

Actividad antifúngica del nitrato de plata contra *Bipolaris zeae* en *Agave salmiana*Antifungal activity of silver nitrate against *Bipolaris zeae* in *Agave salmiana*Issela Granados Zamora <sup>a</sup>, Teresa Romero Cortes <sup>b</sup>, Jaime A. Cuervo Parra <sup>c</sup>, Víctor H. Pérez España <sup>d</sup>**Abstract:**

*Agave salmiana*, or pulque agave, is a species endemic to Mexico, from which all parts of the adult plant can be used. In recent decades, production has declined due to a series of external factors that threaten the plant's conservation. The main causes are pests and diseases. Sooty mold, or black leaf spot, causes dehydration and death of the leaves or the entire plant. In this study, the fungicidal activity of silver nitrate ( $\text{AgNO}_3$ ) against *Bipolaris zeae* was observed, both under laboratory conditions and in *Agave* plants. The results report the minimum inhibitory concentration for hyphal growth and conidial germination. At concentrations of 100 ppm and 200 ppm of ( $\text{AgNO}_3$ ), an 80% and 96% reduction in the percentage of conidial germination was obtained, respectively, and the fungicidal effect in plants was observed at a concentration of 200 ppm. The results of this research show that  $\text{AgNO}_3$  could be used both in laboratory and field conditions to inhibit the growth of this phytopathogen.

**Keywords:***Agave*, silver nitrate, conidia, fungicide**Resumen:**

*Agave salmiana*, o maguey pulquero, es una especie endémica de México de la cual se pueden aprovechar todas las partes de la planta adulta. En las últimas décadas, la producción ha disminuido debido a una serie de factores externos que ponen en riesgo la conservación de la planta. Las principales causas son las plagas y las enfermedades. La enfermedad de “la negrilla” o “mancha foliar negra” provoca la deshidratación y la muerte de las pencas o de la planta. En este trabajo, se observó la actividad fungicida del nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) contra *Bipolaris zeae*, tanto en condiciones de laboratorio como en plantas de *Agave*. En los resultados se reporta la concentración mínima inhibitoria del crecimiento de las hifas y de la germinación de los conidios. Con las concentraciones de 100 ppm y 200 ppm de ( $\text{AgNO}_3$ ) se obtuvo una reducción del 80% y 96% respectivamente de la germinación de conidios, así como el efecto fungicida en plantas se observó a una concentración de 200 ppm. Los resultados de esta investigación muestran que el  $\text{AgNO}_3$  podría utilizarse tanto en condiciones de laboratorio como en campo para inhibir el crecimiento de este fitopatógeno.

**Palabras Clave:***Agave*, nitrato de plata, conidia, fungicida**Introducción**

El maguey pulquero representa un recurso de suma importancia económica, cultural y culinaria para los

habitantes de México, donde se considera una planta clave para la subsistencia y economía local (Higuera-Orbe et al., 2025). En los últimos años, el cultivo del maguey se ha visto afectado por enfermedades

<sup>a</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Apan | Apan-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0009-0001-1096-2639>, Email: [igrazam2000@gmail.com](mailto:igrazam2000@gmail.com)

<sup>b</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Apan | Apan-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-2615-1435>, Email: [romero@uaeh.edu.mx](mailto:romero@uaeh.edu.mx)

<sup>c</sup> Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Apan | Apan-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0002-6586-8914>, Email: [alioscha@uaeh.edu.mx](mailto:alioscha@uaeh.edu.mx)

<sup>d</sup> Autor de Correspondencia, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo | Escuela Superior de Apan | Apan-Hidalgo | México, <https://orcid.org/0000-0003-2519-8677>, Email: [victorhugo\\_perez@uaeh.edu.mx](mailto:victorhugo_perez@uaeh.edu.mx)

ocasionadas por fitopatógenos y plagas que causan daños severos al cultivo, la producción y la economía, debido a que la planta no puede ser utilizada y se recurre a su eliminación (SENASICA, 2017). Las principales plagas y enfermedades que atacan los cultivos de maguey en el estado de Hidalgo son el picudo del agave (Romero-cortes et al., 2020) y la viruela o negrilla (Pérez-España et al., 2022). La viruela, o negrilla, es una enfermedad que genera manchas foliares de color negro en las hojas del maguey que limitan la intersección de la radiación solar (Pérez-España et al., 2022; Hernández et al., 2022; Romero-Cortes et al., 2024). El aumento del número de lesiones genera un daño significativo debido al impedimento de la realización adecuada de la fotosíntesis (Hernández et al., 2022). El análisis filogenético de fragmentos de ADN genómico de lesiones necróticas de *Agave salmiana* y *A. lechuguilla* de plantaciones y en poblaciones silvestres de *A. salmiana* ssp. *ferox* permitió la identificación de 26 aislamientos de hongos pertenecientes a *Curvularia lunata*, *C. verruculosa*, *Bipolaris zeae*, *Alternaria alternata*, *Fusarium lactis*, *Epicoccum sorghinum*, *Myrmaecium rubricosum*, *Penicillium diversum* y *Aspergillus oryzae* (Aparicio-Burgos et al., 2025).

En la última década, la producción agrícola se ha visto amenazada por diversas especies de fitopatógenos que provocan pérdidas económicas irremediables en cultivos de gran importancia económica (Rojas-Avelizapa et al., 2020). En consecuencia, se están introduciendo tecnologías innovadoras en la agricultura moderna basadas en nanopartículas de plata, bionanopartículas de plata y tratamientos a base de nitrato de plata a bajas concentraciones (Rojas-Avelizapa et al., 2020). El nitrato de plata tiene el potencial de inhibir el crecimiento de una amplia gama de microorganismos como bacterias, hongos, actinomicetos y virus (Radko et al., 2019). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la actividad antifúngica del nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) mediante ensayos *in vitro* e *in planta* para determinar la concentración mínima inhibitoria sobre el crecimiento de *B. zeae*, hongo aislado de la mancha negra o "negrilla" del *A. salmiana*.

## Metodología

Los conidios se obtuvieron de un cultivo axénico aislado de pencas de maguey pulquero con sintomatología de manchas foliares. Se colocó un disco de 0.5 mm en el centro del medio PDA y se incubó a 28 °C durante 7 días. Para la recolección de los conidios, las cajas de Petri se inundaron con Tween 20 al 0.01 % con la técnica de arrastre descrita por Foolad et al. (2000) utilizando un asa

de Digrafski. Para calcular la cantidad de esporas por mililitro, se hizo un conteo en una cámara de Neubauer y se observó en un microscopio óptico (VELAB Modelo: VE-B5) con el objetivo 40x.

## Efecto del $\text{AgNO}_3$ sobre la germinación en cámara húmeda

La germinación se evaluó siguiendo el método descrito por Foolad (2000). Se esterilizaron portaobjetos con 2 cavidades cóncavas con una capacidad aproximada de 120  $\mu\text{L}$ . En cada una de las cavidades se agregó una muestra de la solución conidial 1:100 de 10-50  $\mu\text{L}$  + 50-100  $\mu\text{L}$  de  $\text{AgNO}_3$  y se identificaron mediante coordenadas microscópicas 10 esporas de cada cavidad para evaluar su germinación durante 72 h. Los portaobjetos se colocaron dentro de la cámara húmeda y se incubaron en ausencia de luz a 27 °C. Se utilizó como cámara húmeda una caja de plástico (20 cm x 12 cm x 4 cm) en condiciones semiestériles. Se desinfectó con alcohol al 70% y se mantuvo bajo luz UV durante 15 min; la humedad se mantuvo con agua desionizada estéril y papel filtro sobre la base. Cada una de las muestras se realizó por duplicado en portaobjetos de 2 cavidades.

Para evaluar la concentración mínima inhibitoria (MIC) del  $\text{AgNO}_3$ , se realizó una mezcla de 50  $\mu\text{L}$  de solución conidial y 50  $\mu\text{L}$  de  $\text{AgNO}_3$  a diferentes concentraciones en ppm (50, 100, 200). Para el control positivo se utilizaron 50  $\mu\text{L}$  de agua estéril y para el control negativo 1700 ppm de  $\text{AgNO}_3$ . Todas las muestras se realizaron por duplicado. Las fotos de las esporas se tomaron con un microscopio óptico (Amscope AC85) con dos cámaras HD (1 y 2 megapíxeles), y con una cámara de celular Xiaomi 11 lite (45 megapíxeles). Los valores de *p* se obtuvieron al realizar pruebas ANOVA y Tukey para datos normales mediante una herramienta de complementos de Excel (Megastat 2021).

## Evaluación antifúngica del $\text{AgNO}_3$ en medio de cultivo.

Una vez que se determinaron las concentraciones de esporas y la eficiencia de germinación en cámara húmeda, se procedió a resembrar el hongo *B. zeae* por la técnica de sacabocado para determinar su velocidad de crecimiento a concentraciones de 100 ppm y 200 ppm de  $\text{AgNO}_3$  durante 7 días. El crecimiento radial (mm) se registró diariamente con un vernier digital a partir de las 0 h hasta las 168 h. Los porcentajes de inhibición del crecimiento microbiano debidos a los tratamientos de  $\text{AgNO}_3$  se calcularon de acuerdo con la siguiente ecuación (Fouda et al. 2022).

$$(\%) \text{Porcentaje de inhibición} = \frac{D_c - D_t}{D_c} * 100$$

Dónde;  $D_c$  es el promedio del crecimiento microbiano del control (mm).

$D_t$  es el promedio del crecimiento microbiano en el tratamiento

### Actividad antifúngica del nitrato de plata contra *B. zeae* in planta

Para el tratamiento preventivo se establecieron 2 controles: Control  $H_2O$  en el que se seleccionaron 5 plántulas que solo fueron tratadas con agua estéril, y el control positivo donde 5 plántulas fueron inoculadas con solución conidial de *B. zeae*. Por otro lado, se seleccionaron 30 plántulas: 15 fueron asperjadas con  $AgNO_3$  a 100 ppm y 15 con  $AgNO_3$  a 200 ppm durante 14 días, posteriormente, en el día 28 fueron inoculadas con la solución conidial de *B. zeae*, para evaluar si el  $AgNO_3$  funcionaba como agente protector de la planta.

Para la evaluación *in planta*, se identificaron pencas de maguey con sintomatología de manchas foliares negras. Se seleccionaron 18 zonas, de las cuales 6 zonas fueron asperjadas con agua estéril (control positivo), 6 zonas con  $AgNO_3$  (100 ppm) y 6 zonas con 200 ppm. Al inicio del experimento, las zonas seleccionadas se rociaron 3 veces por semana con las soluciones correspondientes. Se tomaron las medidas (mm) con vernier digital al inicio y después de aplicar el tratamiento para calcular el porcentaje de disminución del área de la mancha. Se realizaron pruebas ANOVA y Tukey con complementos de Excel (MegaStat) para identificar las semanas en las que se logra el efecto esperado en cada tratamiento y determinar qué tratamiento resulta más efectivo.

## Resultados y Discusión

### Determinación de la concentración mínima inhibitoria del $AgNO_3$

En la Figura 1A, se observa la conidia de *Bipolaris zeae* sin tratamiento, a las 72 h las esporas tuvieron una germinación promedio de 85% en el Control  $H_2O$  (Figura 1B y 1C), el 0% en el control positivo con  $AgNO_3$  a una concentración de 0.06 M (Figura 1D), el 63% a 50 ppm (Figura 1E y 1F), el 20% a 100 ppm (Figura 1G y 1H) y 0% a 200 ppm (Figura 1I).

En la Figura 1C, se muestra la germinación bipolar en una conidia del fitopatógeno *B. zeae*, la germinación bipolar de los conidios es una característica del género *Bipolaris* en comparación con *Drechslera*, cuyos conidios germinan

a partir de cualquier célula; aunque esta característica, por sí sola, no es un criterio fiable para la identificación de *Bipolaris* (Alcorn, 1983). Otro rasgo distintivo es que los conidios de *Drechslera* son cilíndricos, mientras que los del género *Bipolaris* son fusiformes y elipsoidales (Paz et al., 2006). Jo et al. (2009) reportaron que la concentración mínima inhibitoria del  $AgNO_3$  con respecto a conidios de *B. sorokiniana* fue a partir de 100 ppm. En este trabajo se emplearon dos controles: un control de solución conidial y un control con nitrato de plata a ~10,200 ppm ( $AgNO_3$ , 0.06 M) y cuatro tratamientos con 50  $\mu L$  de solución conidial + 50  $\mu L$  de  $AgNO_3$  a (50, 100 y 200 ppm). El análisis estadístico mostró una diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre el control  $H_2O$  con respecto al control  $AgNO_3$  y los tratamientos a las concentraciones de 0, 50 y 100 ppm, pero no con 100 ppm ( $p > 0.05$ ); sin embargo, no existió diferencia significativa con el tratamiento a 200 ppm (Figura 2). Estos resultados demuestran que el nitrato de plata inhibe la germinación de conidios a concentraciones mayores de 100 ppm.

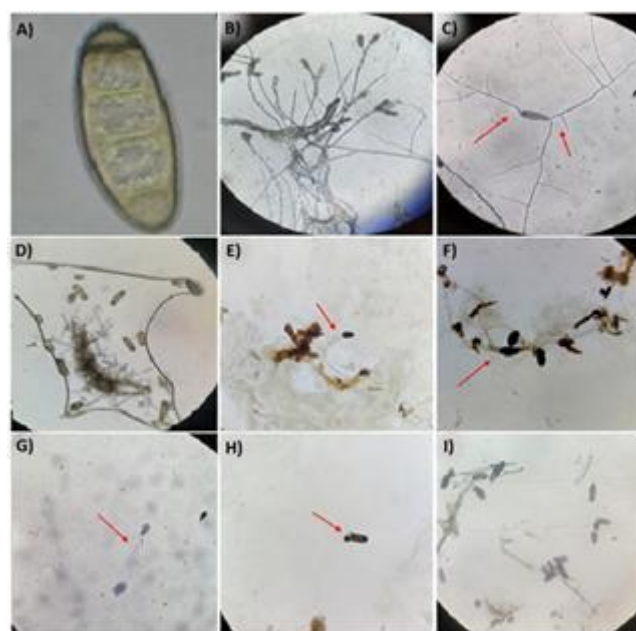


Figura 1. Concentración mínima inhibitoria (MIC) del  $AgNO_3$  a 72h. Conidia control (A), Control  $H_2O$  (B), Conidia con germinación bipolar en control  $H_2O$  (C), Control positivo (0.06M  $AgNO_3$ , D), 50 ppm de  $AgNO_3$ . (E) y F) 100 ppm de  $AgNO_3$  (G) y H), 200 ppm de  $AgNO_3$  (I). Fotos 40x. Flechas indican conidias germinadas. Fuente: Elaboración propia.

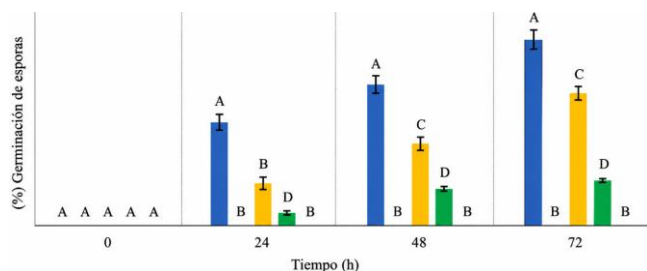


Figura 2. Análisis estadístico de los tratamientos con AgNO<sub>3</sub> a diferentes concentraciones. Testigo negativo con H<sub>2</sub>O (■), testigo positivo AgNO<sub>3</sub> 0.06M (■), AgNO<sub>3</sub> 50ppm (■), AgNO<sub>3</sub> 100ppm (■), AgNO<sub>3</sub> 200ppm (■). Letras diferentes: valor  $p \leq 0.05$  (Tukey). Fuente: Elaboración propia.

Debido a los resultados microscópicos de la germinación, se seleccionaron las concentraciones de 100 y 200 ppm de AgNO<sub>3</sub> para los tratamientos *in vitro* e *in planta*, tomando en cuenta también la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 que establece las concentraciones máximas permitidas de plata en suelo de uso agrícola (390 ppm) y en cuerpos de agua (0.5 ppm) (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, Ciudad de México). Para verificar si las concentraciones seleccionadas estaban dentro de los límites establecidos en la NOM, se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{Proporción de Ag} = \frac{107.87 \text{ g/mol}}{169.87 \text{ g/mol}} = 0.635$$

$$\text{Proporción} = (0.635) * (100 \text{ ppm}) = 63.5 \text{ ppm Ag}^+$$

$$\text{Proporción} = (0.635) * (200 \text{ ppm}) = 127 \text{ ppm Ag}^+$$

Los resultados mostraron que la proporción de plata existente (107.86 g/mol) en 100 ppm y 200 ppm de AgNO<sub>3</sub> (169.87 g/mol), cumplió con las concentraciones permitidas por la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 para suelos de uso agrícola.

#### Efecto del AgNO<sub>3</sub> sobre el crecimiento radial *B. zeae*

El AgNO<sub>3</sub> puede inhibir el crecimiento del hongo *B. zeae* en las condiciones probadas (100 y 200 ppm de AgNO<sub>3</sub>, durante 168 h). En la Figura 3A, se muestra el crecimiento del fitopatógeno después de 7 días, con 100 ppm de AgNO<sub>3</sub> (Figura 3B) y 200 ppm de AgNO<sub>3</sub> (Figura 3C). El crecimiento radial se inhibió un  $61.4 \pm 3.17\%$  y  $63.65 \pm 3.27\%$  a 100 ppm y 200 ppm, respectivamente.

El resultado del análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ( $p \leq 0.05$ , "+"  $p \leq 0.01$ , realizado por Tukey). Este resultado es similar a lo reportado para otros hongos (Jo et al., 2009). Xu et al. (2009) realizaron la comparación de las actividades del nitrato de plata con las de tres agentes antifúngicos contra hongos patógenos oculares *in vitro*. En donde

reportaron que el nitrato de plata fue altamente activo contra especies de *Aspergillus* ( $92.9\% = 1.0 \text{ mg/L}$ ) y especies de *Fusarium* ( $96.3\% = 2.0 \text{ mg/L}$ ). Rehman et al. (2023) utilizaron 1 % y 2 % de AgNO<sub>3</sub> para muestras de prueba y películas de recubrimiento; ambos recubrimientos demostraron tener un efecto fungistático después de 24 h y un probable efecto fungicida después de 48 y 72 h contra *Candida albicans*, mostrando una reducción del 80% y del 98%, respectivamente. Mahmut et al. (2020) evaluaron el efecto antifúngico del nitrato de plata en concentraciones del 1% y del 2% en prótesis dentales, observando eficacia contra *C. albicans* ( $p < 0.05$ ).

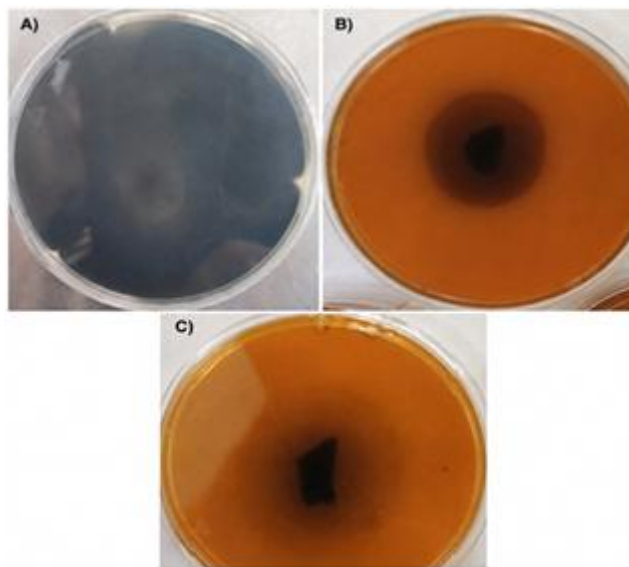


Figura 3. Velocidad de crecimiento radial del fitopatógeno *B. zeae* en placas de Petri. (A) Control PDA. (B) 100 ppm de AgNO<sub>3</sub>, (C) 200 ppm de AgNO<sub>3</sub>. Fuente: Elaboración propia.

#### Tratamiento correctivo *in planta* *A. salmiana*

Las hojas (pencas) de los agaves están recubiertas con una capa cuticular que desempeña funciones relevantes, como el intercambio gaseoso, el control de los cambios de temperatura, la barrera contra patógenos, entre otros (Pérez España et al., 2022). La membrana cuticular sirve como base para el desarrollo de las manchas grises o tizones de *Bipolaris zeae*, afectando ambas caras, abaxial y adaxial, de la hoja, poniendo en peligro toda la planta de agave.

En la Figura 4, se muestran fotografías de las lesiones foliares causadas por el fitopatógeno; lesión testada con agua (H<sub>2</sub>O); toma de medida en la semana 0; medida del área de la lesión foliar; control en la semana 4 (Figuras 4A y 4B). Tizón foliar tratado con solución acuosa de AgNO<sub>3</sub> a 100 ppm semana 0, Tizón foliar tratado con

solución acuosa de  $\text{AgNO}_3$  a 100 ppm semana 4 (Figura 4 C y 4D). Tizón foliar tratado con solución acuosa de  $\text{AgNO}_3$  a 200 ppm, semana 0. Tizón foliar tratado con solución acuosa de  $\text{AgNO}_3$  a 200 ppm en la semana 4 (Figuras 4E y 4F). Mostrando una disminución en el área de la lesión foliar, caracterizada por un halo de color café.

Durante las semanas 0 y 1 después de aplicar ambos tratamientos y el control, no existe diferencia significativa en la disminución del área de los tizones o manchas foliares seleccionadas. En la semana 2 hubo un promedio de disminución de 4.32% y 7.46% del área de los tizones asperjados con 100 ppm y 200 ppm con respecto al control ( $\text{H}_2\text{O}$ ). En la semana 3, las manchas tratadas disminuyeron 1.08% y 4.97% con 100 ppm y 200 ppm. Finalizando en la semana 4 con una reducción promedio de 7.02% y 16.21% para las manchas tratadas con 100 ppm y 200 ppm, logrando un valor de  $p \leq 0.05$  en la última semana con el tratamiento correctivo a 200 ppm.



Figura 4. Evaluación antifúngica correctiva del  $\text{AgNO}_3$  en *Agave salmiana*; Control en semana cero (A), Control en semana cuatro (B), 100 ppm en semana cero (C), 100 ppm en semana cuatro (D), 200 ppm en semana cero (E), 200 ppm en semana cuatro (F). Fuente: Elaboración propia.

El  $\text{AgNO}_3$  es altamente efectivo contra diversos patógenos, sin producir toxicidad en células animales vivas (Kaplan et al., 2015). El nitrato de plata en concentraciones altas actúa como bactericida, mientras que en concentraciones bajas induce la síntesis de plata (Fouda et al., 2022). El  $\text{AgNO}_3$  en contacto con cepas de *Bacillus licheniformis* provocó la formación de cuerpos apoptóticos característicos de una muerte celular programada inducidos por los iones de plata que permearon la pared celular (Pandian et al. 2010). Mientras que en bacterias Gram negativas y Gram positivas mostró un desprendimiento de la membrana del citoplasma, la aparición central de una región electrón-luminosa que contenía moléculas condensadas de ácido desoxirribonucleico, pequeños gránulos densos

alrededor de la pared celular, además, las Gram negativas presentaron mayor concentración de iones de plata (Feng et al., 2000; Jung et al., 2008; Durán et al., 2010).

Los iones de plata tienen diversos mecanismos de acción: (i) inhiben el grupo tiol de algunas enzimas, siendo principalmente afectada la NADH deshidrogenasa II del sistema respiratorio, la cual está vinculada con el sitio de producción de especies reactivas de oxígeno (ROS); la inactivación de la enzima provoca radicales libres, aumenta la producción de catalasa y disminuye la concentración de  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Las ROS inducen rutas apoptóticas bacterianas que terminan cuando el ADN se fragmenta (Pandian et al., 2010). (ii) Reaccionan con los grupos sulfhídrico (SH) de las proteínas. (iii) Desacoplan el transporte respiratorio de electrones de la fosforilación oxidativa, inhibiendo las enzimas de la cadena respiratoria o interfiriendo en la permeabilidad de la membrana a protones y fosfato (Liau et al., 1997; Feng et al., 2000; Morones et al., 2005).

## Conclusiones

La concentración de nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ) a 100 ppm sólo germina en etapa inicial y a 200 ppm causa una inhibición total de la germinación de las esporas de *B. zeae*. En el medio PDA se obtuvo la inhibición del crecimiento del 60% y 65% a 100 ppm y 200 ppm, respectivamente. El tratamiento correctivo en pencas de *A. salmiana* presentó una disminución del 7% y 17% de las manchas foliares a 100 ppm y 200 ppm. Las concentraciones de nitrato de plata utilizadas en este trabajo se encontraron dentro de los límites establecidos en la norma NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 para la tierra con uso de suelo agrícola.

## Referencias

- Alcorn, J. L. (1983). Generic concepts in *Drechslera*, *Bipolaris* and *Exserohilum*. *Mycotaxon* 17, 1-86. <https://biostor.org/reference/298971>
- Aparicio-Burgos, J. E., Romero-Cortes, T., Armendáriz-Ontiveros, M. M., & Cuervo-Parra, J. A. (2025). Leaf Spot Disease Caused by Several Pathogenic Species of the Pleosporaceae Family on *Agave salmiana* and *Agave lechuguilla* Plants in Mexico, and Their Biocontrol Using the Indigenous *Trichoderma asperellum* Strain JEAB02. *Agronomy*, 15, 2406. <https://doi.org/10.3390/agronomy15102406>.
- Durán, N., Marcato, P. D., De Conti, R., Alves, O. L., Costa, F. T. M., & Brocchi, M. (2010). Potential use of silver nanoparticles on pathogenic bacteria, their toxicity and possible mechanisms of action. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 21(6), 949-959. <https://doi.org/10.1590/s0103-50532010000600002>
- Feng, Q. L., Wu, J., Chen, G. Q., Cui, F. Z., Kim, T. N., & Kim, J. O. (2000). A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Journal of Biomedical*

- Materials Research, 15:52(4), 662-668. [https://doi.org/10.1002/1097-4636\(20001215\)52:4<662::aid-jbm10>3.0.co;2-3](https://doi.org/10.1002/1097-4636(20001215)52:4<662::aid-jbm10>3.0.co;2-3).
- Foolad, M. R., Ntahimpera, N., Christ, B. J., & Lin, G. Y. (2000). Comparison of Field, greenhouse, and Detached-Leaflet evaluations of tomato germ plasm for early blight resistance. *Plant Disease*, 84(9), 967-972. <https://doi.org/10.1094/pdis.2000.84.9.967>
- Fouda, A., Eid, A. M., Abdel-Rahman, M. A., El-Belely, E. F., Awad, M. A., Hassan, S. E., Al-Faifi, Z. E., & Hamza, M.F. (2022). Enhanced Antimicrobial, Cytotoxicity, Larvicidal, and Repellence Activities of Brown Algae, *Cystoseira crinita*-Mediated Green Synthesis of Magnesium Oxide Nanoparticles. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 28(10), 849921. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.849921>.
- Hernández, J. J., Hernández, D. E. M., López V. E., & Álvarez C. J. (2022). Aislamiento e identificación del fitopatógeno causal de viruela o “negrilla” en *Agave salmiana* de municipios del estado de Hidalgo, México. *Scientia fungorum*, 53, e1425. <https://doi.org/10.33885/sf.2022.53.1425>
- Higuera-Orbe, C. L., García-Barrón, S. E., & Moreno-Vilet, L. (2025). La importancia del maguey pulquero (*Agave salmiana*) en la alimentación y soberanía alimentaria. *Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia y Sociedad*, 3(1), 235-248. <https://revistaenfoques.ciatej.mx/index.php/revistaenfoques/article/view/64>
- Jo, Y. K., Kim, B. H., & Jung, G. (2009). Antifungal Activity of Silver Ions and Nanoparticles on Phytopathogenic Fungi. *Plant Disease*, 93(10), 1037-1043. <https://doi.org/10.1094/PDIS-93-10-1037>
- Jung, W. K., Koo, H. C., Kim, K. W., Shin, S., Kim, S. H., & Park, T. (2008). Antibacterial activity and mechanism of action of the silver ion in *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(7), 2171-2178. <https://doi.org/10.1128/aem.02001-07>
- Kaplan, A., Çiftçi, G. A., & Kutlu, H. M. (2015). Cytotoxic, anti-proliferative and apoptotic effects of silver nitrate against H-RAS transformed 5RP7. *Cytotechnology*, 68(5), 1727-1735. <https://doi.org/10.1007/s10616-015-9922-5>.
- Liau, S., Read, D., Pugh, W., Furr, J. R., & Russell, A. D. (1997). Interaction of silver nitrate with readily identifiable groups: relationship to the antibacterial action of silver ions. *Letters in Applied Microbiology*, 25(4), 279-283. <https://doi.org/10.1046/j.1472-765x.1997.00219.x>
- Mahmut, S. O., Mustafa, G., Mihriban, Y., Bedia, D., Muzaffer, M., & Mustafa, G. (2020). Antifungal effect of silver nitrate on prosthodontic dentures. *Balkan Journal of Dental Medicine*, 24(3), 96-10. <https://doi.org/10.2478/bjdm-2020-0016>
- Morones, J. R., Elechiguerra, J. L., Camacho, A., Holt, K. B., Kourí, J. B., Tapia-Ramírez, J., & Yacamán, M. J. (2005). The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*, 16(10), 2346-2353. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/16/10/059>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) & Secretaría de Salud (SSA). (2007, 2 de marzo). Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. Diario Oficial de la Federación. PROFEPA (Consultado el 13 de marzo de 2026).
- Pandian, S. R. K., Deepak, V., Kalishwaralal, K., Viswanathan, P., & Gurunathan S. (2010). Mechanism of bactericidal activity of silver nitrate - a concentration dependent bi-functional molecule. *The Brazilian Journal of Microbiology*, 41(3), 805-809. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822010000300033>.
- Paz, M. A., Goodwin, P. H., Raymundo, A., Ardales, E. Y., & Cruz, C. M. V. (2006). Phylogenetic analysis based on ITS sequences and conditions affecting the type of conidial germination of *Bipolaris oryzae*. *Plant Pathology*, 55(6), 756-765. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01439.x>
- Pérez España, V. H., Cuervo Parra, J. A., Aparicio Burgos, J. E., Peralta Gil, M., Morales Ovando, M. A., & Romero Cortes, T. (2022). Importancia de la capa cuticular durante la colonización del hongo causante de la negrilla en *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck ssp. *salmiana*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(70), 166-176. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i70.1265>
- Radko, L., Stypuła-Trębas, S., Posyniak, A., Żyro, D., & Ochocki, J. (2019). Silver(I) Complexes of the Pharmaceutical Agents Metronidazole and 4-Hydroxymethylpyridine: Comparison of Cytotoxic Profile for Potential Clinical Application. *Molecules*, 24, 1949. <https://doi.org/10.3390/molecules24101949>
- Rehman, H. U., Russo, F., Calovi, M., Massidda, O., & Rossi, S. (2023). Antimicrobial Performance of Innovative Functionalized Surfaces Based on Enamel Coatings: The Effect of Silver-Based Additives on the Antibacterial and Antifungal Activity. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3). <https://doi.org/10.3390/ijms24032364>.
- Rojas-Avelizapa, N. G., Infante, P. E. R., Del Rosario, D. L., Hernández, R. C. L., & Avelizapa, L. I. R. (2020). Actividad antimicrobiana de nanopartículas de plata contra bacterias fitopatógenas. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 8(2), 1-7. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v8i2.173>
- Romero-Cortes, T., Cuervo-Parra, J. A., Pérez-España, V. H., Roldán-Cruz, E. I., Morales-Ovando, M. A., Hernández-Romero, Á. R. (2020). El picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus*): vector de plagas y enfermedades. *Academia Journals*, 12(7), 459-464.
- Romero-Cortes, T., Pérez España, V. H., Pescador-Rojas, J. A., Rangel-Cortés, E., Armendáriz-Ontiveros, M. M., & Cuervo-Parra, J. A. (2024). First Report of Leaf Spot Disease (“Negrilla”) on *Agave salmiana* Otto Ex Salm-Dyck (ssp. *salmiana*) Plants Caused by *Bipolaris zeae* Zivan in Mexico. *Agronomy*, 14(3), 623. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030623>
- SENASICA. 2017. Plagas reglamentadas del agave. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria <https://www.gob.mx/senasica/documentos/plagas-reglamentadas-del-agave-110851>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2021). Producción agrícola. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Xu, Y., Pang, G. R., Gao, C. W., Zhao, D. Q., Wang B. L., Zhou, L. T., Sun, S.T., DU, L.X., & Chen, Z.J. (2009). Comparison of the activities of silver nitrate with those of three antifungal agents against ocular pathogenic fungi *in vitro*. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi*, 45(8), 730-735. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20021887/>