

Eficacia de nanopartículas de silicio en la actividad acaricida de abamectina y acequinocil contra *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)

Efficacy of silicon nanoparticles in the acaricidal activity of abamectin and acequinocil against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)

Lisett Romero-Pavón¹ , Ernesto Cerna-Chávez^{1*} , Yisa María Ochoa-Fuentes¹ , Jerónimo Landeros-Flores¹ , José Francisco Rodríguez-Rodríguez² , Omegar Hernández-Bautista³ 

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro, 1923, Buenavista, 25315, Saltillo, Coahuila, México.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Bajío,
Carretera Celaya-San Miguel Allende, km 6.5, 38010, Celaya, Guanajuato, México.

³Culta S. A de C. V., Dirección de Investigación y Desarrollo, Boulevard Luis Echeverría Álvarez, 1700 local A, 89880, Altavista, El Mante, Tamaulipas, México.

*Autor para correspondencia: jabaly@yahoo.com

Fecha de recepción:

12 de diciembre de 2024

Fecha de aceptación:

12 de marzo de 2025

Disponible en línea:

10 de noviembre de 2025

Este es un artículo en acceso abierto que se distribuye de acuerdo a los términos de la licencia Creative Commons.

RESUMEN

Tetranychus urticae Koch (Acari: Tetranychidae) es un ácaro perjudicial que ataca a numerosos cultivos, causando daños severos en poco tiempo debido a su corto ciclo de vida, alto potencial reproductivo y capacidad de dispersión. El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia de la actividad acaricida de abamectina y acequinocil utilizados de forma individual y en combinación con nanopartículas de silicio (NPs-Si) para el control de *T. urticae*. Los resultados indicaron que la adición de NPs-Si potenció significativamente la actividad de ambos compuestos, al reducir las concentraciones letales medias (CL_{50}) en comparación con los tratamientos individuales. Estos hallazgos destacan el potencial de los nanoplaguicidas como alternativas ecológicas y efectivas para el manejo de ácaros plaga.

PALABRAS CLAVE

Ácaros, control, alternativas, nanoplaguicidas, potencializar



Reconocimiento-
NoComercial-
CompartirIgual 4.0
Internacional
(CC BY-NC-SA 4.0)

ABSTRACT

Tetranychus urticae Koch (Acari: Tetranychidae) is a harmful mite that attacks numerous crops, causing severe damage in a short period due to its short life cycle, high reproductive potential, and dispersal capacity. The aim of this study was to evaluate the efficacy of the acaricidal activity of abamectin and acequinocyl when used individually and in combination with silicon nanoparticles (Si-NPs) for the control of *T. urticae*. The results indicated that the addition of Si-NPs significantly enhanced the activity of both compounds by reducing the median lethal concentrations (LC_{50}) compared to the individual treatments. These findings highlight the potential of nanopesticides as eco-friendly and effective alternatives for pest mite management.

KEYWORDS

Mites, control, alternatives, nanopesticides, enhance

Tetranychus urticae Koch (Acari: Tetranychidae) es una plaga que afecta a diversos cultivos agrícolas, causando pérdidas económicas y reduciendo la producción (Emam et al., 2021). Su control se basa principalmente en métodos químicos, lo que ha llevado a la selección y proliferación de poblaciones resistentes a diversos ingredientes activos (Zayed, 2022). Actualmente se exploran nuevas tecnologías para el manejo de ácaros, entre ellas la nanotecnología, utilizada en la fabricación de materiales innovadores como insecticidas con mejoras significativas para el control de plagas agrícolas (Yousef et al., 2023). La nanotecnología tiene el potencial de revolucionar la agricultura, especialmente en el manejo de plagas y enfermedades, ya que las nanopartículas poseen propiedades funcionales y estructurales que aumentan su compatibilidad y efectividad biológica, además de ofrecer una solución para la eliminación de residuos de plaguicidas mediante actividad fotocatalítica (Jameel et al., 2020; Rasim et al., 2021). Se ha reportado su aplicación para mitigar el estrés por salinidad (Abdel-Haliem et al., 2017) y contrarrestar la toxicidad de metales pesados. En este contexto, las nanopartículas de silicio (NPs-Si) se aplican en campo como insecticidas o como nanoportadores de plaguicidas comerciales para mejorar su efectividad (Zayed, 2022). La actividad insecticida del silicio se debe a sus propiedades abrasivas y deshidratantes de la cutícula de los insectos, deteriorando su tracto digestivo y bloqueando los espiráculos, lo que afecta la respiración (Abd El-Wahab y El-Bendary, 2016). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la eficacia de NPs-Si en la actividad acaricida de abamectina y acequinocil para el control de tres poblaciones de *T. urticae* en el Estado de México, México.

La investigación se realizó en el Laboratorio de Toxicología del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Se evaluaron los acaricidas abamectina (Biomec®, UPL AGRO S.A. de C.V., Ciudad de México, México) y acequinocil (Kanemite®, UPL, AGRO S.A. de C.V., Ciudad de México, México) solos y con la adición de NPs-Si (nanoesferas de 40-80 nm), proporcionadas por Culta S.A. de C.V. Se estudiaron tres poblaciones de *T. urticae*, recolectadas en cultivos del rosal bajo condiciones de invernadero en tres localidades: Los Pilares (L2, 18° 54' 49.392" N, 99° 37' 3.971" O), Lizflor (L3, 19° 0' 10.402" N, 99° 35' 1.054"

O) e Isoflor (L4, 18° 59' 47.004" N, 99° 34' 56.46" O), además de una población susceptible (LS, 25° 21' 8.55" N, 101° 1' 37.426" O), recolectada en el invernadero de parasitología de la misma universidad, sin exposición a insecticidas durante dos años, utilizada como testigo. Los ácaros se recolectaron manualmente, tomando foliolos con síntomas de infestación y trasladados en cajas entomológicas de 40 cm × 50 cm × 7 cm, con una abertura cubierta de tela organza para favorecer la ventilación. Posteriormente, se colocaron en una cámara bioclimática bajo condiciones controladas (25 ± 2 °C, 65 % HR y 12:12 h luz/oscuridad), donde fueron alimentados con plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L). Se evaluaron concentraciones de abamectina a 0.1 ppm, 0.5 ppm, 1 ppm, 10 ppm, 20 ppm y 30 ppm y de acequinocil a 10 ppm, 500 ppm, 1,000 ppm, 3,000 ppm, 6,000 ppm y 9,000 ppm, con la adición de NPs-Si al 3 %.

La mortalidad se evaluó a las 24, 48 y 72 horas utilizando un microscopio estereoscópico Carl Zeiss Stemi 305 (ZEISS, Jena, Alemania); los ácaros fueron estimulados con un pincel 000 y aquellos que no respondieron fueron considerados muertos. Los datos obtenidos se corrigieron mediante la fórmula de Henderson y Tilton (1955) y se sometieron al análisis probit (Finney, 1971), generando la curva concentración-mortalidad, obteniendo la concentración letal media (CL_{50}), los límites fiduciales y la ecuación de predicción, mediante el programa estadístico SAS System para Windows 9.0. La toxicidad de cada tratamiento se consideró significativamente diferente solamente si sus límites fiduciales al 95 % no se traslaparon.

En cuanto a la abamectina, la población LS registró la CL_{50} más baja (5.82 ppm), seguida de L4 (10.32 ppm), L3 (14.23 ppm) y L2 (20.81 ppm), siendo esta última la más elevada en comparación con la LS (Cuadro 1). Estos resultados coinciden con los reportados por Díaz-Arias et al. (2019), quienes al aplicar abamectina a cuatro poblaciones de *T. urticae* en campo, obtuvieron CL_{50} entre 2.72 ppm y 25.37 ppm, mientras que para una línea susceptible el valor fue de 0.0012 ppm. Martínez et al. (2021) informaron una CL_{50} de 1,237 ppm en una línea de campo y 88.04 ppm en la línea susceptible. Para el tratamiento de abamectina con NPs-Si, las CL_{50} se redujeron considerablemente: L3 1.69 ppm, L4 3.02 ppm y L2 3.90 ppm, mientras que la LS presentó el valor más bajo (1.09 ppm). En este contexto, la CL_{50} en la L2 disminuyó 16.91 veces, en L3 12.54 veces y en L4

7.3 veces, en comparación con los tratamientos de abamectina sola.

La mayor eficacia de las NPs-Si puede atribuirse a su capacidad para alterar la cutícula de los ácaros e interferir con sus procesos fisiológicos (Benelli, 2018). Estudios de Zayed (2022) destacan la efectividad de estas nanopartículas como ovicidas. Hala y Elsamahy (2016) evaluaron NPs-Si en hembras adultas de *T. urticae* y *T. cinnabarinus* (Boisduval) a concentraciones de 50, 100, 200 y 400 ppm, reportando mortalidades de 32.5, 35, 67.5 y 85 % y 22.5, 27.5, 42.5 y 72.5 % respectivamente, atribuyendo los efectos al endurecimiento del cuerpo de los ácaros y a la aparición de manchas en el exoesqueleto, especialmente a concentraciones mayores. Por otro lado, Nikpay y Nejadian (2013) observaron una reducción significativa en la población de *Oligonychus sacchari* McGregor al aplicar silicio en parcelas tratadas respecto al control. Finalmente, Zayed (2022) concluye que nanoformulaciones de abamectina con NPs-Si presentan una mayor acción acaricida que la aplicación de abamectina sola.

En el caso del acequinocil, la población LS registró la CL₅₀ más baja (5,605 ppm), mientras que en las poblaciones de campo se obtuvieron valores de 1,617 ppm para L3, 1,870 ppm para L2 y 2,293 ppm para L4.

Estos datos difieren de los reportados por Sugimoto y Osakabe (2019), quienes al aplicar acequinocil a hembras adultas de *T. urticae* a una línea susceptible de laboratorio obtuvieron una CL₅₀ de 3.99 ppm, mientras que en dos poblaciones de campo los valores fueron de 79.2 y 152 ppm. Por otro lado, Martínez et al. (2021) informaron una CL₅₀ de 543.2 ppm para una población de laboratorio y 1,989 ppm en una población de campo recolectada en cultivos comerciales de frambuesa (*Rubus idaeus* L.). No obstante, los resultados que concuerdan con esta investigación son los reportados por Kim et al. (2019), quienes evaluaron una población recolectada en invernaderos de rosa expuesta a constantes aplicaciones de acequinocil y obtuvieron CL₅₀ mayores a 5,000 ppm. Respecto al tratamiento de acequinocil con NPs-Si, la LS presentó una CL₅₀ de 361.58 ppm, seguida de L3 (1,617 ppm), L2 (1,870 ppm) y L4 (2,293 ppm). En este sentido, se observó una reducción de 7,131 veces en L2, 6,458 en L3 y 4,811 veces en L4, en comparación con los tratamientos de acequinocil sin la adición de NPs-Si. Estos resultados muestran una mejora significativa en el control de *T. urticae*, convirtiendo a las NPs-Si en una herramienta atractiva para reducir el uso de plaguicidas y desarrollar nuevas formulaciones con entrega eficiente de ingredientes activos (Shukla et

Cuadro 1. Concentración letal media y límites fiduciales de acaricidas solos más NPs-Si aplicados a poblaciones de *T. urticae*.

Producto	Población	N	CL ₅₀ (mg L ⁻¹)	LFI-LFS	Ec. Predicción
Abamectina	LS	662	5.82	3.08-11.39	Y:-0.015039±0.021113
	L2	653	20.81	15.06-30.89	Y:-0.006606±0.007722
	L3	648	14.23	9.98-21.80	Y:-0.037280±0.005341
	L4	637	10.32	4.88-31.70	Y:-0.009453±0.014368
Abamectina+NPs-Si	LS	726	1.09	0.23-1.64	Y:-0.006991±0.054744
	L2	674	3.90	1.97-8.46	Y:-0.001460±0.003377
	L3	638	1.69	0.50-4.57	Y:-0.001090±0.039960
	L4	627	3.02	2.11-5.17	Y:-0.001688±0.003722
Acequinocil	LS	571	5,605	1,539-19,017	Y:-0.064587±0.020094
	L2	614	9,001	3,519-21,763	Y:-0.084940±0.025429
	L3	639	8,075	2,282-13,238	Y:-0.049189±0.015327
	L4	637	7,104	1,621-13,528	Y:-0.266987±0.078630
Acequinocil+NPs-Si	LS	595	361.58	2.58-23.19	Y:-0.101862±0.031693
	L2	668	1,870	418-10,461	Y:-0.071748±0.024104
	L3	659	1,617	322.31-18,843	Y:-0.164684±0.051246
	L4	608	2,293	80.82-6,722	Y:-0.120126±0.038292

LS: Población susceptible, L2: Los Pilares, L3: Lizflor, L4: Isoflor, N: Número de hembras, CL: Concentración Letal Media, LFI: Límite Fiducial Inferior, LFS: Límite Fiducial Superior.

al., 2019). Además, permiten disminuir las dosis aplicadas y mejorar la estabilidad de los productos frente a los plaguicidas convencionales (Rikta y Rajiv, 2021).

Los tratamientos con abamectina y acequinoicil combinados con NPs-Si mostraron una mayor eficacia en el control de *T. urticae*, reduciendo significativamente las CL₅₀ en comparación con los acaricidas aplicados solos. La combinación con NPs-Si mejora la acción tóxica al facilitar la penetración y adsorción en los ácaros. Estos resultados destacan el potencial de los nanoplaguicidas como una alternativa eficiente y sostenible para el manejo de plagas, permitiendo reducir las dosis de plaguicidas convencionales, mejorar su estabilidad y contribuir a disminuir la resistencia y el impacto ambiental.

AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación y a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por el apoyo para realizar los estudios de posgrado.

LITERATURA CITADA

- Abd El-Wahab, A. S., & El-Bendary, H. M. (2016). Nano silica as a promising nano pesticide to control three different aphid species under semi-field conditions in Egypt. *Egyptian Academic Journal of Biological Sciences*, 8(2), 35-49. <https://doi.org/10.21608/EAJBSF.2016.17117>
- Abdel-Haliem, M. E. F., Hegazy, H. S., Hassan, N. S., & Naguib, D. M. (2017). Effect of silica ions and nano silica on rice plants under salinity stress. *Ecological Engineering*, 99, 282-289. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.060>
- Benelli, G. (2018). Mode of action of nanoparticles against insects. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(13), 12329-12341. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1850-4>
- Díaz-Arias, K. V., Rodríguez-Maciel, J. C., Lagunes-Tejeda, Á., Aguilar-Medel, S., Tejeda-Reyes, M. A., & Silva-Aguayo, G. (2019). Resistance to abamectin in field population of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) associated with cut rose from State of Mexico, Mexico. *Florida Entomologist*, 102(2), 428-430. <https://doi.org/10.1653/024.102.0222>
- Emam, H., Ibrahim, M. S., Ibrahim, M., & El-Sayed, S. (2021). Greenhouse and laboratory evaluation of the efficiency of green silicon dioxide nanoparticles against *Tetranychus urticae* (Koch). *Arab Universities Journal of Agricultural Sciences*, 29(3), 901-912. <https://doi.org/10.21608/ajs.2021.92246.1411>
- Finney, D. J. (1971). *Probit Analysis*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1002/jps.2600600940>
- Hala, H. A., & Elsamahy, M. F. (2016). Relative toxicity of silica nanoparticles to two Tetranychids and three associated predators. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 26(2), 283-286.
- Henderson, C. F., & Tilton, E. W. (1955). Test with acaricides against the brown wheat mite. *Journal of Economic Entomology*, 48(2), 157-161. <https://doi.org/10.1093/jee/48.2.157>
- Insecticide Resistance Action Committee. (2009, junio). *IRAC Susceptibility Test Method 004* [versión 3]. <https://irac-online.org/methods/panonychus-ulmi-tetranychus-species-adults/>
- Jameel, M., Shoeb, M., Khan, M. T., Ullah, R., Mobin, M., Farooqi, M. K., & Adnan, S. M. (2020). Enhanced insecticidal activity of thiamethoxam by zinc oxide nanoparticles: A novel nanotechnology approach for pest control. *ACS Omega*, 5(3), 1607-1615. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03680>
- Kim, S. I., Koo, H.-N., Choi, Y., Park, B., Kim, H. K., & Kim, G.-H. (2019). Acequinoicil resistance associated with i256v and n321s mutations in the two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae). *Journal of Economic Entomology*, 112(2), 835-841. <https://doi.org/10.1093/jee/toy404>
- Martínez-Huasanche, F., Rodríguez-Maciel, J. C., Santillán-Galicia, M. T., Lagunes-Tejeda, Á., Rodríguez-Martínez, D., Toledo-Hernandez, R., Guzmán-Franco, A. W., & Silva-Aguayo, G. (2021). Rapid bioassay for detection of acaricide resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Journal of Entomological Science*, 56(2), 246-255. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-56.2.246>
- Nikpay, A. & Nejadian, E. S. (2013). Field applications of silicon-based fertilizers against sugarcane yellow mite *Oligonychus sacchari*. *Sugar Tech*, 16(3), 319-324. <https://doi.org/10.1007/s12355-013-0276-z>
- Rasim, H. S., Mohsen, B. H., & Al-Gburi, B. K. (2021). Acaricidal effects of silicon oxide and zinc oxide nanoparticles against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on tomato plants. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*, 37(1), 60-71. <https://doi.org/10.3954/jaue21-08>

- Rikta, S. Y., & Rajiv, P. (2021). Applications of silver nanomaterial in the control of agricultural pests. En K. A. Abd-elsalam (Ed.), *Silver nanomaterials for agri-food applications* (pp. 453-470). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823528-7.00002-0>
- Shukla, P., Chaurasia, P., Younis, K., Qadri, O. S., Faridi, S. A., & Srivastava, G. (2019). Nanotechnology in sustainable agriculture: studies from seed priming to post harvest management. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 4(1), 11. <https://doi.org/10.1007/s41204-019-0058-2>
- Sugimoto, N., & Osakabe, M. (2019). Mechanism of acequinoctil resistance and cross resistance to bifenazate in the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae). *Applied Entomology and Zoology*, 54, 421-427. <https://doi.org/10.1007/s13355-019-00638-w>
- Yousef, H. A., Fahmy, H. M., Arafa, F. N., Allah, M. Y., Tawfik, Y. M., Halwany, K. K., El-Ashmawy, B. A., Al-anany, F., Mohamed, M. A. & Bassily, M. E. (2023). Nanotechnology in pest management: advantages, applications, and challenges. *International Journal of Tropical Insect Science*, 43, 1387-1399. <https://doi.org/10.1007/s42690-023-01053-z>
- Zayed, M. S. (2022). Silica nanoparticles boosted abamectin's acaricidal bioactivity against *Tetranychus urticae* Koch's two spotted spider mite developmental stages. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 13(5), 93-100. <https://doi.org/10.21608/jPPP.2022.132496.1066>