



Review [Revisión]

METALLIC NANOPARTICLES BY GREEN SYNTHESIS AND THEIR APPLICATION AS INSECTICIDES †

[NANOPARTÍCULAS METÁLICAS POR SÍNTESIS VERDE Y SU APLICACIÓN COMO INSECTICIDAS]

Vidal Zavala-Zapata, Luis Alberto Aguirre-Uribe,
Sonia Noemí Ramírez-Barrón and Agustín Hernández-Juárez*

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro #1923,
Buenavista, C.P. 25315, Buenavista Saltillo, Coahuila, México. Email:

chinoahj14@hotmail.com

*Corresponding author

SUMMARY

Background: The synthesis of nanoparticles from living organisms better known as biological synthesis or green synthesis has become a potential tool due to the advantages it provides compared to other existing synthesis methods. Green synthesis is presented as an environmentally friendly, safe, less toxic and cost-effective alternative. Due to these properties green nanoparticles have been implemented in the field of agriculture, mainly as nanopesticides. **Objective:** To review the reports on the evaluation of green nanoparticles against insects, as well as the knowledge on the possible modes of action of these nanoparticles. **Methodology:** A compilation of scientific information was made in different search engines, from which those that evaluated nanoparticles by green synthesis as insecticides were selected. **Results:** Among the modes of action caused by metallic nanoparticles, the following stand out: damage and histological changes at intestinal level, antifeedant activity, physical damage to the cuticle, decreased cell viability and inhibition of fecundity. **Implications:** the availability of information on nanoparticles is fundamental to be able to scientifically propose their implementation in insect pest management strategies. **Conclusion:** green synthesis of nanoparticles is presented as an alternative to produce nanoinsecticides; however, further research is needed on the mechanisms of action on insects, as well as their long-term repercussions on human and environmental health. **Key words:** biosynthesis; insects; nanoinsecticides; nanoparticles; nanopesticides.

RESUMEN

Antecedentes: La síntesis de nanopartículas a partir de organismos vivos mejor conocida como síntesis biológica o síntesis verde se ha convertido en una herramienta potencial debido a las ventajas que proporciona en comparación con otros métodos de síntesis existentes. La síntesis verde se presenta como una alternativa ecológica, segura, de menor toxicidad y rentable. Debido a dichas propiedades las nanopartículas verdes se han implementado en el campo de la agricultura, principalmente como nanopesticidas. **Objetivo:** Revisar los reportes de evaluación de nanopartículas verdes contra insectos, así como el conocimiento que se expone sobre los posibles modos de acción de dichas nanopartículas. **Metodología:** se realizó una recopilación de información científica en distintos motores de búsqueda, de la cual se seleccionaron aquellos que evaluaron nanopartículas por síntesis verde como insecticidas. **Resultados:** Dentro de los modos de acción causados por las nanopartículas metálicas destacan: daños y cambios histológicos a nivel intestinal, actividad antialimentaria, daños físicos en la cutícula, disminución de la viabilidad celular e inhibición de la fecundidad. **Implicaciones:** la disponibilidad de información sobre nanopartículas es fundamental para poder proponer de manera científica su implementación en estrategias de manejo de insectos plaga. **Conclusión:** la síntesis verde de nanopartículas se presenta como una alternativa para la producción de nanoinsecticidas, sin embargo, se debe de continuar indagando sobre los mecanismos de acción en insectos, así como sus repercusiones en salud humana y medioambiental a largo plazo.

Palabras clave: biosíntesis; insectos; nanoinsecticidas; nanopartículas; nanopesticidas.

† Submitted June 12, 2023 – Accepted January 17, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5011>



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

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Agustín Hernández-Juárez: <http://orcid.org/0000-0001-7059-4471>

INTRODUCCIÓN

Las nanopartículas (NPs) son partículas microscópicas cuyas dimensiones se encuentran entre los 10-100 nanómetros [nm] (Biswas y Wu, 2005; Mohanraj y Chen, 2006; Hasan, 2015). Poseen una gran diferencia en tamaño, reactividad química y absorción de energía en comparación con otros materiales a granel (Sajid y Plotka-Wasyłka, 2020). Las NPs se pueden clasificar en orgánicas e inorgánicas (Ealia y Saravanakumar, 2017). Las orgánicas consisten en dendrímeros, micelas entre otras, y se caracterizan por ser biodegradables, de baja toxicidad y útiles como nanocápsulas (Ealia y Saravanakumar, 2017). Las inorgánicas se caracterizan por no poseer carbono en su estructura, una baja toxicidad como las orgánicas y una alta estabilidad (Ijaz et al., 2020). Entre estas se encuentran las NPs basadas en metales como la plata (Ag), oro (Au), aluminio (Al), zinc (Zn) y las obtenidas de óxidos metálicos como óxido de aluminio (Al_2O_3), óxido de zinc (ZnO), óxido de hierro (Fe_2O_3), óxido de titanio (TiO_2) entre otros (Ealia y Saravanakumar, 2017; Ijaz et al., 2020).

Las características de las NPs como el tamaño, forma y su superficie de área dependerán del método de síntesis que se emplee para su obtención (Sajid y Plotka-Wasyłka, 2020). Los métodos de síntesis de nanopartículas pueden variar de acuerdo con su procedimiento, entre estos se encuentran los métodos físicos, químicos y biológicos (Mittal et al., 2013; Sajid y Plotka-Wasyłka, 2020). En comparación con los métodos físicos y químicos, la síntesis de nanopartículas biológica o verde a partir de extractos acuosos de plantas u organismos vivos suele ser más rápida y sencilla (Thakkar et al., 2010). Las ventajas de la síntesis biológica o verde radican en la fácil adaptación y compatibilidad del método al utilizar agua como agente reductor (Ijaz et al., 2020). Además de su bajo costo de producción, facilidad de caracterización y reducción en la toxicidad, poseen un bajo impacto al medio ambiente (Gour y Jain, 2019; Kamran et al., 2019).

Las NPs incursionan dentro de campos como la medicina, la industria cosmética, elaboración de electrónicos y al menos en la última década en área agrícola participando como nanofertilizantes, nanoherbicidas, nanofungicidas, nanoinsecticidas e incluso en casos más novedosos como nanoencapsulados de material genético (Ealia y Saravanakumar, 2017; Pestovsky y Martínez-Antonio, 2017; Gurusamy et al., 2020; Priyanka et al., 2020). Dentro del control de insectos los primeros estudios realizados fueron enfocados en insectos de importancia médica, principalmente vectores de enfermedades como mosquitos (Soni y Prakash, 2014; Veerakumar et al., 2014a; Veerakumar et al., 2014b; Veerakumar y Govindarajan, 2014; Dinesh et al., 2015; Murugan et

al., 2015; Muthukumaran et al., 2015). Dentro de las especies con mayor participación en dichos estudios encontramos a *Culex pipiens*, *C. quinquefasciatus*, *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* y *A. albopictus* (Murugan et al., 2015; Muthukumaran et al., 2015; Romni et al., 2015; Soni and Prakash, 2015; Sujitha et al., 2015; Elemike et al., 2017; Pavithra-Bharathi et al., 2017).

Adicionalmente las nanopartículas plata son las más utilizadas hasta la fecha en estudios de toxicidad sobre insecto, siendo las precursoras en dichas evaluaciones. Estas nanopartículas han sido sintetizadas a partir de distintos agentes reductores como los son metabolitos secundarios de hongos y bacterias como *Trichoderma harzianum*, *Penicillium chrysogenum*, *Streptomyces aizuneusis* y *Bacillus marisflavi* (Sundaravadivelan y Padmanabhan, 2014; Abd-Elhady et al., 2021; Thelma y Balasubramanian, 2021), extractos de plantas como *Anisomeles indica*, *Excoecaria agallocha*, *Hybanthus enneaspermus*, *Annona muricata*, *A. squamosa*, *Quiscalis indica*, *Derris trifoliata*, *Artemisa herba-alba*, etc (Santhosh et al., 2015; Govindarajan et al., 2016a; Govindarajan et al., 2016b; Govindarajan et al., 2016c; Suman et al., 2016; Kumar et al., 2016; Kumar et al., 2017; Alshehri et al., 2018; Jose et al., 2021).

Los nanoinsecticidas surgen como un campo de aplicación de la nanotecnología para el manejo de insectos plaga en cultivos, el cual comprende el estudio de la interacción de las nanopartículas y los insectos, nanoencapsulados de plaguicidas y el desarrollo de nuevos plaguicidas cuya base sea las nanopartículas como ingrediente activo (Rai y Ingle, 2012; Athanassiou et al., 2017). Dentro de las evaluaciones de nanopartículas contra insectos de importancia económica se encuentran especies como *Bactericera cockerelli*, *Bemisia tabaci*, *Aphis craccivora*, *Spodoptera litura*, *S. litoralis*, *S. frugiperda*, *Achaea janata*, *Rhyzopertha dominica* y *Tribolium confusum* (Gutiérrez-Ramírez et al., 2021; Pittarate et al., 2021; Thabet et al., 2021; Wang et al., 2019; Ziaee y Ganji, 2016; Baranitharan et al., 2021; Bhadani et al., 2022; Shahid et al., 2022).

En la última década, la evaluación de nanopesticidas por síntesis verde ha incrementado, lo cual indica un aumento en el interés de los investigadores por este tipo de nanopartículas y sus aplicaciones (figura 1). Dando a conocer que la evaluación de nanopartículas cuya síntesis es mediante procesos químicos o físicos tienen un alto impacto ambiental y grado de toxicidad, las colocaría en un escenario similar al de un insecticida químico convencional (Jamkhande et al., 2019). En consecuencia, con la implementación de nanopartículas obtenidas por síntesis verde el escenario se mejora, al implementar diversas técnicas de obtención a partir de hongos, bacterias y plantas, además de su papel amigable con el ambiente. Por lo

anterior, el objetivo de la siguiente revisión fue recopilar información sobre el empleo de nanopartículas verdes como nanopesticidas y los posibles mecanismos de acción.

MATERIALES Y MÉTODOS

La búsqueda de literatura se realizó de enero a diciembre de 2022, consistió una revisión sistemática utilizando diversas bases de datos como Google Scholar, Wiley Online Library, PubMed, Science Direct y Annual Reviews. Los años considerados para búsqueda de los artículos fue de 2014 a 2022.

La búsqueda de información se realizó con la siguiente combinación de palabras clave: nanoparticle + insects + green synthesis, nanoparticle + insects + mode of action, nanoparticle + insect + green synthesis + mechanism of action. Para la búsqueda se consideró tanto el idioma inglés como el español, sin embargo, el idioma inglés fue el predominante en los resultados de búsqueda. Posterior a la depuración de artículos en función de los criterios de búsqueda se recuperaron 94 artículos, los cuales en su mayoría fueron presentados en idioma inglés.

La literatura elegida se capturó considerando como criterios de exclusión aquellos artículos cuya síntesis de nanopartícula se haya llevado a cabo por métodos químicos, físicos u obtenidas de manera comercial, así como aquellos nanoencapsulados donde se utilizarán insecticidas de origen químico. Por último, los criterios de inclusión considerados fueron que el experimento implementara la síntesis verde de las NPs ya sea por plantas, bacterias u hongos, así como una descripción del potencial modo de acción de las nanopartículas en el insecto. Posteriormente la información fue clasificada en cuatro categorías; Agrícola, Medica, Medica/Agrícola y Urbana, lo anterior en función a la importancia a la que pertenecía el organismo evaluado en los estudios. En el caso de la categoría Medica/Agrícola se colocaron aquellos estudios donde se utilizaron dos o más insectos de las categorías Agrícola o Medica.

RESULTADOS

Del total de artículos recuperados el 59% se situaron en la categoría de importancia Médica debido a que dichas evaluaciones se realizaron principalmente con vectores de enfermedades como mosquitos (figura 2a). El segundo criterio fue la categoría Agrícola con un 38% seguido de la categoría Medica/Agrícola y Urbana con un 2% y 1%. Dentro de los materiales más utilizados se encuentra la plata con un 56%, 47% y 50% para las categorías Medica, Agrícola y Medica/Agrícola respectivamente (figura 2C-D).

Nanopartículas de Plata (Ag-NPs)

Las nanopartículas de plata se caracterizan por poseer formas esféricas y tamaños que van de los 3-50 nm (Rao y Paria, 2015; Kamil *et al.*, 2017; Neira-Vielma, 2022). Dentro de las nanopartículas evaluadas como insecticidas, las Ag-NPs son las de mayor abundancia. Por ejemplo, Ag-NPs sintetizadas a partir del extracto de *Leonotis nepetifolia* fueron probadas sobre *Spodoptera litura* y *Helicoverpa armigera*; las cuales presentaron un fuerte potencial como insecticidas al ocasionar un 77.88 y 82.16% de actividad antialimentaria para *S. litura* y *H. armigera* respectivamente (Manimegalai *et al.*, 2020). Adicionalmente una mortalidad en larvas de 78.49 y 72.70%, y una tasa de mortalidad máxima en pupas de 84.66 y 77.44% respectivamente. Por otro lado, se observaron cambios histológicos a nivel intestinal tanto en *S. litura* como en *H. armigera*, principalmente un cambio en la alineación de la capa epitelial y destrucción del lumen intestinal (Manimegalai *et al.* 2020). En relación con lo anterior, dicho modo de acción coincide con el ocasionado por Ag-NPs sintetizadas mediante extractos de *Euphorbia hirta* y *Leonotis nepetifolia* contra *S. litura* y *H. armigera*, que disminuyeron el perfil enzimático digestivo y daños en la fisiología del intestino; células epiteliales y calciformes, además de una reducción de la longevidad, fecundidad en los adultos y alteraciones en la duración de los instares larvales y de pupa (Devi *et al.*, 2014; Manimegalai *et al.*, 2020). De acuerdo con la información anterior las Ag-NPs actúan a nivel intestinal tanto en daños fisiológicos como enzimáticos, tal es el caso de las Ag-NPs sintetizadas a partir de *Glochidion eriocarpum* las cuales disminuyeron la actividad de enzimas digestivas como la endoglucanasa y la xilasa en termitas (Mishra *et al.*, 2021).

Así mismo, Rehman *et al.* (2021) sintetizaron nanopartículas de nitrato de plata (AgNO₃-NPs) a partir de extractos de *Camelina sativa* y evaluaron su efecto insecticida contra *Oryzaephilus surinamensis* y *Sitophilus granarius*. Los autores reportaron que las NPs ocasionaron una mortalidad de 60.1 y 46.2% en la concentración máxima aplicada de 500 ppm para *O. surinamensis* y *S. granarius* respectivamente, presentando un incremento en la mortalidad en relación con el aumento de la dosis aplicada (Rehman *et al.*, 2021). Los autores adjudican la efectividad de las AgNO₃-NPs a la obstrucción del transporte de cobre a las células de los insectos por parte del AgNO₃, debido a una disminución de iones de cobre en el organismo, lo cual ocasiona que dichos iones no lleguen a combinarse con los sitios activos de las enzimas volviéndolas inútiles en el organismo (Sankar y Abideen, 2015; Rheman *et al.*, 2021). Por otra parte, Sedighi *et al.*, (2019) evaluaron Ag-NPs sintetizadas a partir de extractos de *Citrus sinensis* y Ag-NPs de

origen comercial sobre *Tribolium confusum*. Dos métodos de aplicación fueron los empleados, uno por medio de residuos en discos de papel filtro y otro vía ingestión. Las Ag-NPs verdes demostraron un mayor efecto insecticida en comparación con las nanopartículas de uso comercial con mortalidades de 77-83% y 40-70% respectivamente (Sedighi *et al.*, 2019). En este estudio, el método por ingestión demostró ser el más efectivo contra *T. confusum*. El potencial modo de acción de dichas nanopartículas se basa en la capacidad de penetración sobre la cutícula

del insecto causando daños abrasivos debido a la triboelectrificación generada por la carga eléctrica de la partícula y la cutícula del insecto, rompiendo la capa de cera de la cutícula derivando en la deshidratación (Stadler *et al.*, 2017; Jafer y Annon, 2018; Sedighi *et al.*, 2019). Estos daños físicos son más notorios en NPs aplicadas como polvos inertes, los cuales debido a la carga electrostática y efecto triboeléctrico absorben las células cuticulares del insecto lo que deriva en una deshidratación del organismo (Stadler *et al.*, 2017).

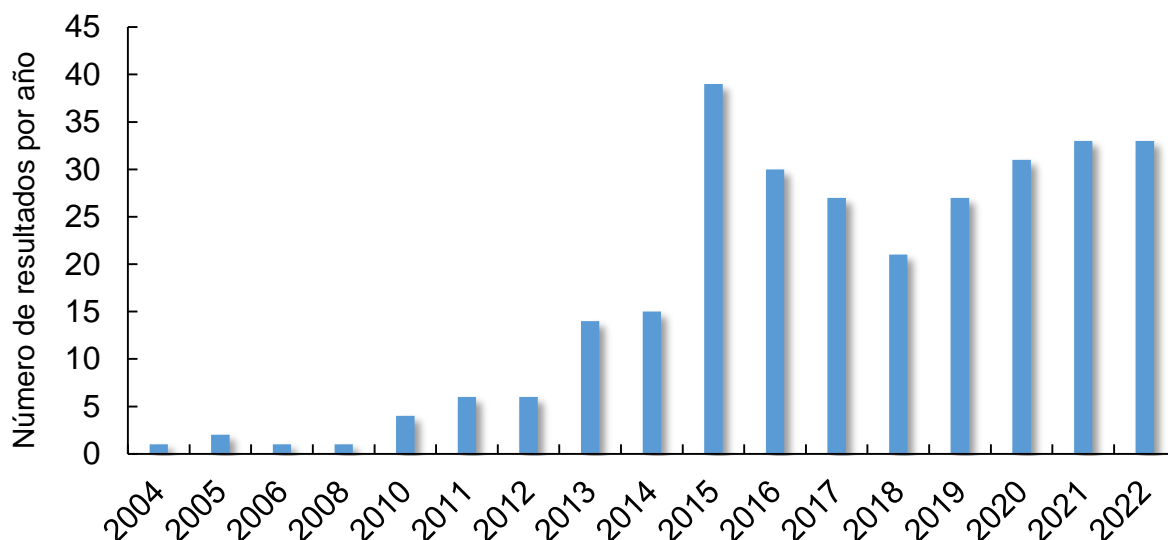


Figura 1. Resultados por año de la búsqueda de nanopartículas verdes como insecticidas, datos de búsqueda extraídos de PubMed.gov (2022).

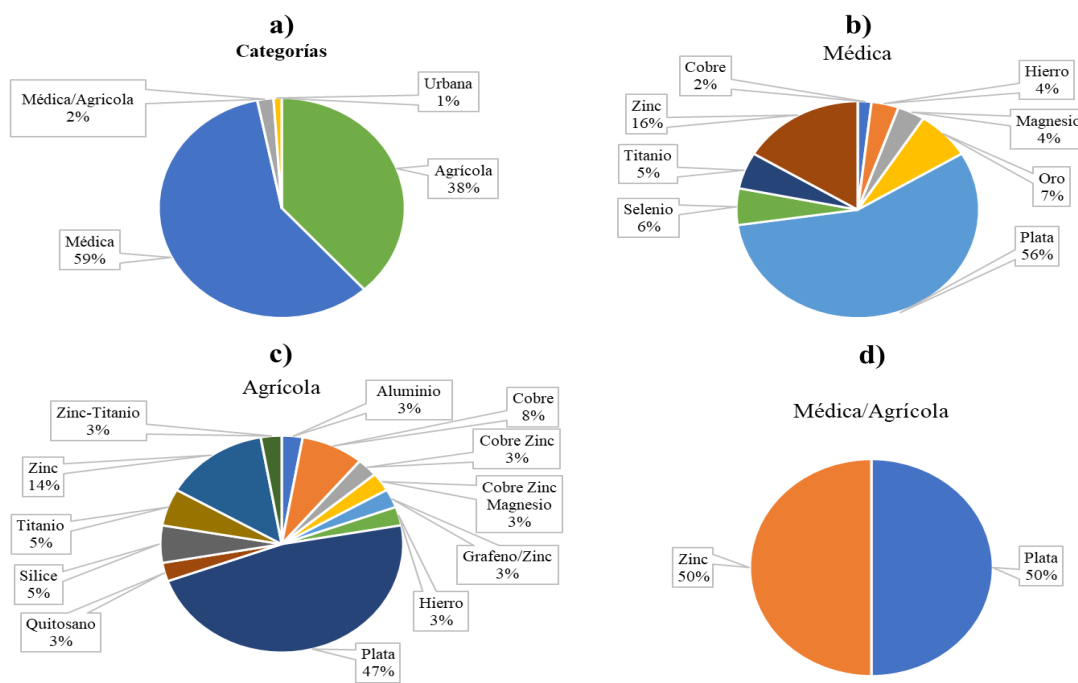


Figura 2. Categorías de clasificación de la literatura colectada y sus porcentajes de aporte para cada categoría y material utilizado.

Otro caso particular es presentado por Ag-NPs evaluadas sobre *Nilaparvata lugens*, *C. pipiens* y *A. albopictus* en las cuales se registró una disminución en la actividad de la acetilcolinesterasa, α -carboxilasa y β -carboxilesterasa las cuales son enzimas primordiales en el desarrollo de mecanismos de resistencia de los insecticidas; además de alteraciones fisiológicas en epitelio del intestino medio, así como elongación de células epiteliales (Velu *et al.*, 2015; Fouad *et al.*, 2018; Fouad *et al.*, 2021). En relación con lo anterior un estudio realizado por Amjad *et al.*, (2022) menciona que al aumentar la dosis de Ag-NPs aplicadas a *Sitobion avenae* la actividad enzimática de la glutatión-s-transferasa y catalasa aumentó. Así mismo, se ha documentado una interacción entre las Ag-NPs y enzimas como catalasas, superóxido dismutasa y glutatión-s-transferasa en larvas de *Musca domestica* (Ramadan *et al.*, 2020).

En resumen, los principales mecanismos de acción de las Ag-NPs datan a nivel intestinal, especialmente a nivel enzimático y daños en la fisiología del intestino medio, lo que encamina a una disminución de la actividad alimentaria de los insectos, principalmente en la fase de larva así como intervienen en procesos enzimáticos como la disminución de glutatión-s-transferasa, α y β -carboxilesteras y acetilcolinesteras, las cuales participan en el desarrollo de resistencia a ciertos grupos toxicológicos de insecticidas por parte de los insectos (Rao y Paria, 2015; Kamil *et al.*, 2017; Khatami *et al.*, 2019; Parthiban *et al.*, 2019; Sedighi *et al.*, 2019; Manimegalai *et al.*, 2020; Hazaa *et al.*, 2021; El-Ashmouny *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2022).

Nanopartículas de Oro (Au-NPs)

Las nanopartículas de oro presentan formas esféricas, hexagonales y triangulares con un tamaño que oscila entre los 20-100 nm (Balasubramani *et al.*, 2015; Patil *et al.*, 2016; Sahayaraj *et al.*, 2016; Suganya *et al.*, 2017; Sundararajan y Kumari 2017). La información reportada de Au-NPs contra insectos es de la menos abundante, en comparación con la disponibilidad de información de otras nanopartículas como las Ag-NPs.

Dentro de los estudios de evaluación de Au-NPs se encuentra el realizado por Sahayaraj *et al.* (2016) donde fabricaron nanopartículas de oro implementando aceite esencial de *Pongamia glabra* las cuales inhibieron la fecundidad y oviposición de *Pericallia ricini*. Por otro lado, Patil *et al.* (2016) sintetizaron Au-NPs a partir de látex de *Jatropha curcas* y evaluaron su efecto contra larvas de *A. aegypti*. Las Au-NPs ocasionaron inhibición de la tripsina, enzima que participa en la digestión y resistencia a los insecticidas. De igual forma, Suganya *et al.* (2017) evaluaron Au-NPs cubiertas de zeína (Ze-Au-NPs) sobre larvas de *A. aegypti* las cuales ocasionaron desintegración de la región abdominal y

en consecuencia daño del intestino medio. De la misma manera, Sundararajan y Kumari (2017) describen que las Au-NPs sintetizadas a partir de extractos de hojas de *Artemisia vulgaris* L. (Asteraceae) provocaron daño en el intestino medio de larvas de *A. aegypti*, principalmente en las células epiteliales y la corteza.

Nanopartículas de Cobre (Cu-NPs)

Estas nanopartículas presentan formas esféricas con un rango de tamaño estimado entre los 5-80 nm (León-Jiménez *et al.*, 2019; Mendez-Trujillo *et al.*, 2019; Badawy *et al.*, 2021; Abou *et al.*, 2022). Recientemente se ha comenzado con la síntesis verde de nanopartículas bimetálicas y su evaluación contra insectos de importancia agrícola. Tal es el caso de Mendez-Trujillo *et al.* (2019) quienes evaluaron el efecto insecticida de nanopartículas de cobre/zinc (Cu/Zn) sintetizadas a partir de extractos acuosos de *Prosopis juliflora* (Sw) DC (Fabaceae) contra *Phenococcus solenopsis*. Las Cu/Zn NPs ocasionaron mortalidades arriba del 30% y disminuyeron un 50% la viabilidad celular a las 96h posterior a la aplicación en comparación con la aplicación de una solución de Cu/Zn y los extractos solos de *P. juliflora* los cuales no presentaron resultados significativos (Mendez-Trujillo *et al.*, 2019). Los autores discuten que la efectividad de las nanopartículas causa daño en la membrana celular en la cutícula del insecto, en función de la disrupción de la bicapa lipídica al interactuar con las nanopartículas (Mendez-Trujillo *et al.*, 2019).

Del mismo modo, León-Jiménez *et al.* (2019) notaron que las Cu-NPs sintetizadas a partir de extractos de *P. juliflora* y *Pluchea sericea* (Nutt.) Coville (Asteraceae) provocaron la reducción de la viabilidad celular de *P. solenopsis* en un 30 y 38% respectivamente, además de una mortalidad del 14 y 20% a 96h posterior a la aplicación de las nanopartículas. Badawy *et al.* (2021) sintetizaron nanopartículas de óxido de cobre (CuO-NPs) a partir de metabolitos de una cepa de *Aspergillus niger* Tieghem (Aspergillaceae). Las nanopartículas fueron evaluadas contra dos especies de insectos de granos almacenados, *S. granarius* y *Rhyzopertha dominica* (F.) (Bostrichidae). La actividad insecticida de las NPs provocó porcentajes de mortalidad de 55-94% para *S. granarius* y 70-90% para *R. dominica* con dosis de 100 a 300mg/100 g de granos de trigo.

Otro caso donde se implementan las CuO-NPs es el mencionado por Ghidan *et al.*, (2019) donde evaluaron NPs sintetizadas a partir de extractos acuosos de *Punica granatum*, *Olea europea* y *Chamaemelum nobile* contra el pulgón verde del melocotonero (*Myzus persicae*) donde se registró una mortalidad de 96-100% a las 48h posterior a la aplicación de 8000 μ g/ml. Los autores atribuyen el efecto insecticida de las CuO-NPs a la precipitación de proteínas en función de la

adsorción de las NPs a través de la cutícula del insecto, así mismo una descomposición del ATP al intervenir en el ciclo de Calvin aunado a una degradación del ADN del insecto (Ghidan *et al.*, 2019).

El modo de acción de las NPs que se infiere es la obstrucción de espiráculos y en consecuencia la asfixia del insecto, además de la entrada de las NPs a la hemolinfa causando la pérdida de apetito y envenenamiento, además de la provocación de estrés oxidativo (Ghidan *et al.*, 2018; Badawy *et al.*, 2021).

Nanopartículas de Zinc (Zn-NPs)

Las nanopartículas de zinc se identifican por poseer formas asimétricas y hexagonales, con un rango de tamaño de 10-100 nm (Abinaya *et al.*, 2018; Ishwarya *et al.*, 2018; Malaikozhundan y Vinodhini, 2018; Sood *et al.*, 2019). Dichas nanopartículas han sido evaluadas en distintos organismos para probar su potencial como agentes de control como los es *Culex pipiens*, *C. tritaeniorhynchus*, *A. aegypti*, *Rhyzopertha dominica*, *Spodoptera litura*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Sitophilous oryzae* y *Sitotroga cerealella* (Banumathi *et al.*, 2017; Ishwarya *et al.*, 2018; Velsankar *et al.*, 2019; Abdo *et al.*, 2021; Ibrahim *et al.*, 2022; Ishwarya *et al.*, 2022; Siddique *et al.*, 2022; Thakur *et al.*, 2022).

Ishwarya *et al.* (2018) evaluaron nanopartículas verdes de óxido de zinc sintetizadas a partir de extractos de *Ulva lactuca*. Las ZnO-NPs presentaron mortalidades de 100% a las 24h posteriores a su aplicación sobre larvas de *A. aegypti*. La mortalidad de las larvas se debió a la desintegración de la capa epitelial y cutícula externa de las larvas, el cual es el modo de acción adjudicado por los autores. Resultados similares fueron reportados para ZnO-NPs sintetizadas a partir de exopolisacáridos de *Bacillus licheniformis* (Weigmann) Chester (Bacillaceae) contra *A. aegypti* en los cuales se observó daño en la capa epitelial, cutícula externa además de una tonalidad oscura en el cuerpo tras la aplicación de 80 y 100 µg/ml (Abinaya *et al.*, 2018). Otro estudio en el cual se evaluó el impacto de ZnO-NPs cubiertas de extracto de *P. pinnata* contra el escarabajo *Callosobruchus maculatus* reportaron la mortalidad del 100% de los insectos a 25 µg/ml y una disminución de la actividad de la α-amilasa, cisteína proteasa, α-glucosidasa, β-glucosidasa, glutatión S-transferasa (GST) y lipasa en el intestino medio del escarabajo, las cuales está involucradas en procesos digestivos y de detoxificación en insectos (Malaikozhundan y Vinodhini, 2018). Lo que concierne a estudios en otros insectos como *Drosophila melanogaster* las ZnO-NPs sintetizadas a partir de extractos de hojas de *Coriandrum sativum* provocaron daños a nivel neuromuscular en larvas, disminución de la viabilidad celular, así como mortalidad del 100% tras la

aplicación de 300 µg/ml a los 18 días (Sood *et al.*, 2019).

Nanopartículas de Hierro (Fe-NPs)

Las nanopartículas de hierro presentan menos evaluaciones como insecticidas en comparación con el resto de las nanopartículas metálicas. Estas nanopartículas poseen formas esféricas y un tamaño que oscila entre los 35-40 nm (Murugan *et al.*, 2018). Las Fe-NPs sintetizadas a partir de extractos acuosos de *Ficus natalensis* poseen actividad insecticida en larvas y pupas de *C. quinquefasciatus*, con una CL₅₀ de 20.9 ppm para larvas de primer instar y 43.7 ppm para pupas (Murugan *et al.*, 2018). El modo de acción aún no se encuentra descrito para este tipo de nanopartículas (Murugan *et al.*, 2018).

Nanopartículas de Titanio (Ti-NPs)

Estas nanopartículas poseen formas esféricas y hexagonales cuyo tamaño oscila entre los 9-50 nm. Las Ti-NPs poseen potencial actividad larvicidea, un ejemplo de ello son las evaluaciones que se realizaron en larvas de *A. aegypti* donde Ti-NPs sintetizadas a partir de extractos de plantas como *Pouteria campechiana*, *Euphorbia hirta* y *Coleus aromaticus* logrando mortalidades del 80% a las 48h posterior a su aplicación, así mismo una reducción de la viabilidad de la etapa de pupa (Udayabhanu *et al.*, 2018; Narayanan *et al.*, 2021a; Narayanan *et al.*, 2021b). Por ejemplo, Kumaravel *et al.* (2021) sintetizaron nanopartículas bimetalicas de Titanio y Zinc a partir de metabolitos de *Metarhizium anisopliae*, las cuales evaluaron contra larvas de *Spodoptera frugiperda*. Las nanopartículas ocasionaron la mayor mortalidad a una concentración de 100µg/ml a 48 h (Kumaravel *et al.*, 2021). El modo de acción propuesto radica en la disminución de la actividad alimentaria, así como un incremento en la actividad de enzimas como la glutatión S-transferasa y carboxilasa, lo cual indica una intoxicación en el insecto (Kumaravel *et al.*, 2021). Otros estudios como el de Chinnaperumal *et al.*, (2018) mencionan que las Ti-NPs sintetizadas a partir de extractos provenientes de *Trichoderma viridae* presentan una alta efectividad como insecticidas ante larvas de *Helicoverpa armigera*. Las Ti-NPs fueron altamente efectivas en el primero, segundo y tercer estadio larval de *H. armigera* con 100% de mortalidad para los primeros dos instares y un 92.34% para el tercer instar, aunado de una alteración de enzimas desintoxicantes (β-glucosidasa y carboxilesterasa) en los tejidos del intestino medio de las larvas (Chinnaperumal *et al.*, 2018). Además, dichas nanopartículas fueron evaluadas sobre objetivos no blanco como *Eudrilus eugeniae* las cuales no causaron toxicidad en dicho organismo (Chinnaperumal *et al.*, 2018).

Nanopartículas de Selenio (Se-NPs)

Las Se-NPs poseen tamaños de 50 a 500 nm y con formas ovales y esféricas estas nanopartículas han sido evaluadas sobre vectores como *A. aegypti* las cuales actúan a nivel de sistema digestivo ocasionando daños a nivel de capa epitelial y fragmentación de la membrana peritrófica en larvas de IV instar alcanzando mortalidades de hasta un 84% (Meenambigai *et al.*, 2021). De la misma manera, Se-NPs sintetizadas a partir de extractos de *Ceropegia bulbosa* en larvas de *C. pipiens* presentaron un mecanismo de acción similar, las cuales causaron daños a nivel del intestino posterior, células epiteliales, ciegos gástricos y membrana peritrófica (Cittararasu *et al.*, 2021). Del mismo modo, las Se-NPs sintetizadas a partir de *Portulaca oleracea* las cuales lograron una mortalidad de hasta el 89%, donde las larvas de instar I de *C. pipiens* fueron las más susceptibles, el mecanismo de acción discutido en dicho estudio se centra en los metabolitos secundarios que rodean a la nanopartícula, como son terpenos, fenoles, esteroides y alcaloides de los cuales se tiene conocimiento que funcionan como insecticidas (Fouda *et al.*, 2022).

Nanopartículas de Magnesio (Mg-NPs)

Las Mg-NPs por síntesis biológica incursionan recientemente en la evaluación contra insectos, estas nanopartículas se caracterizan por poseer tamaños de 3-40 nm con formas esféricas. De inicio las Mg-NPs se han evaluado en insectos como *A. stephensi* las cuales ocasionaron una mortalidad del 69.2% en diferentes estadios larvales, se discute que la forma en que las nanopartículas ocasionan la muerte del insecto es en función a un aumento en la producción de especies reactivas de hidrogeno (ROS) y una alta eficacia para dañar las paredes celulares (Fouda *et al.*, 2021). Dicho mecanismo de acción es propuesto más tarde por Fouda *et al.*, (2022) donde al evaluar Mg-NPs sintetizadas a partir del alga *Cystoseira* donde discuten que la mortalidad de larvas de *M. domestica* es atribuida al aumento de ROS, daños a nivel intestinal, desnaturalización de enzimas y orgánulos debido a la unión de las Mg-NPs al P y S de los ácidos nucleicos.

CONCLUSIÓN

En general, en los últimos años la aplicación de nanopartículas como nanoinsecticidas va en aumento, especialmente el empleo de la síntesis verde para su producción. La síntesis verde es una alternativa prometedora por las características que posee. De acuerdo con la revisión se presentan diferencias desproporcionadas en relación con la información reportada para cada tipo de nanopartícula, así como la descripción del modo de acción, donde las nanopartículas de plata son aquellas con mayor exploración y con una cantidad superior de estudios

donde se explican distintos procesos en donde participan las nanopartículas en el organismo del insecto. Se carece de información a nivel fisiológico y enzimático, así como pruebas de microscopia para observar el alojamiento de las nanopartículas en los insectos. Por otro lado, la variación entre resultados del mismo tipo de nanopartículas suele variar, lo que conduce a la búsqueda de una estandarización de los agentes reductores provenientes de la síntesis verde de nanopartículas. Por último, es necesario evaluar el impacto en la salud humana además de implementar experimentos en campo, las cuales contemplen la evaluación de las nanopartículas en organismos no objetivos y su destino medioambiental.

Financing. There was no source of financing, either public or private.

Conflict of interest. The authors declare that they have no personal or institutional conflicts of interest.

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

Data availability. Does not apply. Data are available in the cited literature.

Author contribution statement (CRediT). V. Zavala-Zapata, writing-original draft, conceptualization; Hernández-Juárez, conceptualization, writing- review and editing; Luis Alberto Aguirre-Uribe, conceptualización; S. N. Ramírez-Barrón, supervision.

REFERENCES

- Abd-Elhady, H. M., Ashor, M. A., Hazem, A., Saleh, F. M., Selim, S., El Nahhas, N., Abdel-Hafez, S. H., Sayed, S. and Hassan, E. A., 2021. Biosynthesis and characterization of extracellular silver nanoparticles from *Streptomyces aizuneusis*: antimicrobial, antilarval, and anticancer activities. *Molecules*, 27, pp. 212. <https://doi.org/10.3390/molecules27010212>
- Abdo, A. M., Fouda, A., Eid, A. M., Fahmy, N. M., Elsayed, A. M., Khalil, A. M. A., Alzaharani, O. M., Ahmed, A. F. and Soliman, A. M., 2021. Green synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles (ZnO-NPs) by *Pseudomonas aeruginosa* and their activity against pathogenic microbes and common house mosquito, *Culex pipiens*. *Materials*, 14, pp. 6983. <https://doi.org/10.3390/ma14226983>
- Abinaya, M., Vaseeharan, B., Divya, M., Sharmili, A., Govindarajan, M., Alharbi, N. S., Shine, K., Khaled, J. M. and Benelli, G., 2018. Bacterial

- exopolysaccharide (EPS)-coated ZnO nanoparticles showed high antibiofilm activity and larvicidal toxicity against malaria and Zika virus vectors. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 45, pp. 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.10.002>
- Abou El-Ela, A. S., Ntiri, E. S., Munawar, A., Shi, X. X., Zhang, C., Pilianto, J., Zhang, Y., Chen, M., Zhou, Y. and Zhu, Z. R., 2022. Silver and copper-oxide nanoparticles prepared with GA3 induced defense in rice plants and caused mortalities to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). *NanoImpact*, 28, pp. 100428. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2022.100428>
- Alshehri, M. A., Panneerselvam, C., Murugan, K., Trivedi, S., Mahyoub, J. A., Maggi, F., Sut, S., Dall'Acqua, S., Canale, A. and Benelli, G., 2018. The desert wormwood (*Artemisia herba-alba*)—From Arabian folk medicine to a source of green and effective nanoinsecticides against mosquito vectors. *Journal of Photochemistry and photobiology B: biology*, 180, pp. 225–234. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.02.012>
- Amjad, T., Afsheen, S. and Iqbal, T., 2022. Nanocidal effect of rice husk–based silver nanoparticles on antioxidant enzymes of aphid. *Biological Trace Element Research*, 200, pp. 4855–4864. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-03067-5>
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Benelli, G., Losic, D., Usha Rani, P. and Desneux, N., 2017. Nanoparticles for pest control: current status and future perspectives. *Journal of Pest Science*, 91, pp. 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0898-0>
- Badawy, A. A., Abdelfattah, N. A., Salem, S. S., Awad, M. F. and Fouda, A., 2021. Efficacy assessment of biosynthesized copper oxide nanoparticles (CuO-NPs) on stored grain insects and their impacts on morphological and physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) plant. *Biology*, 10, pp. 233. <https://doi.org/10.3390/biology10030233>
- Balasubramani, G., Ramkumar, R., Krishnaveni, N., Sowmiya, R., Deepak, P., Arul, D. and Perumal, P., 2015. GC–MS analysis of bioactive components and synthesis of gold nanoparticle using *Chloroxylon swietenia* DC leaf extract and its larvicidal activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 148, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2015.03.016>
- Banumathi, B., Vaseeharan, B., Ishwarya, R., Govindarajan, M., Alharbi, N. S., Kadaikunnan, S., Khaled, J. M. and Benelli, G., 2017. Toxicity of herbal extracts used in ethno-veterinary medicine and green-encapsulated ZnO nanoparticles against *Aedes aegypti* and microbial pathogens. *Parasitology Research*, 116, pp. 1637–1651. <https://doi.org/10.1007/s00436-017-5438-6>
- Baranitharan, M., Alarifi, S., Alkahtani, S., Ali, D., Elumalai, K., Pandiyan, J., Krishnappa, K., Rajeswary, M. and Govindarajan, M., 2021. Phytochemical analysis and fabrication of silver nanoparticles using *Acacia catechu*: An efficacious and ecofriendly control tool against selected polyphagous insect pests. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28, pp. 148–156. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.09.024>
- Bhadani, R. V., Gajera, H. P., Hirpara, D. G., Savaliya, D. D. and Anuj, S. A., 2022. Biosynthesis and characterization of extracellular metabolites-based nanoparticles to control the whitefly. *Archives of Microbiology*, 204, pp. 311. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-02917-7>
- Biswas, P. and Wu, C. Y., 2005. Nanoparticles and the environment. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 55, pp. 708–746. <https://doi.org/10.1080/10473289.2005.10464656>
- Chinnaperumal, K., Govindasamy, B., Paramasivam, D., Dilipkumar, A., Dhayalan, A., Vadivel, A., Sengodan, K. and Pachiappan, P., 2018. Bio-pesticidal effects of *Trichoderma viride* formulated titanium dioxide nanoparticle and their physiological and biochemical changes on *Helicoverpa armigera* (Hub.). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 149, pp. 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2018.05.005>
- Cittrarasu, V., Kaliannan, D., Dharman, K., Maluventhen, V., Easwaran, M., Liu, W. C., Balasubramanian, B. and Arumugam, M., 2021. Green synthesis of selenium nanoparticles mediated from *Ceropegia bulbosa* Roxb extract and its cytotoxicity, antimicrobial, mosquitocidal and photocatalytic activities. *Scientific Reports*, 11, pp. 1032. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80327-9>
- Devi, G. D., Murugan, K. and Selvam, C. P., 2014. Green synthesis of silver nanoparticles using *Euphorbia hirta* (Euphorbiaceae) leaf extract against crop pest of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Biopesticides*, 7, pp. 54–66.

- http://www.jbiopest.com/users/LW8/efiles/vol7_0_54-66.pdf
- Dinesh, D., Murugan, K., Madhiyazhagan, P., Panneerselvam, C., Mahesh Kumar, P., Nicoletti, M. Jiang, W., Benelli, G., Chandramohan, B. and Suresh, U., 2015. Mosquitocidal and antibacterial activity of green-synthesized silver nanoparticles from *Aloe vera* extracts: towards an effective tool against the malaria vector *Anopheles stephensi*?. *Parasitology Research*, 114, pp. 1519-1529. <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4336-z>
- Ealia, S. A. M. and Saravanakumar, M. P., 2017. A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 263, pp. 1-15. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/3/032019>
- El-Ashmouny, R. S., Rady, M. H., Merdan, B. A., El-Sheikh, T. A. A., Hassan, R. E. and El Gohary, E. G. E., 2022. Larvicidal and pathological effects of green synthesized silver nanoparticles from *Artemisia herba-alba* against *Spodoptera littoralis* through feeding and contact application. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 9, pp. 239-253. <https://doi.org/10.1080/2314808X.2022.2063012>
- Elemike, E. E., Onwudiwe, D. C., Ekenia, A. C., Sonde, C. U. and Ehiri, R. C., 2017. Green synthesis of Ag/Ag₂O nanoparticles using aqueous leaf extract of *Eupatorium odoratum* and its antimicrobial and mosquito larvicidal activities. *Molecules*, 22, pp. 674. <https://doi.org/10.3390/molecules22050674>
- Fouad, H., Hongjie, L., Hosni, D., Wei, J., Abbas, G., Ga'al, H. and Jianchu, M., 2018. Controlling *Aedes albopictus* and *Culex pipiens pallens* using silver nanoparticles synthesized from aqueous extract of *Cassia fistula* fruit pulp and its mode of action. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 46, pp. 558-567.
- Fouad, H., Yang, G., El-Sayed, A. A., Mao, G., Khalafallah, D., Saad, M. Ga'al, H., Ibrahim, E. and Mo, J., 2021. Green synthesis of AgNP–ligand complexes and their toxicological effects on *Nilaparvata lugens*. *Journal of Nanobiotechnology*, 19, pp. 1-17. <https://doi.org/10.1186/s12951-021-01068-z>
- Fouda, A., Al-Otaibi, W. A., Saber, T., AlMotwaa, S. M., Alshallash, K. S., Elhady, M., Badr, N. F. and Abdel-Rahman, M. A., 2022. Antimicrobial, antiviral, and in-vitro cytotoxicity and mosquitocidal activities of *Portulaca oleracea*-based green synthesis of selenium nanoparticles. *Journal of Functional Biomaterials*, 13, pp. 157. <https://doi.org/10.3390/jfb13030157>
- Fouda, A., Awad, M. A., Eid, A. M., Saied, E., Barghoth, M. G., Hamza, M. F., Awad, M. F., Abdelbary, S. and Hassan, S. E. D., 2021. An eco-friendly approach to the control of pathogenic microbes and *Anopheles stephensi* malarial vector using magnesium oxide nanoparticles (Mg-nps) fabricated by *Penicillium chrysogenum*. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, pp. 5096. <https://doi.org/10.3390/ijms22105096>
- Fouda, A., Eid, A. M., Abdel-Rahman, M. A., El-Belely, E. F., Awad, M. A., Hassan, S. E. D., AL-Faifi, Z. E. and 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*, 10, pp. 849921. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.849921>
- Ghidan, A. Y., Al-Antary, T. M., Awwad, A. M., Ghidan, O. Y., Araj, S. E. A. and Ateyyat, M. A., 2018. Comparison of different green synthesized nanomaterials on green peach aphid as aphicidal potential. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27, pp. 7009-7016.
- Gour, A. and Jain, N. K., 2019. Advances in green synthesis of nanoparticles. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 47, pp. 844-851. <https://doi.org/10.1080/21691401.2019.1577878>
- Govindarajan, M., Hoti, S. L. and Benelli, G., 2016. Facile fabrication of eco-friendly nanomosquitocides: Biophysical characterization and effectiveness on neglected tropical mosquito vectors. *Enzyme and Microbial Technology*, 95, pp. 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2016.05.005>
- Govindarajan, M., Rajeswary, M., Veerakumar, K., Muthukumaran, U., Hoti, S. L. and Benelli, G., 2016a. Green synthesis and characterization of silver nanoparticles fabricated using *Anisomeles indica*: mosquitocidal potential against malaria, dengue and Japanese encephalitis vectors. *Experimental*

- Parasitology*, 161, pp. 40-47.
<https://doi.org/10.1016/j.exppara.2015.12.011>
- Govindarajan, M., Vijayan, P., Kadaikunnan, S., Alharbi, N. S. and Benelli, G., 2016b. One-pot biogenic fabrication of silver nanocrystals using *Quisqualis indica*: effectiveness on malaria and Zika virus mosquito vectors, and impact on non-target aquatic organisms. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 162, ppm. 646-655.
<https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.07.036>
- Gurusamy, D., Mogilicherla, K. and Palli, S. R., 2020. Chitosan nanoparticles help double-stranded RNA escape from endosomes and improve RNA interference in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 104, pp. e21677.
<https://doi.org/10.1002/arch.21677>
- Gutiérrez-Ramírez, J. A., Betancourt-Galindo, R., Aguirre-Urbe, L. A., Cerna-Chávez, E., Sandoval-Rangel, A., Ángel, E. C. D., Chacón-Hernandez, J. C., Garcia-Lopez, J. I. and Hernández-Juárez, A., 2021. Insecticidal effect of zinc oxide and titanium dioxide nanoparticles against *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae) on tomato *Solanum lycopersicum*. *Agronomy*, 11, pp. 1460. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081460>
- Hasan, S., 2015. A review on nanoparticles: their synthesis and types. *Research Journal of Recent Sciences*, 4, pp. 1-3.
<https://www.isca.in/rjrs/archive/v4/iISC-2014/3.ISCA-ISC-2014-Poster-3BS-63.pdf>
- Hazaa, M., Alm-Eldin, M., Ibrahim, A. E., Elbarky, N., Salama, M., Sayed, R. and Sayed, W. 2021. Biosynthesis of silver nanoparticles using *Borago officinalis* leaf extract, characterization and larvicidal activity against cotton leaf worm, *Spodoptera littoralis* (Bosid). *International Journal of Tropical Insect Science*, 41, pp. 145-156. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00187-8>
- Ibrahim, S., Elbehery, H. and Samy, A., 2022. Insecticidal activity of ZnO NPs synthesized by green method using pomegranate peels extract on stored product insects. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65, pp. 135-145.
<https://dx.doi.org/10.21608/ejchem.2021.92692.4496>
- Ijaz, I., Gilani, E., Nazir, A. and Bukhari, A., 2020. Detail review on chemical, physical and green synthesis, classification, characterizations and applications of nanoparticles. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 13, pp. 223-245.
<https://doi.org/10.1080/17518253.2020.1802517>
- Ishwarya, R., Jayakumar, R., Govindan, T., Govindarajan, M., Alharbi, N. S., Kadaikunnan, S., Khaled, J. M., Nicoletti, M. and Vaseeharan, B., 2022. Swift synthesis of zinc oxide nanoparticles using unripe fruit extract of *Pergularia daemia*: An enhanced and eco-friendly control agent against Zika virus vector *Aedes aegypti*. *Acta Tropica*, 232, pp. 106489.
<https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2022.106489>
- Ishwarya, R., Vaseeharan, B., Kalyani, S., Banumathi, B., Govindarajan, M., Alharbi, N. S., Kadaikunnan, S., Al-anbr, M. N., Khaled, J. M. and Benelli, G., 2018. Facile green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Ulva lactuca* seaweed extract and evaluation of their photocatalytic, antibiofilm and insecticidal activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 178, pp. 249-258.
<https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.11.006>
- Ishwarya, R., Vaseeharan, B., Subbaiah, S., Nazar, A. K., Govindarajan, M., Alharbi, N. S., Kadaikunnan, S., Nazar, A. K. and Al-Anbr, M. N., 2018. *Sargassum wightii*-synthesized ZnO nanoparticles—from antibacterial and insecticidal activity to immunostimulatory effects on the green tiger shrimp *Penaeus semisulcatus*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 183, pp. 318-330.
<https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.04.049>
- Jafer, F. S. and Annon, M. R., 2018. Larvicidal effect of pure and green-synthesized silver nanoparticles against *Tribolium castaneum* (herb.) and *Callosobruchus maculatus* (fab.). *Journal of Global Pharma Technology*, 10, pp. 448-454.
- Jamkhande, P. G., Ghule, N. W., Bamer, A. H. and Kalaskar, M. G., 2019. Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 53, pp. 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.jddst.2019.101174>
- Jose, V., Raphel, L., Aiswariya, K. S. and Mathew, P., 2021. Green synthesis of silver nanoparticles using *Annona squamosa* L. seed extract: characterization, photocatalytic and biological activity assay. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 44, pp. 1819-1829.
<https://doi.org/10.1007/s00449-021-02562-2>

- Kamil, D., Prameeladevi, T., Ganesh, S., Prabhakaran, N., Nareshkumar, R. and Thomas, S. P., 2017. Green synthesis of silver nanoparticles by entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and their bioefficacy against mustard aphid (*Lipaphis erysimi* Kalt.). *Indian Journal of Experimental Biology*, 55, pp. 555-561. <http://nopr.niscpr.res.in/handle/123456789/42555>
- Kamran, U., Bhatti, H. N., Iqbal, M. and Nazir, A., 2019. Green Synthesis of Metal Nanoparticles and their Applications in Different Fields: A Review. *Zeitschrift Für Physikalische Chemie*, 233, pp. 1325-1349. <https://doi.org/10.1515/zpch-2018-1238>
- Khatami, M., Iravani, S., Varma, R. S., Mosazade, F., Darroudi, M. and Borhani, F., 2019. Cockroach wings-promoted safe and greener synthesis of silver nanoparticles and their insecticidal activity. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 42, pp. 2007-2014. <https://doi.org/10.1007/s00449-019-02193-8>
- Kumar, V. A., Ammani, K., Jobina, R., Subhaswaraj, P. and Siddhardha, B., 2017. Photo-induced and phytomediated synthesis of silver nanoparticles using *Derris trifoliata* leaf extract and its larvicidal activity against *Aedes aegypti*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 171, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.04.022>
- Kumar, V., Ammani, K., Jobina, R., Parasuraman, P., and Siddhardha, B., 2016. Larvicidal activity of green synthesized silver nanoparticles using *Excoecaria agallocha* L.(Euphorbiaceae) leaf extract against *Aedes aegypti*. *IET Nanobiotechnology*, 10, pp. 382-388. <https://doi.org/10.1049/iet-nbt.2015.0101>
- Kumaravel, J., Lalitha, K., Arunthirumeni, M. and Shivakumar, M. S., 2021. Mycosynthesis of bimetallic zinc oxide and titanium dioxide nanoparticles for control of *Spodoptera frugiperda*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 178, pp. 104910. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2021.104910>
- León-Jiménez, E., Valdéz-Salas, B., González-Mendoza, D. and Tzintzun-Camacho, O., 2019. Síntesis y actividad insecticida de nanopartículas de Cu de *Prosopis juliflora* (Sw) DC y *Pluchea sericea* (Nutt.) sobre *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 78, pp. 12-21. <https://doi.org/10.25085/rsea.780202>
- Malaikozhundan, B. and Vinodhini, J., 2018. Nanopesticidal effects of *Pongamia pinnata* leaf extract coated zinc oxide nanoparticle against the Pulse beetle, *Callosobruchus maculatus*. *Materials Today Communications*, 14, pp. 106-115. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2017.12.015>
- Manimegalai, T., Raguvanan, K., Kalpana, M. and Maheswaran, R., 2020. Green synthesis of silver nanoparticle using *Leonotis nepetifolia* and their toxicity against vector mosquitoes of *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus* and agricultural pests of *Spodoptera litura* and *Helicoverpa armigera*. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, pp. 43103-43116. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10127-1>
- Meenambigai, K., Kokila, R., Chandhirasekar, K., Thendralmanikandan, A., Kaliannan, D., Ibrahim, K. S., Kumar, S., Liu, W., Balasubramanian, and Nareshkumar, A., 2021. Green Synthesis of Selenium Nanoparticles Mediated by *Nilgiranthus ciliates* Leaf Extracts for Antimicrobial Activity on Foodborne Pathogenic Microbes and Pesticidal Activity Against *Aedes aegypti* with Molecular Docking. *Biological Trace Element Research*, 200, pp. 2948-2962. <https://doi.org/10.1007/s12011-021-02868-y>
- Mendez-Trujillo, V., Valdez-Salas, B., Carrillo-Beltran, M., Curiel-Alvarez, M. A., Tzintzun-Camacho, O., Ceceña-Duran, C. and Gonzalez-Mendoza, D., 2019. Green synthesis of bimetallic nanoparticles from *Prosopis juliflora* (Sw) DC., and its effect against cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera: Pseudococcidae). *Phyton*, 88, pp. 269. <https://doi.org/10.32604/phyton.2019.07316>
- Mishra, S., Wang, W., de Oliveira, I. P., Atapattu, A. J., Xia, S. W., Grillo, R., Lescano, C. H. and Yang, X., 2021. Interaction mechanism of plant-based nanoarchitected materials with digestive enzymes of termites as target for pest control: Evidence from molecular docking simulation and in vitro studies. *Journal of Hazardous Materials*, 403, pp. 123840. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123840>
- Mittal, A. K., Chisti, Y. and Banerjee, U. C., 2013. Synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts. *Biotechnology Advances*, 31, pp. 346-356. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.01.003>
- Mohanraj, V.J. and Chen, Y., 2006. Nanoparticles-A Review. *Tropical Journal of Pharmaceutical*

- Research, 5, pp. 561-573.
<https://doi.org/10.4314/tjpr.v5i1.14634>
- Murugan, K., Dinesh, D., Kumar, P. J., Panneerselvam, C., Subramaniam, J., Madhiyazhagan, P. Suresh, U., Nicoletti, M., Alarfaj, A. B., Murugan, A. M., Higuchi, A., Mehlhorn, H. and Benelli, G., 2015. Datura metel-synthesized silver nanoparticles magnify predation of dragonfly nymphs against the malaria vector *Anopheles stephensi*. *Parasitology Research*, 114, pp. 4645-4654.
<https://doi.org/10.1007/s00436-015-4710-x>
- Murugan, K., Dinesh, D., Nataraj, D., Subramaniam, J., Amuthavalli, P., Madhavan, J., Rajasekar, A., Rajan, M., Thiruppathi, K. P., Kumar, S., Higuchi, A., Nicoletti, M. and Benelli, G., 2018. Iron and iron oxide nanoparticles are highly toxic to *Culex quinquefasciatus* with little non-target effects on larvivoracious fishes. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, pp. 10504–10514.
<https://doi.org/10.1007/s11356-017-0313-7>
- Murugan, K., Samidoss, C. M., Panneerselvam, C., Higuchi, A., Roni, M., Suresh, U., Chandramohan, B., Subramaniam, J., Madhiyazhagan, P., Dinesh, D., Rajaganesh, R., Alarfaj, A. A., Nicoletti, M., Kumar, S., Wei, H., Canale, A., Mehlhorn, H. and Benelli, G., 2015. Seaweed-synthesized silver nanoparticles: an eco-friendly tool in the fight against *Plasmodium falciparum* and its vector *Anopheles stephensi*?. *Parasitology Research*, 114, pp. 4087-4097.
<https://doi.org/10.1007/s00436-015-4638-1>
- Muthukumaran, U., Govindarajan, M. and Rajeswary, M., 2015. Green synthesis of silver nanoparticles from *Cassia roxburghii*—a most potent power for mosquito control. *Parasitology Research*, 114, pp. 4385-4395.
<https://doi.org/10.1007/s00436-015-4677-7>
- Muthukumaran, U., Govindarajan, M. and Rajeswary, M., 2015. Mosquito larvicidal potential of silver nanoparticles synthesized using *Chomelia asiatica* (Rubiaceae) against *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti*, and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *Parasitology Research*, 114, pp. 989-999.
<https://doi.org/10.1007/s00436-014-4265-2>
- Narayanan, M., Devi, P. G., Natarajan, D., Kandasamy, S., Devarayan, K., Alsehli, M., Elfakhany, A. and Pugazhendhi, A., 2021a. Green synthesis and characterization of titanium dioxide nanoparticles using leaf extract of *Pouteria campechiana* and larvicidal and pupicidal activity on *Aedes aegypti*. *Environmental Research*, 200, pp. 111333.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111333>
- Narayanan, M., Vigneshwari, P., Natarajan, D., Kandasamy, S., Alsehli, M., Elfakhany, A. and Pugazhendhi, A., 2021b. Synthesis and characterization of TiO₂ NPs by aqueous leaf extract of *Coleus aromaticus* and assess their antibacterial, larvicidal, and anticancer potential. *Environmental Research*, 200, pp. 111335.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111335>
- Neira-Vielma, A. A., Meléndez-Ortiz, H. I., García-López, J. I., Sanchez-Valdes, S., Cruz-Hernández, M. A., Rodríguez-González, J. G. and Ramírez-Barrón, S. N., 2022. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using Pecan Nut (*Carya illinoensis*) Shell Extracts and Evaluation of Their Antimicrobial Activity. *Antibiotics*, 11, pp. 1150.
<https://doi.org/10.3390/antibiotics11091150>
- Parthiban, E., Ramachandran, M., Jayakumar, M. and Ramanibai, R., 2019. Biocompatible green synthesized silver nanoparticles impact on insecticides resistant developing enzymes of dengue transmitted mosquito vector. *SV Applied Sciences*, 1, pp. 1-9.
<https://doi.org/10.1007/s42452-019-1311-9>
- Patil, C. D., Borase, H. P., Suryawanshi, R. K. and Patil, S. V., 2016. Trypsin inactivation by latex fabricated gold nanoparticles: A new strategy towards insect control. *Enzyme and Microbial Technology*, 92, pp.18-25.
<https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2016.06.005>
- Pavithra Bharathi, V., Ragavendran, C., Murugan, N. and Natarajan, D., 2017. *Ipomoea batatas* (Convolvulaceae)-mediated synthesis of silver nanoparticles for controlling mosquito vectors of *Aedes albopictus*, *Anopheles stephensi*, and *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae). *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 45, pp. 1568-1580.
<https://doi.org/10.1080/21691401.2016.1261873>
- Pestovsky, Y. S. and Martínez-Antonio, A., 2017. The use of nanoparticles and nanoformulations in agriculture. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 17, pp. 8699-8730.
<https://doi.org/10.1166/jnn.2017.15041>
- Pittarate, S., Rajula, J., Rahman, A., Vivekanandhan, P., Thungrabeab, M., Mekchay, S. and Krutmuang, P., 2021. Insecticidal effect of zinc

- oxide nanoparticles against *Spodoptera frugiperda* under laboratory conditions. *Insects*, 12, pp. 1017. <https://doi.org/10.3390/insects12111017>
- Priyanka, P., Kumar, D., Yadav, A. and Yadav, K., 2020. Nanobiotechnology and its application in agriculture and food production. In *Nanotechnology for Food, Agriculture, and Environment* (pp. 105-134). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31938-0_6
- PubMed.gov., 2022. Búsqueda de resultados por año (green nanoparticles) and (insects). Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=%28green+nanoparticles%29+AND+%28insects%29&filter=years.2022-2022&timeline=expanded> [Accessed 05 noviembre 2022].
- Rai, M. and Ingle, A., 2012. Role of nanotechnology in agriculture with special reference to management of insect pests. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 94, pp. 287–293. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-3969-4>
- Ramadan, R. H., Abdel-Meguid, A. and Emara, M., 2020. Effects of synthesized silver and chitosan nanoparticles using *Nerium oleander* and *Aloe vera* on antioxidant enzymes in *Musca domestica*. *Catrina: The International Journal of Environmental Sciences*, 21, pp. 9-14. <https://doi.org/10.21608/cat.2020.20921.1036>
- Rao, K. J. and Paria, S., 2015. *Aegle marmelos* leaf extract and plant surfactants mediated green synthesis of Au and Ag nanoparticles by optimizing process parameters using Taguchi method. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 3(3), 483-491. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.5b00022>
- Rehman, H., Majeed, B., Farooqi, M. A., Rasul, A., Sagheer, M., Ali, Q. and Akhtar, Z. R., 2021. Green Synthesis of Silver Nitrate Nanoparticles from *Camelina Sativa* (L.) and Its Effect to Control Insect Pests of Stored Grains. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41, pp. 3031-3039. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00495-7>
- Roni, M., Murugan, K., Panneerselvam, C., Subramaniam, J., Nicoletti, M., Madhiyazhagan, P., Dinesh, D., Suresh, U., Khater, H. F., Wei, H., Canale, A., Alarfaj, A. A., Munusamy, M. A., Higuchi, A. and Benelli, G. 2015. Characterization and biotoxicity of *Hypnea musciformis*-synthesized silver nanoparticles as potential eco-friendly control tool against *Aedes aegypti* and *Plutella xylostella*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 121, pp. 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.07.005>
- Sahayaraj, K., Madasamy, M. and Radhika, S. A., 2016. Insecticidal activity of bio-silver and gold nanoparticles against *Pericallia ricini* Fab. (Lepidoptera: Archidae). *Journal of Biopesticides*, 9, pp. 63-72. http://www.jbiopest.com/users/lw8/efiles/vol_9_1_63-72.pdf
- Sajid, M. and Plotka-Wasyłka, J., 2020. Nanoparticles: Synthesis, characteristics, and applications in analytical and other sciences. *Microchemical Journal*, 154, Article 104623. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104623>
- Sankar, M. V. and Abideen, S., 2015. Pesticidal effect of green synthesized silver and lead nanoparticles using *Avicennia marina* against grain storage pest *Sitophilus oryzae*. *International Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 5, pp. 32-39.
- Santhosh, S. B., Yuvarajan, R. and Natarajan, D., 2015. *Annona muricata* leaf extract-mediated silver nanoparticles synthesis and its larvicidal potential against dengue, malaria and filariasis vector. *Parasitology Research*, 114, pp. 3087-3096. <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4511-2>
- Santos, T. S., de Souza Varize, C., Sanchez-Lopez, E., Jain, S. A., Souto, E. B., Severino, P., and Mendonça, M. D. C., 2022. Entomopathogenic fungi-mediated AgNPs: synthesis and insecticidal effect against *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Materials*, 15, pp. 7596. <https://doi.org/10.3390/ma15217596>
- Sedighi, A., Imani, S., Moshtaghi Kashanian, G. R., Najafi, H. and Fathipour, Y., 2019. Efficiency of Green Synthesized Silver Nanoparticles with Sweet Orange, *Citrus sinensis* (L.) (Rutaceae, Sapindales) against *Tribolium confusum* Duval. (Coleoptera, Tenebrionidae). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 21, pp. 1485-1494. <http://jast.modares.ac.ir/article-23-21397-en.html>
- Shahid, M., Naeem-Ullah, U., Khan, W. S., Saeed, S. and Razzaq, K., 2022. Biocidal activity of green synthesized silver nanoformulation by *Azadirachta indica* extract a biorational approach against notorious cotton pest whitefly, *Bemisia tabaci* (Homoptera; Aleyrodidae). *International Journal of Tropical*

- Insect Science*, 42, pp. 2443-2454. <https://doi.org/10.1007/s42690-022-00771-0>
- Siddique, M. A., Hasan, M. U., Sagheer, M. and Sahi, S. T., 2022. Comparative toxic effects of *Eucalyptus globulus* L.(Myrtales: Myrtaceae) and its green synthesized zinc oxide nanoparticles (ZnONPs) against *Rhyzopertha dominica* (F.)(Coleoptera: Bostrichidae). *International Journal of Tropical Insect Science*, 42, pp. 1697-1706. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00691-5>
- Soni, N. and Prakash, S. 2015. Antimicrobial and mosquitocidal activity of microbial synthesized silver nanoparticles. *Parasitology Research*, 114, 1023-1030. <https://doi.org/10.1007/s00436-014-4268-z>
- Soni, N. and Prakash, S., 2014. Silver nanoparticles: a possibility for malarial and filarial vector control technology. *Parasitology Research*, 113, pp. 4015-4022. <https://doi.org/10.1007/s00436-014-4069-4>
- Sood, K., Kaur, J., Singh, H., Kumar Arya, S. and Khatri, M., 2019. Comparative Toxicity Evaluation of Graphene Oxide (GO) and Zinc Oxide (ZnO) Nanoparticles on *Drosophila melanogaster*. *Toxicology Reports*, 6, pp. 768-781. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.07.009>
- Stadler, T., López, G. P., Gitto, J. G. and Buteler, M., 2017. Nanostructured alumina: biocidal properties and mechanism of action of a novel insecticide powder. *Bulletin of Insectology*, 70, pp.17-26. <http://www.bulletinofinsectology.org/pdfarticles/vol70-2017-017-025stadler.pdf>
- Suganya, P., Vaseeharan, B., Vijayakumar, S., Balan, B., Govindarajan, M., Alharbi, N. S., Kadaikunnan, S., Khaled, J.M. and Benelli, G., 2017. Biopolymer zein-coated gold nanoparticles: synthesis, antibacterial potential, toxicity and histopathological effects against the Zika virus vector *Aedes aegypti*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 173, pp. 404-411. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.06.004>
- Sujitha, V., Murugan, K., Paulpandi, M., Panneerselvam, C., Suresh, U., Roni, M., Nicoletti, M., Higuchi, A., Madhiyazhagan, P., Subramaniam, J., Dinesh, D., Vadivalagan, C., Chandramohan, B., Alarfaj, A. A., Munusamy, M. A., Barnard, D. R. and Benelli, G., 2015. Green-synthesized silver nanoparticles as a novel control tool against dengue virus (DENV-2) and its primary vector *Aedes aegypti*. *Parasitology Research*, 114, 3315-3325. <https://doi.org/10.1007/s00436-015-4556-2>
- Suman, T. Y., Rajasree, S. R., Jayaseelan, C., Mary, R. R., Gayathri, S., Aranganathan, L. and Remya, R. R., 2016. GC-MS analysis of bioactive components and biosynthesis of silver nanoparticles using *Hybanthus enneaspermus* at room temperature evaluation of their stability and its larvicidal activity. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, pp. 2705-2714. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5468-5>
- Sundararajan, B. and Kumari, B. D., 2017. Novel synthesis of gold nanoparticles using *Artemisia vulgaris* L. leaf extract and their efficacy of larvicidal activity against dengue fever vector *Aedes aegypti* L. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 43, pp. 187-196. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.03.008>
- Sundaravadivelan, C. and Padmanabhan, M. N., 2014. Effect of mycosynthesized silver nanoparticles from filtrate of *Trichoderma harzianum* against larvae and pupa of dengue vector *Aedes aegypti* L. *Environmental Science and Pollution Research*, 21, pp. 4624-4633. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-2358-6>
- Thabet, A. F., Boraie, H. A., Galal, O. A., El-Samahy, M. F., Mousa, K. M., Zhang, Y. Z., Tuda, M., Helmy, E. A., Wen, J. and Nozaki, T., 2021. Silica nanoparticles as pesticide against insects of different feeding types and their non-target attraction of predators. *Scientific Reports*, 11, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93518-9>
- Thakkar, K. N., Mhatre, S. S. and Parikh, R. Y., 2010. Biological synthesis of metallic nanoparticles. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 6, pp. 257-262. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2009.07.002>
- Thakur, P., Thakur, S., Kumari, P., Shandilya, M., Sharma, S., Pocza, P., Alarfaj, A. A. and Sayyed, R. Z., 2022. Nano-insecticide: synthesis, characterization, and evaluation of insecticidal activity of ZnO NPs against *Spodoptera litura* and *Macrosiphum euphorbiae*. *Applied Nanoscience*, 12, pp. 3835-3850. <https://doi.org/10.1007/s13204-022-02530-6>
- Thelma, J. and Balasubramanian, C., 2021. Ovicidal, larvicidal and pupicidal efficacy of silver

- nanoparticles synthesized by *Bacillus marisflavi* against the chosen mosquito species. *Plos One*, 16, pp. e0260253. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260253>
- Udayabhanu, J., Kannan, V., Tiwari, M., Natesan, G., Giovanni, B. and Perumal, V., 2018. Nanotitania crystals induced efficient photocatalytic color degradation, antimicrobial and larvicidal activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 178, pp. 496-504. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2017.12.005>
- Veerakumar, K. and Govindarajan, M., 2014. Adulticidal properties of synthesized silver nanoparticles using leaf extracts of *Feronia elephantum* (Rutaceae) against filariasis, malaria, and dengue vector mosquitoes. *Parasitology Research*, 113, pp. 4085-4096. <https://doi.org/10.1007/s00436-014-4077-4>
- Veerakumar, K., Govindarajan, M. and Hoti, S. L., 2014a. Evaluation of plant-mediated synthesized silver nanoparticles against vector mosquitoes. *Parasitology Research*, 113, pp. 4567-4577. <https://doi.org/10.1007/s00436-014-4147-7>
- Veerakumar, K., Govindarajan, M., Rajeswary, M. and Muthukumaran, U., 2014b. Low-cost and eco-friendly green synthesis of silver nanoparticles using *Feronia elephantum* (Rutaceae) against *Culex quinquefasciatus*, *Anopheles stephensi*, and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Parasitology Research*, 113, pp. 1775-1785. <https://doi.org/10.1007/s00436-014-3823-y>
- R K., Sudhahar, S. and Maheshwaran, G., 2019. Effect of biosynthesis of ZnO nanoparticles via Cucurbita seed extract on *Culex tritaeniorhynchus* mosquito larvae with its biological applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 200, pp.111650. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111650>
- Velu, K., Elumalai, D., Hemalatha, P., Janaki, A., Babu, M., Hemavathi, M. and Kaleena, P. K., 2015. Evaluation of silver nanoparticles toxicity of *Arachis hypogaea* peel extracts and its larvicidal activity against malaria and dengue vectors. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, pp. 17769-17779. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4919-3>
- Wang, X., Xu, J., Wang, X., Qiu, B., Cuthbertson, A. G., Du, C., Wu, J. and Ali, S., 2019. *Isaria fumosorosea*-based zero-valent iron nanoparticles affect the growth and survival of sweet potato whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Pest Management Science*, 75, pp. 2174-2181. <https://doi.org/10.1002/ps.5340>
- Ziaee, M. and Ganji, Z., 2016. Insecticidal efficacy of silica nanoparticles against *Rhyzopertha dominica* F. and *Tribolium confusum* Jacquelin du Val. *Journal of Plant Protection Research*, 56, pp. 251-256. <https://doi.org/10.1515/jppr-2016-0037>