

Short Note [Nota corta]



Efficacy of entomopathogenic fungal filters additioned with silicon nanoparticles on the mortality of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) †

[Eficacia de filtrados de hongos entomopatógenos adicionados con nanopartículas de silicio en la mortalidad de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)]

Lisett Romero-Pavón, Ernesto Cerna-Chávez, Yisa María Ochoa-Fuentes* and Saúl Enrique Uribe-Rivera

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología. Calzada Antonio Narro, 1923, Buenavista, C. P. 25315. Saltillo, Coahuila, México. Email: romero_pavon@hotmail.com, jabaly1@yahoo.com, yisa8a@yahoo.com*, sauluribe.rivera@gmail.com

*Corresponding author

SUMMARY

Background: *Tetranychus urticae* is considered a very destructive pest, resistance has been documented due to poor management of agrochemicals, which has motivated interest in developing acaricides with alternative modes of action to mitigate this problem. Entomopathogen filtrates have insecticidal properties, deactivating several immune mechanisms that allow them to overcome and then kill the host. On the other hand, due to its shape, size and porosity, silica can act as an excellent nanocarrier for the administration of biopesticides. **Objective:** To evaluate the acaricidal activity of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* filtrates alone and in combination with silicon nanoparticles for the control of *T. urticae* associated with rose crops. **Methodology:** The leaf immersion method was used, a mortality correction was made using the Henderson and Tilton formula, the results obtained were subjected to a Probit Analysis, to obtain the concentration-mortality response curve and thus obtain the LC₅₀. **Results:** The *Beauveria* + Nps-Si treatment showed greater effectiveness in controlling *T. urticae* by presenting the lowest LC₅₀, followed by *Metarhizium* + Nps-Si. **Conclusions:** The filtrate treatments of *B. bassiana* and *M. anisopliae* are effective in controlling *T. urticae*, but when combined with NPs-Si their effectiveness increases considerably.

Key words: mites; *Beauveria*; *Metarhizium*; nanoparticles; resistance; silicon.

RESUMEN

Antecedentes: *Tetranychus urticae* es considerada una plaga muy destructiva, se ha documentado resistencia debido al mal manejo de agroquímicos, lo que ha motivado el interés por desarrollar acaricidas con modos de acción alternativos para mitigar dicho problema. Los filtrados de entomopatógenos poseen propiedades insecticidas, desactivando varios mecanismos inmunitarios que permiten vencer y luego matar al huésped, por otro lado, debido a su forma, tamaño y porosidad la sílice puede actuar como excelente nanoportador para la administración de biopesticidas. **Objetivo:** Evaluar la actividad acaricida de filtrados de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* solos y en combinación con nanopartículas de silicio para el control de *T. urticae* asociada al cultivo del rosal. **Metodología:** Se empleó el método de inmersión de hoja, se hizo una corrección de mortalidad mediante la fórmula de Henderson y Tilton, los resultados obtenidos se sometieron a un Análisis Probit, para obtener la curva de respuesta concentración-mortalidad y así obtener la CL₅₀. **Resultados:** El tratamiento *Beauveria*+Nps-Si mostro mayor efectividad para controlar a *T. urticae* al presentar la CL₅₀ más reducidas, seguida de *Metarhizium*+Nps-Si. **Conclusiones:** Los tratamientos de filtrados de *B. bassiana* y *M. anisopliae* son efectivos para controlar *T. urticae*, pero al combinarlos con NPs-Si su efectividad incrementa de manera considerable.

Palabras clave: ácaros; *Beauveria*; *Metarhizium*; nanopartículas; resistencia; silicio.

† Submitted December 23, 2024 – Accepted October 17, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4797>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = L. Romero Pavón: <http://orcid.org/0000-0003-1755-0319>; E. Cerna Chávez: <http://orcid.org/0000-0003-2263-4322>; Y.M. Ochoa Fuentes: <http://orcid.org/0000-0001-7859-8434>; S.E. Uribe Rivera: <http://orcid.org/0000-0001-6988-6063>

INTRODUCCIÓN

Tetranychus urticae Koch (Acari: Tetranychidae) es considerada una de las plagas más destructiva, debido a que ataca una gran diversidad de plantas (Basak *et al.*, 2021). Frecuentemente se ha documentado la presencia de resistencia debido al mal manejo de agroquímicos, lo que ha motivado el interés para desarrollar acaricidas con modos de acción alternativos, compatibles con el manejo integrado de plagas, de bajo impacto ambiental y menor riesgo para la salud del personal involucrado con las aplicaciones (Basak *et al.*, 2021). Debido a la importancia de esta plaga y a la baja eficiencia de los acaricidas para su control, se han documentado estudios respecto al uso de hongos entomopatógenos y sus filtrados, para reducir las poblaciones de este ácaro y como un método alternativo para mitigar el problema de resistencia (Meteab *et al.*, 2022). Se sabe que los metabolitos secundarios tienen diversas propiedades insecticidas (Shin *et al.*, 2017). Estos desactivan mecanismos inmunitarios que permiten vencer y luego matar al huésped, esta característica hace que *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin y *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin, resulten prometedores para el control de plagas, la actividad acaricida de los metabolitos secundarios se ha documentado en varias investigaciones (Ríos *et al.*, 2017), el uso de biopreparados de este hongo se está popularizado en varias partes del mundo (Yucel, 2021). Por otro lado, Gayathri (2023) menciona que la nanotecnología es muy prometedora para el control de insectos plaga, debido a que los biopesticidas son estrategias menos dañinas para superar la resistencia. Debido a su forma, tamaño y porosidad la sílice puede actuar como excelente nanoportador para la administración de biopesticidas, feromonas y fungicidas (Cáceres *et al.*, 2019). Por lo anterior el objetivo de la presente investigación fue evaluar filtrados de *B. bassiana* y *M. anisopliae* solos y adicionados con nanopartículas de silicio para potenciar la efectividad sobre la mortalidad de tres poblaciones de adultos de *T. urticae* asociados al cultivo del rosál en la zona productora del sur del Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

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.

Productos evaluados

Se evaluaron filtrados de hongos entomopatógenos de *B. bassiana* y *M. anisopliae* solos y combinados con

nanopartículas de silicio (Nps-Si), (nanoesferas de 40-80 nm) todos los productos fueron proporcionados por la empresa Culta S. A. de C. V.

Poblaciones de ácaros

Se evaluaron tres poblaciones de *T. urticae* pertenecientes a la zona productora del rosál al sur del Estado de México. Dichas poblaciones fueron los Pilares (P1), Lizflor (P2) e Isoflor (P3), colectadas en invernaderos y como línea de referencia una población susceptible (PS), libre de aplicación de acaricidas, colectada en el invernadero de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, la ubicación de dichos lugares se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas correspondientes a las poblaciones de *Tetranychus urticae*.

Población	Coordenadas geográficas
P1	18°54'46.184"N, 99°37'1.635"O
P2	18°59'48.815"N, 99°34'58.503"O
P3	19°0'11.243"N, 99°34'43.37"O
PS	25°21'9.144"N, 101°1'37.516"O

Colecta del material biológico

Las poblaciones de ácaros se colectaron de forma manual, en plantas de rosál, las muestras fueron tomadas de los estratos bajo, medio y superior, seleccionando hojas con sintomatología típica de infestación por *T. urticae*. Las muestras se colocaron en bolsas de papel kraft, sellando y etiquetando con datos de identificación, se colocaron en cajas entomológicas para su traslado al laboratorio de Toxicología. Para su alimentación se usaron plántulas de *Phaseolus vulgaris* var. Lima, las cuales se mantuvieron bajo condiciones controladas 21±3 °C, 65 % HR y 12:12 horas luz: oscuridad.

Bioensayos

Se evaluaron seis dosis para cada tratamiento a 10, 100, 1 000, 3 000, 6 000 y 10 000 ppm y las NPs-Si al 3%, más un testigo absoluto, con sus respectivas tres réplicas por tratamiento. Para la evaluación se empleó el método de prueba de susceptibilidad 003 (IRAC, 2009), dicho método consistió en tomar una hoja de las plántulas de frijol infestada, se realizó un preconteo de ácaros adultos con un estereoscópio Zeiss Stemi DV4, marca Carl Zeiss, la hoja se sumergió durante cinco segundos en la solución de estudio, dejando que el líquido de la superficie de la hoja se secara para colocarse con el envés hacia arriba dentro de la caja de Petri sobre una capa de algodón húmeda, se mantuvieron las cajas a 21±3 °C donde no estuvieron

expuestas a la luz solar directa. Usando el mismo estereoscópio se evaluó la mortalidad cada 24 horas después del tratamiento, el criterio para considerar si estaban muertos, fue el de estimular con un pincel triple cero de modo que todo aquel que no respondía a dicho estímulo fue considerado como muerto.

Análisis estadístico

Con los datos obtenidos se hizo una corrección de mortalidad mediante la fórmula de Henderson y Tilton (1955): % eficacia: $[1 - (Ca/Ta) * (Td/Cd)] * 100$, donde Ca: testigo antes del tratamiento; Ta: tratamiento después de la aplicación; Td: tratamiento antes de la aplicación y Cd: testigo después de la aplicación. Los resultados se sometieron a un Análisis Probit (Finney, 1971), para obtener la curva de respuesta concentración-mortalidad y así obtener la concentración letal media (CL₅₀), utilizando el programa estadístico SAS System para Windows 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la bitácora de aplicación de agroquímicos las tres poblaciones de campo estuvieron expuesta a bifentrina, cihalotrina, abamectina, clorfenapir y acequinocil. Los tratamientos evaluados en esta investigación revelaron que pueden emplearse para controlar poblaciones de *T. urticae*, tal como se muestra en la tabla 2. La eficacia de los tratamientos contra el ácaro comenzó a presentarse posterior a las 72 horas de aplicación.

Para el tratamiento de *Beauveria* el valor de CL₅₀ de las poblaciones de campo oscilo entre 4 429 a 5 544 ppm a diferencia de la LS, la cual presentó el valor más bajo de 2 896 ppm. Respecto al tratamiento *Beauveria*+Nps-Si la L3 presentó el valor más alto de CL₅₀, seguida de la L1 y L2 en comparación con la LS la cual fue de menor valor con una CL₅₀ de 1 253 ppm. Respecto a *Metarhizium* la L3 obtuvo al valor más alto seguida de la L1 y la L2, en comparación con la LS. Finalmente, *Metarhizium*+Nps-Si presento CL₅₀ muy similares al compararlas con la LS. Si bien los resultados mostrados en las figuras, se observó el traslape de los límites fiduciales siendo estadísticamente iguales, lo que se buscó con los tratamientos de aplicación del producto solo más el mismo producto con la adición de NPs-Si, fue aquellos con el menor valor de CL₅₀.

En la figura 1 se muestra la comparación de los tratamientos del filtrado *B. bassiana*. Cuando a *B. bassiana* se le adicionaron NPs-Si, la patogenicidad del hongo se potencializo, reduciendo en un 56.77%, 34.01%, 59.54% y 11.06% las CL₅₀, para la PS, P1, P2 y P3 respectivamente en comparación con los tratamientos sin la adición de NPs-Si. La muerte se atribuye a un daño severo en el tejido, deshidratación

y perdida de ingesta de los nutrientes. (Sánchez *et al.*, 2014). En aplicaciones de filtrados de entomopatógenos las esporas se eliminan y no entran en contacto con el huésped, por consecuencia el inicio de la infección y muerte es más rápida (Gustianingtyas *et al.*, 2020; Herlinda *et al.*, 2020). Los filtrados de *B. bassiana* en medios líquidos producen enzimas exoquitinasas quitinolíticas, las cuales degradan la quitina presente en el exoesqueleto de artrópodos (Pinnamaneni *et al.*, 2010). Contienen enzimas como lipasas, proteasas y quitinasas, las cuales alteran la cutícula del huésped, haciendo más fácil el proceso de infección (Hanan *et al.*, 2020). Se ha documentado que *B. bassiana* produce la enzima proteasa, disolviendo las proteínas corporales y causando la muerte al insecto plaga (Mancillas-Paredes *et al.*, 2019). Por otro lado, la susceptibilidad de los ácaros a los metabolitos de los hongos cuando se exponen a NPs-Si puede atribuirse a cambios en la permeabilidad intestinal (Castagnola *et al.*, 2016; Dubovskiy *et al.*, 2021)., el cual juega un papel importante en la micosis (Alkhaibari *et al.*, 2016). En una investigación Gustianingtyas *et al.* (2020), evaluaron la toxicidad del filtrado de cultivo del hongo entomopatógeno *B. bassiana* y *M. anisopliae* contra larvas de *Spodoptera litura* (Lepidóptera: Noctuidae), los resultados demostraron mortalidades del 94.67% y 96% respectivamente, tres días después de la aplicación del filtrado las larvas mostraron cambio en el color del tegumento y al cuarto día comenzaron a contraerse y finalmente les provocó la muerte, a diferencia de las larvas que no se les administro el filtrado, con un mayor tamaño y color verde brillante en el tegumento. En otra investigación Hersanti *et al.* (2020) evaluaron el efecto de la aplicación de la mezcla de *Beauveria*+NPs-Si en larvas de *Spodoptera litura* (Lepidóptera: Noctuidae) y mencionan una efectividad mayor al comparar con la aplicación sin la adición de NPs-Si, los autores asumen que la muerte es causada por la deshidratación, ya que la sílice absorbe los líquidos corporales de las larvas, además de que la enzima producida por el hongo degrada la cutícula, potencializando la infección del hongo dentro de las células del cuerpo del insecto. En otra investigación Emami *et al.* (2021) al aplicar la mezcla de *Beauveria* y nanosílice sobre el pulgón de la col *Brevicoryne brassicae* (Hemíptera: Aphididae), reportan mortalidades de 90% presentando una diferencia significativa al comparar con el control. Por otro lado, Hosseinzadeh *et al.* (2022) concluyeron que al mezclar NPs-Si y *B. bassiana* se pueden utilizar para controlar *Trialeurodes vaporariorum*, (Hemíptera: Aleyrodidae) demostrando que esta nanopartícula no tiene efectos adversos sobre la germinación del hongo y puede usarse en combinación para el control integrado de la mosca blanca de invernaderos.

En la Figura 2 se muestran las CL₅₀ de los tratamientos de filtrados de *Metarhizium*. Se evidencia que al adicionar las NPs-Si las CL₅₀ se reducen en un 68.97%,

41.19%, 70.02% y 60.95% para la PS, P1, P2 y P3 respectivamente, al comparar con los tratamientos sin la adición de NPs-Si. *Metarhizium* produce metabolitos tóxicos como las destruxinas, que suelen ser más virulentos cuando se producen en mayores cantidades (Schränk y Vainstein, 2010). Dichas toxinas afectan el sistema muscular, dificultades para alimentarse, excretar y para la locomoción, debilitando las defensas del huésped (Pal *et al.*, 2007). Namara *et al.* (2017) en una investigación aplicaron filtrados de cultivo de *M. anisoplae* para el control de *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae), mostrando un

efecto significativo en la mortalidad. Albehadli y Mohmed (2022) evaluaron filtrados de cultivo de *M. anisoplae* contra *Schizaphis graminum* (Aphididae: Hemiptera) reportando mortalidades del 64.95% en adultos y del 72.56% en ninfas, al comparar con la población susceptible después de 72 horas de la aplicación. En una investigación Shatalova *et al.* (2022) al combinar NPs-Si con los metabolitos y blastosporas de *Metarhizium* reportan mortalidades significativas en larvas del escarabajo *Leptinotarsa decemlineata* (Coleóptera: Chrysomelidae). Paschapur *et al.* (2021) mencionan que el desequilibrio en el sistema

Tabla 2. Determinación de concentración letal, límites fiduciales y ecuación de predicción de filtrados de entomopatógenos solos más la adición de NPs-Si a diferentes poblaciones de adultos de *T. urticae* después de 72 horas de aplicación.

Producto	Población	N	CL ₅₀ (ppm)	LFI-LFS	Ecuación de Predicción
<i>Beauveria</i>	PS	665	2 896	256-4 072	Y:-0.048250+0.016253
	P1	613	4 429	1 819-6 234	Y:-0.024245+0.007759
	P2	651	4 705	1 784-6 492	Y:-0.033273+0.010509
	P3	643	5 544	3 768-7 632	Y:-0.018131+0.005534
<i>Beauveria</i> +Nps-Si	PS	628	1 252	197-1 496	Y:-0.181935+0.054922
	P1	778	2 923	862-3 872	Y:-0.047621+0.015385
	P2	642	1 904	789-5 552	Y:-0.021714+0.007423
	P3	667	4 931	1 199-6 743	Y:-0.025011+0.008121
<i>Metarhizium</i>	PS	648	4 089	2 899-6 094	Y:-0.040629+0.012455
	P1	634	5 670	2 469-7 862	Y:-0.024842+0.007384
	P2	646	4 692	1 727-6 192	Y:-0.079726+0.024339
	P3	648	8 616	5 678-9 631	Y:-0.018357+0.005605
<i>Metarhizium</i> +Nps-Si	PS	639	1 269	406-4 314	Y:-0.011444+0.003718
	P1	634	3 335	2 227-5 342	Y:-0.012662+0.004023
	P2	627	1 407	971-2 061	Y:-0.080796+0.026718
	P3	652	3 365	2 238-5 421	Y:-0.041874+0.013761

PS: Población susceptible; P1: Pilares; P2: Lizflor; P3: Isoflor; N: Número de ácaros adultos; CL₅₀: Concentración Letal media; LFI: Limite Fiducial Inferior; LFS: Limite Fiducial Superior.

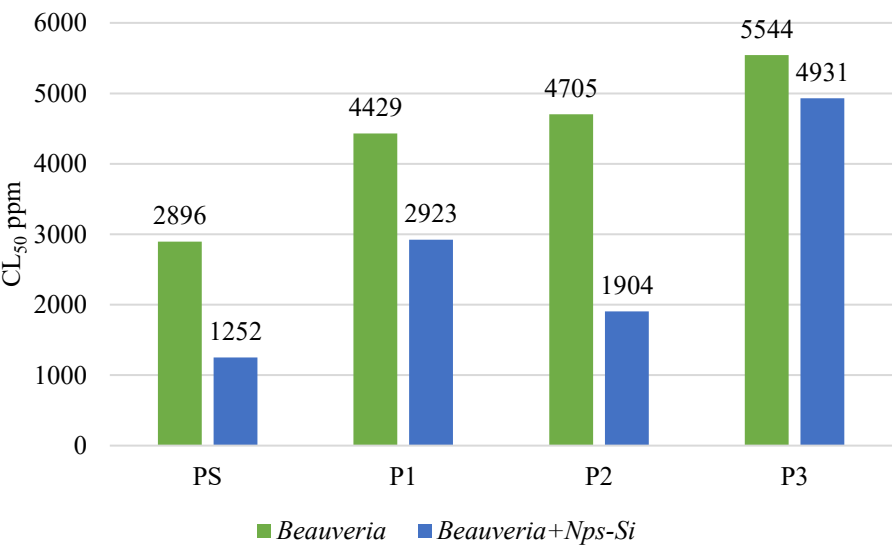


Figura 1. Comparación de CL₅₀ de *Beauveria bassiana* solo y en combinación con NPs-Si contra adultos de *Tetranychus urticae*.

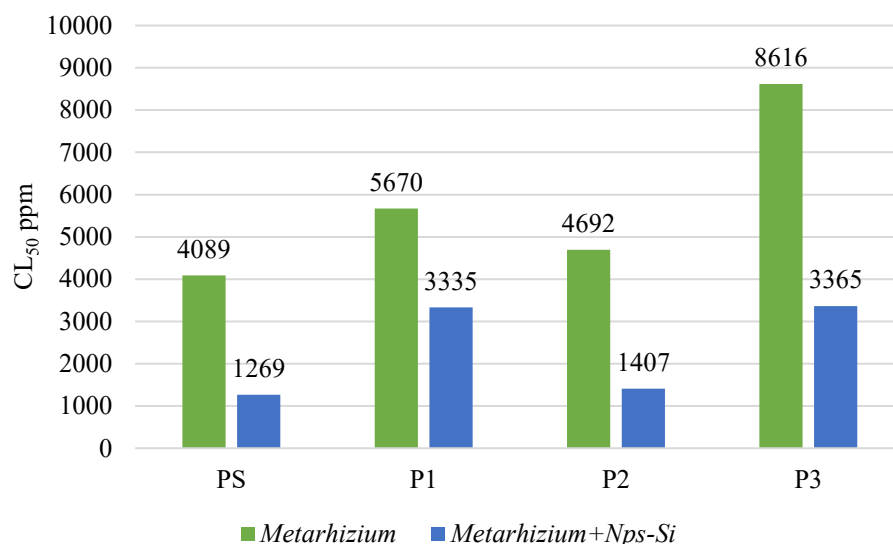


Figura 2. Comparación de CL₅₀ de *Metarhizium anisopliae* solo y en combinación con NPs-Si contra adultos de *Tetranychus urticae*.

antioxidante tiene impacto en el desarrollo de micosis, ya que los metabolitos secundarios como las destruxinas de *Metarhizium* incapacitan directa e indirectamente el mecanismo de defensa en los ácaros y aceleran el proceso de infección. La combinación de entomopatógenos con NPs mejoran la capacidad de penetración en el tejido intestinal, la adhesión y probablemente la resistencia por enzimas (Fröhlich, 2016).

CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación sugieren que los tratamientos de filtrados de *B. bassiana* y *M. anisopliae* son efectivos para controlar *T. urticae*, pero al combinarlos con NPs-Si su efectividad se ve potencializada al reducir las CL₅₀, se requiere una dosis menor para el control de ácaros, por lo tanto, pueden usarse en un manejo integrado y como una alternativa a los acaricidas sintéticos que actualmente se usan para el control de este ácaro. Sin embargo, es necesario hacer investigación y evaluaciones para conocer la respuesta de los tratamientos para el control de *T. urticae* en condiciones de invernadero.

Funding. Nothing to declare.

Conflict of interest. Nothing to declare.

Compliance with ethical standards. Due to the nature of the study, this does not apply.

Data availability. With the corresponding author upon reasonable request.

Author contribution statement (CRediT). **L. Romero-Pavón** – Writing – original draft, Investigation, Conceptualization; **E. Cerna-Chávez** – Conceptualization, Writing – review and editing; **Y.M. Ochoa-Fuentes** – Resources, Conceptualization; **S.E. Uribe-Rivera** – Conceptualization, Writing – review and editing.

REFERENCES

- Albehadli, K. and Mohamed, S.A., 2022. Laboratory evaluation of the aphidicidal activity of some entomopathogenic fungal culture filtrate against aphid *Schizaphis graminum*. *AIP Conference Proceedings*, 2398(1), pp. 040020. <https://doi.org/10.1063/5.0093653>
- Alkhaibari, A.M., Carolino, A.T., Yavasoglu, S.I., Maffei, T., Mattoso, T.C., Bull, J.C., Samuels, R.I. and Butt, T.M., 2016. *Metarhizium brunneum* blastospore pathogenesis in *Aedes aegypti* larvae: attack on several fronts accelerates mortality. *PLoS Pathogens*, 12(7), pp. e1005715. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005715>
- Basak, R., Akter, M., Tumpa, T.A., Sharmin, D. and Ullah, M.S., 2021. Laboratory bioassay of six pesticides, an entomopathogenic fungus, and a botanical pesticide on two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *Persian Journal of Acarology*, 10(3), pp. 269-280. <https://doi.org/10.22073/pja.v10i3.65092>

- Cáceres, M., Vassena, V.C., Garcerá, M.D. and Santo, O.P.L., 2019. Silica nanoparticles for insect pest control. *Current Pharmaceutical Design*, 25(37), pp. 4030-4038. <https://doi.org/10.2174/1381612825666191015152855>
- Castagnola, A. and Jurat, F.J.L., 2016. Intestinal regeneration as an insect resistance mechanism to entomopathogenic bacteria. *Current Opinion in Insect Science*, 15, pp. 104-110. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.04.008>
- Dubovskiy, M.I., Grizanov, V.E., Tereshchenko, D., Krytsyna, I.T., Alikina, T., Kalmykova, G., Kabilov, M. and Coates, J.C., 2021. *Bacillus thuringiensis* spores and Cry3A toxins act synergistically to expedite colorado potato beetle mortality. *Toxins*, 13(11), pp. 746. <https://doi.org/10.3390/toxins13110746>
- Emami, S., Aramideh, S., Pirs, S. and Michavd, J., 2021. Lethal effects of fungi *Beauveria bassiana* (Bals.) and nanosilica on cabbage aphid *Brevicoryne brassicae* (L.) and its parasitoid *Diaeretiella rapae* (McIntosh) in laboratory conditions. *Journal of Iranian Plant Protection Research*, 35(3), pp. 333-345. <https://doi.org/10.22067/jpp.2021.70807.1030>
- Finney, D.J., 1971. Probit analysis. Cambridge at the Univ. Press. 3rd. Ed., pp. 120. <https://doi.org/10.1002/jps.2600600940>
- Fröhlich, E.E. and Fröhlich, E., 2016. Cytotoxicity of nanoparticles contained in food on intestinal cells and the gut microbiota. *International Journal Molecular Sciences*, 17(4), pp. 509. <https://doi.org/10.3390/ijms17040509>
- Gayathri, M., 2023. Nano particles influence on the production and multiplication of bio pesticide, *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin. *The Pharma Innovation Journal*, 12(5), pp. 2908-2915. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2023/vol12issue5/PartAI/12-4-394-211.pdf>
- Gustianingtyas, M., Herlinda, S., Suwandi, Suparman, Hamidson, H., Hasbi, Setiawan, A., Verawaty, M., Elfita, and Arsi, 2020. Toxicity of entomopathogenic fungal culture filtrate of lowland and highland soil of South Sumatra (Indonesia) against *Spodoptera litura* larvae. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 21(5), pp. 1839-1849. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210510>
- Hanan, A., Nazir, T., Basit, A., Ahmad, S. and Qiu, D., 2020. Potential of *Lecanicillium lecanii* (Zimm.) as a microbial control agent for green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Journal Zool*, 52(1), pp. 131-137. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/2020.52.1.1.131.137>
- Henderson, C.F. and Tilton, E.W., 1955. Test with acaricides against the brown wheat mite. *Journal Economic Entomology*, 48(2), pp. 157-161. <https://doi.org/10.1093/jee/48.2.157>
- Herlinda, S., Efendi, R.A., Suharjo, R., Hasbi, Setiawan, A., Elfita, and Verawaty, M., 2020. New emerging entomopathogenic fungi isolated from soil in south Sumatra (Indonesia) and their filtrate and conidial insecticidal activity against *Spodoptera litura*. *Journal of Biological Diversity*, 21(11), pp. 5102-5113. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d211115>
- Hersanti, L.D., Yusup, H., Levaldo, S.P. and Made, J., 2020. The effectiveness of suspension of *Beauveria bassiana* mixed with silica nanoparticles (NPs.) and carbon fiber in controlling *Spodoptera litura*. *AIP Conference Proceedings*, 2219, pp. 080011. <https://doi.org/10.1063/5.0003159>
- Hosseinzadeh, A., Kohrize, G.A. and Vahedi, K.S., 2022. Investigating the effect of silica nanoparticles combined with the pathogenic fungus *Beauveria bassiana* on the greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* Westwood. *Entomological Research*, 13(3), pp. 177-195. <https://www.magiran.com/p2463138>
- Mancillas-Paredes, J.M., Hernández-Sánchez, H., Jaramillo-Flores, M.E. and García-Gutiérrez, C., 2019. Proteases and chitinases induced in *Beauveria bassiana* during infection by *Zabrotes subfasciatus*. *Southwestern Entomologist*, 44(1), pp. 125-137. <https://doi.org/10.3958/059.044.0114>
- Meteab, H.R., Kadhim, J.H., AL-Abedy, A.N. and AL-Musawi, B.H., 2022. Effect of some biological control fungi on life stages of the two-spot spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) on eggplant. *Earth and Environmental Science*, 1060(1),

- pp. 012110. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1060/1/012110>
- Namara, M.L., Carolan, J.C., Griffin, C.T., Fitzpatrick, D. and Kavanagh, K., 2017. The effect of entomopathogenic fungal culture filtrate on the immune response of the greater wax moth, *Galleria mellonella*. *Journal of Insect Physiology*, 100, pp. 82-92. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2017.05.009>
- Pal, S., Leger, R.J. St. and Wu, L.P., 2007. Fungal peptide destruxin a plays a specific role in suppressing the innate immune response in *Drosophila melanogaster*. *Journal of Biological Chemistry*, 282(12), pp. 8969-8977. <https://doi.org/10.1074/jbc.M605927200>
- Paschapur, A., Subbanna, A.N.S., Singh, A.K., Jeevan, B., Stanley, J., Rajashekhar, H. and Mishra, K.K., 2021. Unraveling the importance of metabolites from entomopathogenic fungi in insect pest management. *Microbes for Sustainable Insect Pest Management*, 17, pp. 89-120. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67231-7_5
- Pinnamaneni, R., Kalidas, P. and Sambasiva., 2010. Cloning and expression of Bbchit1 gene of *Beauveria bassiana*. *The Open Entomology Journal*, 4, pp. 30-35. <https://doi.org/10.2174/1874407901004010030>
- Ríos, M.A.; Garrido, J.I., Raya, O.M.C. and Quesada, M.E., 2017. Quantification of fungal growth and destruxin A during infection of *Galleria mellonella* larvae by *Metarhizium brunneum*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 149, pp. 29-35. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28629882/>
- Sánchez, P.L.deC., Barranco, F.J., Rodríguez, N.S., Cervantes, M.J.F. and Ramos, L.M.A., 2014. Enzymes of entomopathogenic fungi, advances and insights. *Advances in Enzyme Research*, 2(2), pp. 65-76. <http://dx.doi.org/10.4236/aer.2014.22007>
- Schrank, A. and Vainstein, M.H., 2010. *Metarhizium anisopliae* enzymes and toxins. *Toxicon*. 56(7), pp. 1267-1274. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2010.03.008>
- Shatalova, E.I., Grizanova, E.V. and Dubovskiy, I.M., 2022. The effect of silicon dioxide nanoparticles combined with entomopathogenic bacteria or fungus on the survival of colorado potato beetle and cabbage beetles. *Journals Nanomaterials*, 12(9), pp. 1558. <https://doi.org/10.3390/nano12091558>
- Shin, T.Y., Bae, S.M., Kim, D.J., Yun, H.G., Woo, S.D., 2017. Evaluation of virulence, tolerance to environmental factors and antimicrobial activities of entomopathogenic fungi against two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae*. *Mycoscience*, 58(3), pp. 204-212. <https://doi.org/10.1016/j.myc.2017.02.002>
- Yucel, C., 2021. Effects of local isolates of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin on the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Koch) (Acari: Tetranychidae). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 31(63), pp.63. <https://doi.org/10.1186/s41938-021-00409-2>