, es importante notar que los efectos de las nanopartículas en las plantas pueden ser dependientes de la especie, el tipo y tamaño de las nanopartículas, la concentración y las condiciones ambientales (Sánchez-Valdés et al., 2024).

#### 3.2.3. Diámetro del tallo

Los resultados presentados en la tabla 1 indican que la aplicación de nanopartículas de plata (AgNPs) tuvo un efecto positivo y dependiente de la concentración en el diámetro del tallo de las plántulas de maíz a los 20 días después de la siembra. En contraste, la aplicación de fertilizante NPK no mostró un efecto significativo en el diámetro del tallo en comparación con el grupo

control. Este resultado propone que las AgNPs pueden influir positivamente en el desarrollo del tallo temprano, posiblemente a través de la mejora de la división y elongación celular, o mediante la alteración de las vías metabólicas relacionadas con el crecimiento secundario temprano (Pérez-Hernández et al., 2024).

A diferencia de lo observado en la altura de la planta, el tratamiento con NPK (T2) no produjo un aumento significativo en el diámetro del tallo en comparación con el control (T1). Esto sugiere que, en las etapas tempranas del desarrollo (20 DDS), el fertilizante NPK puede estar más enfocado en promover el crecimiento longitudinal (altura) que el crecimiento radial. Sin embargo, es importante considerar que el NPK es crucial para el desarrollo general de la planta y su efecto en el diámetro del tallo podría ser más evidente en etapas posteriores del crecimiento (Rengifo et al., 2024).

#### 3.2.4. Largo radicular

Tanto el fertilizante NPK como las nanopartículas de plata en concentraciones del 1%, 2% y 3% promueven significativamente el crecimiento de la raíz en las plántulas de maíz a los 20 DDS. El efecto de las AgNPs fue más pronunciado que el del NPK. Un sistema radicular más largo y desarrollado en las etapas tempranas es fundamental para el establecimiento exitoso de la planta y su capacidad para acceder a los recursos del suelo (Vargas Ríos, 2011). El efecto promotor de las AgNPs en el crecimiento radicular podría deberse a varios mecanismos (Sánchez-Valdés et al., 2024). Algunos estudios sugieren que las AgNPs en bajas concentraciones pueden mejorar la germinación y el crecimiento de las plántulas al influir en el metabolismo de las plantas, la absorción de agua y nutrientes, y la actividad enzimática (Pérez-Hernández et al., 2024). Además, las propiedades antimicrobianas de las AgNPs podrían suprimir microorganismos dañinos en la rizósfera, favoreciendo un ambiente más propicio para el desarrollo radicular (Lango-López et al., 2022; Alarcón et al., 2021).

El estudio de la biosíntesis de nanopartículas de plata (AgNPs) utilizando *Trichoderma asperellum* y su aplicación en *Zea mays* L. revela hallazgos agronómicos significativos, sugiriendo mecanismos fisiológicos clave. La aplicación de AgNPs biosintetizadas podría mejorar la absorción de nutrientes esenciales al interactuar positivamente con la rizósfera y la estructura radicular. Adicionalmente, el efecto antimicrobiano de las AgNPs en la rizósfera podría reducir la presencia de patógenos perjudiciales, favoreciendo un ambiente radicular más saludable para el crecimiento. A nivel hormonal, se postula una estimulación de las rutas de auxinas y giberelinas, fitohormonas cruciales para la elongación celular, la división celular y el desarrollo general de la planta, lo que explicaría el incremento observado en el crecimiento vegetativo del maíz.

## 4. Conclusiones

La caracterización de las nanopartículas de plata (AgNPs) sintetizadas por *T. asperellum* confirmó su presencia con un pico de absorbancia de 2,65 y un pico de longitud de onda a 430 nm. El análisis FT-IR sugiere que biomoléculas del hongo *T. asperellum* se adhieren a las nanopartículas de plata. La AFM revela que estas nanopartículas son principalmente triangulares, miden entre 25 y 75 nm y están sobre una superficie algo áspera, con una altura de 25 nm.

En los parámetros agronómicos del maíz, tanto el fertilizante NPK como las AgNPs mejoraron la tasa de germinación, pero las AgNPs en sus diferentes concentraciones 1%, 2% y 3%, promovieron significativamente la altura y el diámetro del tallo a los 20 DDS, superando al fertilizante a base de NPK. Adicionalmente, las AgNPs mostraron un efecto más pronunciado que el NPK en el largo radicular.

Las AgNPs sintetizadas demostraron un potencial efecto positivo en el crecimiento temprano del maíz, sugiriendo su posible aplicación para mejorar el desarrollo inicial de este cultivo

**Contribución de los autores:** Conceptualización, DVR-C.; metodología, DVR-C. y JHV-R.; software, DVR-C. y JHV-R.; validación, ARA-S.; análisis formal, ARA-S.; investigación, DVR-C.; recursos, DVR-C.; redacción del borrador original, DVR-C.; redacción, revisión y edición, DVR-C. y ARA-S.; visualización, JHV-R.; supervisión, ARA-S. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

**Financiamiento:** Los autores no han recibido fondos externos para esta investigación.

## AGRADECIMIENTOS

Se expresa agradecimiento a la Facultad de Posgrados de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), en especial a la Maestría en Biotecnología Agropecuaria, así como el financiamiento otorgado por el programa de becas de la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT).

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Referencias Bibliográficas

Agreda, J., & Aldama, C. (2016). Estudio fotoacústico de los efectos del tiempo de ablación en la síntesis de nanopartículas de plata. *Revista Ciencia y Tecnología*, 12(1), 17-26. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/1357>

Aguilar, M. C. A., Ortiz, J. D. A., & Holguín, M. Í. P. (2021). Elaboración de un compuesto antimicrobial con nanopartículas de plata sintetizadas a partir del extracto de hojas de romero (*rosmarinus officinalis*), para ser aplicado en frutas. *Ingeniería Química y Desarrollo*, 3(01), 01-16. <https://doi.org/10.53591/iqd.v3i01.1732>

Alarcón, H., Tolmos, M., Villacrés, N., & Huarote, E. (2021). Química verde-Una alternativa eco-amigable en la obtención de nanopartículas de Ag<sub>0</sub>. *Revista de la sociedad Química del Perú*, 87(3), 298-306. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2021000300298&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1810-634X2021000300298&script=sci_abstract)

Ávila-Quezada, G. D., Valles-Aragón, M. C., & Mercado-Meza, D. Y. (2024). Implicaciones bioéticas en la aplicación de nanopartículas de plata (AgNPs) para el manejo de fitopatógenos. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 17(33). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2024.33.69803>

Carreño, E. F. M., & Gómez, A. P. (2015). Análisis de rugosidad y determinación de los desplazamientos en aleaciones de níquel-titanio mediante microscopía de fuerza atómica. *Innovaciencia*, 3(1), 4-8. <http://dx.doi.org/10.15649/2346075X.360>

Cuervo-Osorio, G. A., Salazar Moncada, D. A., & Ossa-Orozco, C. P. (2024). Aplicación de nanopartículas metálicas como alternativa en Colombia para el control del "Mal de Panamá": revisión. *Revista Ion*, 37(1), 49-63. <https://doi.org/10.18273/revion.v37n1-2024004>

Díaz Acosta, E. M. (2019). Nanopartículas de plata: síntesis y funcionalización. Una breve revisión. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 12(22), 1-11. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2019.22.60758>

Esquivel-Figueroa, R. D. L. C., & Mas-Diego, S. M. (2021). Síntesis biológica de nanopartículas de plata: revisión del uso potencial de la especie *Trichoderma*. *Revista Cubana de Química*, 33(2), 23-45. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-54212021000200023&script=sci\\_arttext&lng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-54212021000200023&script=sci_arttext&lng=en)

Espinoza, P. J. A., & Ballardo, D. U. S. (2024). Síntesis verde de nanopartículas de plata (AgNPs) con biomasa de la microalga *Nannochloropsis oculata*. *QUIBIOUAS Revista de Ciencias Químico Biológicas*, (1), 8-14. <https://revistas.uas.edu.mx/index.php/QBU/article/view/447>

García-Martínez, J. C. (2006). De nanopartículas metálicas encapsuladas en dendrímeros a "clúster" con monocapa orgánica. *Anales de Química de la RSEQ*, (4), 23-29. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2160076.pdf>

García-Núñez, H. G., Soria-Díaz, J. M., Arzate-Fernández, A., Norman-Mondragón, T. H., & Cruz-Torres, E. (2025). Evaluación in vitro de nanopartículas de síntesis verde y otros métodos biorracionales para el control de *Pectobacterium carotovorum* en *Agave cupreata*. *Polibotánica*, (59), 213-224. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.59.13>

Jeres-Caguana, G. A., Montañón-Roldán, V. L., Ordoñez-Zuñiga, N. L., Vera-Rodríguez, J. H., & Lucas-Vidal, L. R. (2025). Efecto biorremediador de la espirulina y *Trichoderma* spp. en suelo

contaminado con plomo (Pb). *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 3(2), 1-12. <https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n2/48>

Jiménez, A. C. Z., Cabello, L. O., Vázquez, L. H., & Partida, A. H. (2024). Uso de actinobacterias en la síntesis de nanopartículas metálicas con actividad terapéutica. *Historias de Fengacos*, 1(1), 18-28. <https://doi.org/10.29059/HF.20240630-4>

Lango-López, D. G., Mireles-Ramírez, J., Flores-Castro, N. J., Moreno-Fonseca, M. V., Mendoza-Sánchez, Á. A., Chávez-Granados, P. A., & Manisekaran, R. (2022). Nanopartículas incorporadas al PMMA y sus propiedades antimicrobianas: una revisión sistemática. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 15(29). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2022.29.69718>

Lira Saldivar, R. H., Méndez Argüello, B., Santos Villarreal, G. D. L., & Vera Reyes, I. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta universitaria*, 28(2), 9-24. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1575>

Pérez-Hernández, H., López-Valdez, F., Juárez-Maldonado, A., Méndez-López, A., Sarabia-Castillo, C. R., García-Mayagoitia, S., ... & Pérez-Moreno, A. Y. (2024). Implicaciones de los nanomateriales utilizados en la agricultura: una revisión de literatura de los beneficios y riesgos para la sustentabilidad. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 17(32). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2024.32.69720>

Ramírez-Herrera, D., Barbosa-Sabanero, G., & 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, e2257. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v26.2257>

Rengifo, J. C. M., Roja, J. L. A., Almeida, J. F., Rengifo, M. G. H., & Navarrete, S. B. T. (2024). Efecto de abonos orgánicos complementados con fertilizantes foliares químicos sobre la morfología del cultivo *Hibiscus esculentus* Linn en la Amazonía ecuatoriana. *Siembra*, 11(2), 3. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9843255>

Reyes-Pérez, J. J., Llenara-Ramos, L. T., Torres-Rodríguez, J. A., Rodríguez-Rodríguez, S., & de los Angeles Sariñana-Navarrete, M. (2025). Respuesta Morfológica y Fenológica de Plantas de Chile Pimiento a la Suplementación de Nanopartículas de Selenio. *Revista Terra Latinoamericana*, 43. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2084>

Rivera Denis, A., Hernández Oliva, D., Alfonso Martín, S., Valdés Comas, L., Pérez Sánchez, I., Lam Barandela, A., & Altshuler Álvarez, E. (2021). De arcillas sintéticas a naturales cubanas: aplicaciones farmacéuticas y medioambientales. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 11(3). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2304-01062021000300009&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2304-01062021000300009&script=sci_arttext)

Rodríguez-González, V., & Díaz-Cervantes, E. (2024). Potencial de los nanomateriales en la agricultura: retos y oportunidades. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 17(32). <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2024.32.69802>

Sánchez-Valdés, S., Rodríguez-González, J. A., Sánchez-Martínez, A. C., Bustos, K., Cruz, M. V., Martínez, L. C., ... & Ramírez-Barron, S. N. (2024). Tendencias en el uso de nanopartículas en la agricultura. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 6(11), 20-39. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12686022>

Vargas Ríos, O. (2011). Restauración ecológica: Biodiversidad y conservación. *Acta biológica colombiana*, 16(2), 221-246. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-548X2011000200017&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-548X2011000200017&script=sci_arttext)

Vera, J., Barzallo, D., Villamar, M., Ortiz, J., Moyano, G., & Yugsan, J. (2024a). Productive and economic potential of the application of biofertilizer in hybrid corn DAS 3383. *Revista De La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia*, 41(4), e244237. <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/42779>

Vera, J., Sarango, Y., Villamar, M., Ortiz, J., Sevilla-Carrasco, J., Duarte, J., & Lucas, L. (2025b). Effect of herbicides on the growth of beneficial microorganisms in rhizospheric soil. *Revista De*

*La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia*, 42(2), e254222.  
<https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/43831>

Vera Rodríguez, J. H., Barzallo, D., Villamar Aveiga, M. R., & Barcia-Achundia, J. X. (2024). Biostimulant Effect of Microorganisms on *in vitro* Germination of Hybrid Pepper Seeds. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 25(1), e3306. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol25\\_n um1\\_art:3306](https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_n um1_art:3306)

Vera-Rodríguez, J. H., Cepeda-Landin, W. E., Alcívar-Llivicura, M. F., Pineda-Macas, G. L., & Medranda-Parraga, K. E. (2021). Comportamiento agronómico y económico de genotipos de maíz duro (*Zea mays* L.) en La Troncal, Ecuador. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 25(3), 66-75. <http://hct.cigetqtmco.co.cu/revistahct/index.php/hct/article/view/1171>