

Manejo in vitro de *Fusarium acuminatum* con extractos vegetales adicionados con nanopartículas de óxido de silicio y zinc

In vitro management of *Fusarium acuminatum* with plant extracts added with silicon oxide and zinc nanoparticles

Irasema del Rosario Malacara-Herrera*, Yisa María Ochoa-Fuentes*, Ernesto Cerna-Chávez*✉, Jazmín Janet Velázquez-Guerrero*, Antonio Orozco-Plancarte*, Agustín Hernández-Juárez*, Luis Alberto Aguirre-Uribe*

Malacara-Herrera, I. R., Ochoa-Fuentes, Y. M., Cerna-Chávez, E., Velázquez-Guerrero, J. J., Orozco-Plancarte, A., Hernández-Juárez, A. & Aguirre-Uribe, L. A. (2023). Manejo in vitro de *Fusarium acuminatum* con extractos vegetales adicionados con nanopartículas de óxido de silicio y zinc. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 31(88), e3638, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2023883638>

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la actividad antifúngica in vitro de dos extractos, gobernadora (*Larrea tridentata* L.) y mostaza (*Sinapis alba* L.) adicionados con nanopartículas de óxido de silicio (SiO) y óxido de zinc (ZnO), sobre el crecimiento micelial y la esporulación de *Fusarium acuminatum*. Se utilizó el método de medio envenenado, se determinaron las concentraciones inhibitorias y el número de conidios. Los datos fueron analizados mediante un análisis probit, ANOVA y prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Los resultados demostraron que los tratamientos de mostaza con ZnO tienen mejor efecto inhibitorio y en esporulación los tratamientos de gobernadora con SiO. Los extractos adicionados con nanopartículas son efectivos en el control in vitro de *F. acuminatum*.

Palabras clave: nanoformulados; fitopatógeno; efectividad; crecimiento micelial; esporulación.

Recibido: 24 de marzo de 2022 Aceptado: 5 de diciembre de 2022 Publicado: 31 de enero de 2023

*Departamento de Parasitología, Laboratorio de Toxicología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro No. 1923, Buenavista, C. P. 25315, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. Correos electrónicos: irasemarmalacarah@gmail.com; yisa8a@yahoo.com; jabaly1@yahoo.com; jazzguerrero@hotmail.com; antonioorozco25@outlook.es; chinoahj14@hotmail.com; luisaguirreu@yahoo.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6644-4670>; <https://orcid.org/0000-0001-7859-8434>; <https://orcid.org/0000-0003-2263-4322>; <https://orcid.org/0000-0001-8562-467X>; <https://orcid.org/0000-0001-6644-0680>; <https://orcid.org/0000-0001-7059-4471>; <https://orcid.org/0000-0001-8462-1012>

✉ Autor para correspondencia

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the in vitro antifungal activity of two extracts, governor (*Larrea tridentata* L.) and mustard (*Sinapis alba* L.) added with nanoparticles of silicon oxide (SiO) and zinc oxide (ZnO), on the mycelial growth and sporulation of *Fusarium acuminatum*. The poisoned medium method was used, inhibitory concentrations and the number of conidia were determined. Data were analyzed using a probit analysis, ANOVA and Tukey test ($p \leq 0.05$). The results showed that mustard treatments with ZnO have a better inhibitory effect and in sporulation governor treatments with SiO. Extracts added with nanoparticles are effective in the in vitro control of *F. acuminatum*.

Keywords: nanoformulates; phytopathogen; effectiveness; mycelial growth; sporulation.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de tipo intensivo han traído considerables daños al suelo (Wall, 2019), siendo una de las consecuencias el desarrollo de patógenos, principalmente hongos (Ampt, van Ruijven, Raaijmakers, Termorshuizen, & Mommer, 2019). Uno de los géneros más importantes es *Fusarium* (Ramírez-Mares & Hernández-Carlos, 2015), que afecta a las plantas provocando marchitez vascular. Dentro de este género se encuentra una de las especies con mayor difusión mundial: *F. acuminatum* (Seifi, Ketabchi, Aminian, Etebarian, & Kamali, 2014), la cual ocasiona pudrición basal en ajo (*Allium sativum* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.) principalmente (Ochoa-Fuentes et al., 2012). Este hongo se encuentra asociado a la producción de micotoxinas, en particular tricotecenos (Logrieco, Altomare, Moretti, & Bottalico, 1992). Asimismo, ha sido reportado ocasionando *damping off* en pino Aleppo (*Pinus halepensis*) en Argelia (Lazreg et al., 2013) y en fruto de kiwi (*Actinidia deliciosa*) en China (Wang et al., 2015).

Como alternativa para manejar este tipo de enfermedades se han realizado investigaciones sobre el uso de extractos vegetales, metabolitos y aceites esenciales que se encuentran en las plantas; ya que son de bajo costo, amigables con el medio ambiente y no dañan a la salud humana (Villa-Martínez et al., 2015). También ha surgido la nanotecnología que ha tenido auge en sistemas de agricultura sustentable, en la elaboración de plaguicidas nanoparticulados aumentando su efectividad (Marín-Bustamante, Hernández-Flores, & Cásarez-Santiago, 2021).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar dos extractos comerciales de la empresa CULTA, S. A. de C. V. adicionados con nanopartículas de óxido de silicio (SiO) y óxido de zinc (ZnO) para potenciar la efectividad de los extractos sobre el crecimiento micelial y la producción de esporas de *F. acuminatum*.

DESARROLLO

La cepa del hongo de *F. acuminatum* fue proporcionada por el Laboratorio de Toxicología del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coahuila. Los extractos gobernadora (*Larrea tridentata*) y mostaza (*Sinapis alba*) y las nanopartículas SiO y ZnO fueron proporcionados por la empresa CULTA, S. A. de C. V. Se prepararon 12 tratamientos adicionados con nanopartículas, donde se usaron 1, 3 y 5 ml de concentrado de nanopartículas de óxido de silicio y zinc previamente activadas y se aforó a 100 ml con extracto vegetal, respectivamente, de modo que los tratamientos se denominaron gobernadora/silicio 1, 3 y 5%, gobernadora/zinc 1, 3 y 5%, mostaza/silicio 1, 3 y 5% y mostaza/zinc 1, 3 y 5%. Los tratamientos evaluados fueron 14, incluyendo como tratamiento positivo a cada extracto vegetal sin nanopartículas, usando diferentes concentraciones (10, 100, 500, 1 000, 3 000 y 5 000 p. p. m.) tomando el extracto crudo a 100%.

Los bioensayos se llevaron a cabo implementado la metodología de medio envenenado con PDA en cajas Petri (Ochoa-Fuentes et al., 2012). Se evaluó el crecimiento micelial para el porcentaje de inhibición mediante la fórmula: % inhibición= crecimiento micelial del testigo - crecimiento micelial del tratamiento / crecimiento micelial del testigo x 100. Para el conteo de esporas se utilizó una cámara de Neubauer (Bustillo Pardey, 2010). Con los datos de porcentaje de inhibición se calcularon las dosis inhibitorias medias (DI50) mediante un análisis Probit, para evaluar la producción de esporas se realizó un análisis de varianza completamente al azar y una comparación de medias con el método Tukey ($p \leq 0.05$), utilizando el programa estadístico SAS System versión 9.0 en ambos casos.

Los tratamientos de gobernadora con nanopartículas de óxido silicio y zinc a 5% (tabla 1), presentaron menor DI50 de 846.61 y 939.63 p. p. m. con respecto al extracto de gobernadora sin nanopartículas, que mostró una DI50 de 1355 p. p. m., mientras que los extractos de mostaza con nanopartículas de óxido de zinc y silicio a 5% lograron inhibir 50% del hongo a una DI50 de 757.55 y 894.76 p. p. m. con respecto al extracto de mostaza que presentó una DI50 de 893.62 p. p. m., en donde se observó que al añadir las nanopartículas a los extractos se requieren menores concentraciones para inhibir el crecimiento micelial del hongo en 50%.

Es importante señalar que no existen reportes científicos relacionados a la determinación de concentraciones inhibitorias de extractos con nanopartículas de silicio y zinc. Sin embargo, Siddiqui, Parveen, Ahmad y Hashem (2019) mencionan que las nanopartículas de zinc poseen actividad antifúngica en *Fusarium* sp. González-Merino et al. (2021) encontraron que las nanopartículas de óxido de zinc controlan a *Fusarium oxysporum* en el cultivo del tomate. Por su parte, Huang, Roberts y Datnoff (2011) mencionó que al suministrar óxido de silicio en soluciones nutritivas es menos severa la enfermedad causada por *Fusarium* sp. en plantas de tomate.

Tabla 1
Dosis Inhibitoria media (DI50) del crecimiento micelial de *F. acuminatum* por los extractos de gobernadora y mostaza a los diferentes porcentajes de las nanopartículas de óxido de silicio y zinc

Tratamiento	DI50 (p. p. m.)	Límite fiducial	
		Inferior	Superior
Gobernadora	1355	976.6	1714
Gobernadora/Silicio 1%	1376	910.27	1815
Gobernadora/Silicio 3%	2005	1589	2406
Gobernadora/Silicio 5%	846.61	296.47	1398
Gobernadora/Zinc 1%	1081	802.91	1368
Gobernadora/Zinc 3%	1026	756.74	1302
Gobernadora/Zinc 5%	939.63	725.17	1159
Mostaza	893.62	772.54	1031
Mostaza/Silicio 1%	999.11	825.73	1214
Mostaza/Silicio 3%	1013	850.71	1214
Mostaza/Silicio 5%	894.76	771.26	1035
Mostaza/Zinc 1%	851.34	740.91	973.78
Mostaza/Zinc 3%	1014	913.48	1132
Mostaza/Zinc 5%	757.55	695.12	823.07

Nota: Elaboración propia.

La actividad esporulante (tabla 2) disminuyó con el uso de gobernadora/silicio 1, 3 y 5% ($1.49, 0.90$ y 0.85×10^6 ml⁻¹) a 3000 p. p. m. con respecto al testigo 19.78 y 18.29×10^6 ml⁻¹ en las concentraciones de 0 y 3000 p. p. m., mientras que los tratamientos con nanopartículas de óxido de zinc promovieron la producción de esporas. En los tratamientos de mostaza con nanopartículas de óxido de zinc y silicio promovieron la esporulación con respecto al testigo en todas las concentraciones evaluadas. Los extractos de gobernadora se han utilizado como estrategia ecológica y se ha demostrado que son una alternativa para un manejo integrado para *Fusarium* (Peñuelas-Rubio et al., 2017). En un estudio sobre el uso de diferentes productos botánicos, entre ellos mostaza, demostraron que hubo una reducción en la germinación de conidios (Drakopoulos et al., 2019).

Tabla 2
Efecto de las nanopartículas de óxido silicio y zinc en la esporulación de *F. acuminatum*

Extractos	C	Testigo	Tratamientos (Esporas x10 ⁶ ml ⁻¹)					
			1% SiO	3% SiO	5% SiO	1% ZnO	3% ZnO	5% ZnO
Gobernadora	0	19.78 a	19.78 a	19.78 a	19.78 a	19.78 b	19.78 b	19.78 b
	1000	15.84 a	1.49 b	1.33 b	1.17 b	24.64 b	15.26 b	29.97 a
	3000	18.29 a	1.49 b	0.90 b	0.85 b	33.22 a	16.32 b	28.21 a
	5000	13.38 a	1.65 b	1.17 b	1.17 b	17.38 b	46.88 a	26.77 ab
Mostaza	0	19.78 a	19.78 a	19.78 a	19.78 a	19.78 a	19.78 a	19.78 a
	1000	0.37 b	4.53 b	3.89 b	0.42 b	1.81 c	5.33 b	4.37 bc
	3000	0 b	2.61 b	0 b	1.17 b	10.45 b	8.26 b	6.66 b
	5000	0 b	0.37 b	0 b	0 b	0.26 c	3.30 b	0 c

Nota: C= Concentración en p. p. m., los tratamientos con la misma letra son iguales y tratamientos con diferente letra son estadísticamente diferentes Tukey ($p \leq 0.05$).

Elaboración propia.



Figura 1. Tratamientos del extracto de mostaza con nanopartículas de óxido de zinc. Elaboración propia.

Los tratamientos de mostaza con nanopartículas de ZnO (figura 1) tienen mejor efecto inhibitorio, pero en la esporulación sobresalieron los tratamientos de gobernadora con nanopartículas de SiO. Los extractos adicionados con nanopartículas son efectivos en el control in vitro de *F. acuminatum*, por lo que los tratamientos que mejor efecto mostraron se evaluarán en invernadero y campo, para de esta manera integrarse como estrategia de manejo de la enfermedad.

REFERENCIAS

- Ampt, E., van Ruijven, J., Raaijmakers, J., Termorshuizen, A., & Mommer, L. (2019). Vinculación de la ecología y la patología vegetal para desentrañar la importancia de los patógenos fúngicos transmitidos por el suelo en los pastizales ricos en especies. *Revista Europea de Patología Vegetal*, 154(1), 141-156. doi: 10.1007/s10658-018-1573-x
- Bustillo Pardey, A. E. (2010). *Método para cuantificar suspensiones de esporas de hongos y otros organismos*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. doi: 10.13140/RG.2.1.3594.5128
- Drakopoulos, D., Luz, C., Torrijos, R., Meca, G., Weber, P., Bänziger, I., Voegelé, R. T., Six, J., & Vogelgsang, S. (2019). Use of botanicals to suppress different stages of the life cycle of *Fusarium graminearum*. *Phytopathology*, 109(12), 2116-2123. doi: 10.1094/PHYTO-06-19-0205-R
- González-Merino, A., Hernández-Juárez, A., Betancourt-Galindo, R., Ochoa-Fuentes, Y., Valdez-Aguilar, L., & Limón-Corona, M. (2021). Antifungal activity of zinc oxide nanoparticles in *Fusarium oxysporum*-*Solanum lycopersicum* pathosystem under controlled conditions. *Journal of Phytopathology*, 169(9), 533-544. doi: 10.1111/jph.13023

- Huang, C., Roberts, P., & Datnoff, L. (2011). Silicon suppresses *Fusarium* crown and root rot of tomato. *Revista de fitopatología*, 159(7-8), 546-554. doi: 10.1111/j.1439-0434.2011.01803.x
- Lazreg, F., Belabid, L., Sánchez, J., Gallego, E., Garrido-Cardenas, J., & Elhaitoum, A. (2013). First report of *Fusarium acuminatum* causing damping-off disease on Aleppo pine in Algeria. *Plant Disease*, 97(4), 577. doi: 10.1094/PDIS-06-12-0608-PDN
- Logrieco, A., Altomare, C., Moretti, A., & Bottalico, A. (1992). Cultural and toxigenic variability in *Fusarium acuminatum*. *Mycological Research*, 96(6), 518-523. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0953756209811015>
- Marín-Bustamante, M. Q., Hernández-Flores, A., & Cásarez-Santiago, R. G. (2021). Nanotecnología y Agricultura: Detección, monitoreo y remediación de contaminantes. *Revista Salud y Administración*, 8(23), 29-35. Recuperado de <https://revista.unsis.edu.mx/index.php/saludyadmon/article/view/214/167>
- Ochoa-Fuentes, Y., Cerna-Chávez, E., Gallegos-Morales, G., Landeros-Flores, J., Delgado-Ortiz, J., Hernández Camacho, S., & Olalde-Portugal, V. (2012). Identificación de especies de *Fusarium* en semilla de ajo en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Micología*, 36, 27-32. Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmm/v36/v36a5.pdf>
- Peñuelas-Rubio, O., Arellano-Gil, M., Verdugo-Fuentes, A. A., Chaparro-Encinas, L. A., Hernández-Rodríguez, S. E., Martínez-Carrillo, J. L., & Vargas-Arispuro, I. C. (2017). *Larrea tridentata* extracts as an ecological strategy against *Fusarium oxysporum* radicle-lycopersici in tomato plants under greenhouse conditions. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 35(3), 360-376. doi: 10.18781/r.mex.fit.1703-3
- Ramírez-Mares, M. V., & Hernández-Carlos, B. (2015). *Plant-derived natural products from the American continent for the control of phytopathogenic fungi: A Review*. *Journal of Global Innovations in Agricultural and Social Science*, 3(4), 96-118. doi: 10.17957/JGIASS/3.4.721
- Seifi, T., Ketabchi, S., Aminian, H., Etebarian, H. R., & Kamali, M. (2014). Investigation and comparison of the ice nucleation activity in *Fusarium avenaceum* and *Fusarium acuminatum*. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 3, 518-528. Recuperado de <http://ijfas.com/wp-content/uploads/2014/05/518-528.pdf>
- Siddiqui, Z., Parveen, A., Ahmad, L., & Hashem, A. (2019). Effects of graphene oxide and zinc oxide nanoparticles on growth, chlorophyll, carotenoids, proline contents and diseases of carrot. *Scientia Horticulturae*, 249, 374-382. doi: 10.1016/j.scienta.2019.01.054
- Villa-Martínez, A., Pérez-Leal, R., Morales-Morales, H., Basurto-Sotelo, M., Soto-Parra, J., & Martínez-Escudero, E. (2015). Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica*, 64(2), 194-205. doi: 10.15446/acag.v64n2.43358
- Wall, L. G. (2019). La ecología microbiana y la agricultura. *Horizonte A*, 24-30. Recuperado de <https://notablesdelaciencia.conicet.gov.ar/handle/11336/135423>
- Wang, C. W., Ai, J., Fan, S. T., Lv, H. Y., Qin, H. Y., Yang, Y. M., & Liu, Y. X. (2015). *Fusarium acuminatum*: A new pathogen causing postharvest rot on stored kiwifruit in China. *Plant Disease*, 99(11). doi: 10.1094/PDIS-01-15-0021-PDN



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.