

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Efecto Acaricida de Nanopartículas de Plata de Síntesis Verde contra *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) Bajo Condiciones de Laboratorio

Por:

ANDY MONSERRATH RAMÍREZ DÍAZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Efecto Acaricida de Nanopartículas de Plata de Síntesis Verde contra *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) Bajo Condiciones de Laboratorio

Por:


ANDY MONSERRATH RAMÍREZ DÍAZ

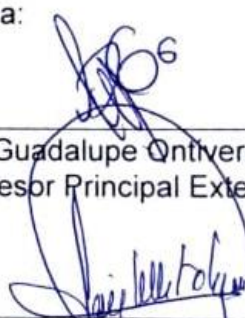
TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de


INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO


Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Agustín Hernández Juárez
Asesor Principal


M.C. José Guadalupe Ontiveros Guerra
Asesor Principal Externo


Dra. Sonia Noemí Ramírez Barrón
Coasesor


Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe
Coasesor


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2023

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Andy Monserrath Ramírez Díaz

AGRADECIMIENTOS

A Dios. Por darme la vida, salud y fortaleza para salir adelante. Por cada por cada una de las bendiciones que me permitió cumplir una meta más.

A mi "Alma Terra Mater" por ser mi centro de estudios, acobijarme y ser mi segundo hogar, por brindarme oportunidades maravillosas de formarme profesionalmente durante estos años.

Al Dr. Agustín Hernández Juárez. Por permitirme ser parte de este proyecto de investigación, por la dirección y asesoría en la revisión e identificación del presente trabajo. Sobre todo, por el apoyo brindado para llevarlo a cabo.

Al M.C. José Guadalupe Ontiveros Guerra. Por su apoyo y disponibilidad en cada momento, por la asesoría proporcionada, además de su amistad, fueron herramientas valiosas para el desarrollo de esta tesis, así como lo será para mi vida profesional y personal.

A la Dra. Sonia Noemí Ramírez Barrón. Por su apoyo y disponibilidad para poder realizar esta investigación, por las aportaciones y revisiones en todo momento.

Al Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe. Por la dirección y asesoría en la revisión e identificación durante la conducción del presente trabajo.

A todos mis amigos y compañeros de la generación. Por su amistad y por esos grandes momentos de conocimientos y experiencias compartidas que llevare presente en mi vida. En especial agradezco a **Carmen** por su confianza y amistad sincera demostrándolo en cada momento. A la **Dra. Miriam Sánchez** por su amistad y apoyo incondicional.

DEDICATORIA

A mis padres

Mauro Ramírez Roblero y Edelmira Díaz Rodríguez

Ustedes que fueron y siempre serán mi motivación para seguir adelante. No tengo palabras para agradecerles todo el inmenso apoyo que me brindaron además de su confianza y guía durante esta etapa y en mi vida. Gracias a Dios y a ustedes he llegado a la meta. No me olvidare de donde vengo porque sé que ustedes se esforzaron mucho más que yo para realizar unos de los más grandes anhelos de mi vida. ¡Los quiero mucho!

A mi hermana

Vane

Tú que fuiste un ejemplo a seguir. Gracias por todo el impulso que como hermanas un día prometimos lograr, así mismo por todo el apoyo recibido.

A mis abuelos

Cecilio y Teofila

Andres y Cecilia

Gracias por todas las enseñanzas y sabios consejos que me llevaron a conseguir este sueño. Ustedes también influyeron para formarme como una persona de bien. Abuela Teofila, aunque ya no estas presente en vida, vives siempre en mis recuerdos y en mi corazón, al igual que aquellas palabras llenas de sabiduría.

A mis tíos (as), a mis primos (as). Que de alguna u otra forma influyeron en el objetivo, apoyandome siempre y dándome palabras de superación. A mi **Tía Zenaida** que aun estando lejos, no deje de recibir apoyo de su parte.

Con mucho cariño y amor dedico este proyecto a **MI FAMILIA** porque son lo más sagrado que tengo en la vida y sin su apoyo esto no hubiera sido posible.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN	xiii
INTRODUCCIÓN	1
Justificación.....	4
Objetivo	4
Hipótesis	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Nanotecnología	5
Nanopartículas en la Agricultura.....	6
Nanomateriales	7
Interacción entre Nanopartículas y Plantas	8
Nanopartículas Metálicas y Nanopartículas de Síntesis Verde.....	9
Efecto Insecticida y Acaricida de las Nanopartículas Metálicas y de Síntesis Verde	10
Mecanismo de acción de las Nanopartículas de plata sobre insectos y ácaros.....	11
Generalidades de <i>Tetranychus urticae</i>	12
Clasificación taxonómica	13
Distribución.....	14
Biología	14

Ciclo de vida	15
Huevo.....	15
Larva	16
Protoninfa	16
Deutoninfa	16
Adultos	17
Principales Daños y Hospederos.....	18
Estrategias de control de <i>Tetranychus urticae</i>	19
Control cultural	19
Control biológico	19
Control químico	20
Extractos vegetales.....	22
MATERIALES Y METODOS	24
Ubicación del experimento	24
Colonia de <i>Tetranychus urticae</i>	24
Manejo del material vegetal y Bioensayos	25
Preparación de extracto acuoso de ruezno de nuez.....	25
Síntesis verde y caracterización de nanopartículas	26
Evaluación de Nanopartículas de plata sobre <i>Tetranychus urticae</i> bajo condiciones de laboratorio.....	26
Análisis de resultados.....	29
RESULTADOS	30
Síntesis verde de nanopartículas de plata.....	30
Caracterización de Nanopartículas de plata	31
Espectrofotometría UV Visible.....	31
Microscopía electrónica de transmisión (TEM).....	32

Dispersión de luz (DLS)	33
Efecto de las nanopartículas de plata sobre <i>T. urticae</i>	34
Efecto de las nanopartículas de plata sobre huevos de <i>T. urticae</i>	35
Efecto de las NPs sobre larvas de <i>T. urticae</i>	38
Efecto de las nanopartículas de plata sobre deotoninfas de <i>T. urticae</i>	41
Efecto de nanopartículas de plata sobre adultos de <i>T. urticae</i>	43
DISCUSIÓN.....	47
CONCLUSIÓN	51
LITERATURA CITADA	52

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Acaricidas recomendados en el control de <i>T. urticae</i>	21
Cuadro 2. Diámetro promedio de nanopartículas obtenidos mediante la técnica DLS.....	34
Cuadro 3. Concentraciones letales, límites fiduciales y parámetros de confianza de Nanopartículas de plata de síntesis verde y Atzingao sobre huevos de araña roja <i>T. urticae</i>	35
Cuadro 4. Promedio de mortalidad de huevos de <i>T. urticae</i> a diferentes concentraciones de nanopartículas de plata de síntesis verde y de Atzingao a las 96 horas después de la aplicación.....	36
Cuadro 5. Análisis de varianza del estudio de efectividad sobre huevos de <i>T. urticae</i> en cultivo de fresa en condiciones de laboratorio.....	37
Cuadro 6. Concentraciones letales, límites fiduciales y parámetros de confianza de nanopartículas de plata de síntesis verde sobre larvas de araña roja <i>T. urticae</i>	38
Cuadro 7. Promedio de mortalidad de larvas de <i>T. urticae</i> a diferentes concentraciones de AgNPs a las 24,48,72 y 96 horas después de la aplicación.....	39
Cuadro 8. Análisis de varianza del estudio de efectividad sobre larvas de <i>T. urticae</i> en cultivo de fresa en condiciones de laboratorio.....	40
Cuadro 9. Concentraciones letales, límites fiduciales y parámetros de confianza de nanopartículas de plata de síntesis verde sobre deutoninfas de araña roja <i>T. urticae</i>	41
Cuadro 10. Promedio de Mortalidad de deutoninfas de <i>T. urticae</i> a diferentes concentraciones de nanopartículas de plata de síntesis verde a las 24, 48, 72 y 96 horas después de la aplicación.....	42
Cuadro 11. Análisis de varianza del estudio de efectividad sobre deutoninfas de <i>T. urticae</i> en cultivo de fresa en condiciones de laboratorio.	43
Cuadro 12. Concentraciones letales, límites fiduciales y parámetros de confianza de nanopartículas de plata de síntesis verde y Abamectina sobre adultos de araña roja <i>T. urticae</i>	44
Cuadro 13. Promedio de Mortalidad de adultos de <i>Tetranychus urticae</i> a diferentes concentraciones de nanopartículas de plata de síntesis verde a las 24,48,72,96 horas después de la aplicación.....	45

Cuadro 14. Análisis de varianza del estudio de efectividad sobre de *T. urticae* en cultivo de fresa en condiciones de laboratorio..... 46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de nanomateriales de acuerdo con sus dimensiones (imágenes creadas por Michael Ströck. GNU Free Documentation License) (Gómez, 2018).	8
Figura 2. Tetranychus Urticae (CABI, 2020).	13
Figura 3. Huevos de T. urticae: 1) esférico; 2) recién ovipositado; 3) huevo con papila visible; 4) ocelos visibles de la larva.	15
Figura 4. Departamento de Parasitología de la UAAAN	24
Figura 5. Jaula donde se introdujeron plantas de fresa para la colonia de T. urticae.	25
Figura 6. Bioensayo de AgNPs con foliolos de Fresa. 1) inmersión de los foliolos; 2) foliolos sobre papel absorbente para quitar el exceso de humedad; 3) Charolas de plástico en el que se mantuvieron los foliolos.	28
Figura 7. Color de la mezcla antes (a) y después de la reacción (b).	30
Figura 8. Espectro de absorbancia UV -V IS de las nanopartículas de plata.	31
Figura 9. Micrografías obtenidas de TEM de las AgNps en escala de 100 nm (Izquierda) y 20 nm (Derecha).	32
Figura 10. Espectro EDAX de nanopartículas de plata sintetizadas utilizando el extracto de ruezno.	33
Figura 11. DLS histograma del tamaño de la distribución AgNPs (2mM/12H).	33
Figura 12. . Mortalidad (%) de huevos de T. urticae a diferentes concentraciones de nanopartículas de plata de síntesis verde y de Atzingao a 96hrs.	36
Figura 13. Efectos de AgNPs en huevo de araña roja T. urticae.	37
Figura 14. Promedio de mortalidad de larvas de T. urticae a diferentes concentraciones de AgNPs a las 24,48,72,96 h.	39
Figura 15. Efectos de AgNPs en estado larval de T. urticae	40
Figura 16. Mortalidad de Deutoninfas de T. urticae a diferentes concentraciones de nanopartículas de plata de síntesis verde a las 24, 48, 72 y 96 h.	42
Figura 17. Efecto de AgNPs en deutoninfas de T. urticae	43
Figura18. Mortalidad de adultos de Tetranychus urticae a diferentes concentraciones de nanopartículas de plata de síntesis verde a las 24,48,72,96 h.	45
Figura 19. Efectos de AgNPs en adultos de T. urticae.	46

Figura 20. Efecto de AgNPs en huevo de *T. urticae* 1) cambio de coloración, 2) huevo sin efecto..... 48

Figura 21. Efecto del estrés oxidativo en *T. urticae* a causa de AgNPs..... 49

RESUMEN

El ácaro de dos puntos *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) es una de las plagas más importantes en la agricultura, afectando a numerosos cultivos como algodón, maíz, soya, jitomate, pimiento, pepino, fresa, manzana, pera, vid y flores, entre otros. Es una plaga de importancia económica en México y a nivel mundial. Se trata de una especie cosmopolita, de alta capacidad de reproducción y numerosos hospederos. El uso excesivo de pesticidas químicos ha ocasionado desarrollo de la resistencia a múltiples moléculas, lo que ha dificultado el manejo de este artrópodo plaga. Dentro de las herramientas de manejo encontramos avances nanotecnológicos como el uso de nanopartículas (NPs). El objetivo fue evaluar el efecto acaricida de NPs de plata de síntesis verde sobre *T. urticae* en condiciones de laboratorio. En los bioensayos se utilizaron ácaros en fresa (*fragaria x ananassa*) var. San Andreas. Los ensayos se realizaron con el método de inmersión de hoja. Se determinaron las concentraciones letales (CL₅₀ y CL₉₅) sobre diferentes etapas del ácaro (huevos, larvas, deutoninfas y adultos). La CL₅₀ en huevos fue de 596 mg/L, en larvas 163 y 50.5 mg/L a 24 y 48 h respectivamente; en deutoninfas 626, 288, 116, 61 mg/L a 24, 48, 72 y 96 h respectivamente y en adultos 560, 288, 134, 47.1 mg/L a 24, 48, 72 y 96 h respectivamente, mientras que la CL₉₅ en huevos fue de 1492 mg/L; en larvas 917, y 931 mg/L a 24 y 48 h respectivamente; en deutoninfas, 49193, 41269, 2979, 2555 mg/L a 24, 48, 72 y 96 h respectivamente y en adultos 5665, 7353, 3239, 3434 mg/L a 24, 48, 72 y 96 h respectivamente. Las NPs de plata de síntesis verde lograron disminuir la población de araña roja con alta toxicidad mostrando diferentes efectos en todos los estadios. Las NPs de plata intervinieron en la actividad de enzimas antioxidantes y desintoxicantes, lo que explica el estrés oxidativo y muerte celular de los individuos. El uso de NPs basadas en síntesis verde son una alternativa al manejo de *T. urticae*.

Palabras clave: Efecto acaricida, nanopartículas, nanotecnología, síntesis verde, *Tetranychus urticae*.

INTRODUCCIÓN

La fresa *Fragaria* spp. pertenece a la familia *Rosaceae*. Es originaria de las regiones templadas del mundo y se caracteriza por ser una planta de tipo herbáceo, el sistema radicular es fasciculado, compuesto de raíces y raicillas. Se trata de una frutilla pequeña y con numerosas hojas en una sola corona muy corta. Sus flores son blancas, cáliz y pétalos redondos de cinco piezas, con numerosos estambres y pistilos. La fresa tiene muchas propiedades, se aprecia especialmente su color rojo y dulce sabor, además de su aroma característico (SIAP, 2023).

Más de la mitad de la producción nacional de fresa es destinada al mercado externo con un promedio de 51.4%, por lo que la fresa es un producto exitoso en el comercio internacional. México ocupa el tercer lugar de exportadores de fresa fresca que abastece al Mercado Internacional. El destino comercial es dirigido a 28 naciones, teniendo a Estados Unidos como cliente principal (SIAP, 2016; SIAP, 2023).

Para México, el cultivo de fresa es de gran importancia socioeconómica por su fuerte demanda de mano de obra y la alta proporción de ingresos que genera las divisas obtenidas por el país a través de las exportaciones de fresa (Sánchez, 2008), con un valor 1,139 millones de dólares (SIAP,2023).

En el país, los estados de Michoacán, Guanajuato, Baja California, Jalisco y Edo. México son las principales entidades que más volumen de producción generan. En el año 2022 el país obtuvo 578 mil toneladas de fresa, 6.5% más que el promedio del año anterior, con un valor de 13,965 millones de pesos. Entre 2017-2022 México generó 624 mil toneladas de fresa, ubicándose en el cuarto lugar dentro de las cinco principales naciones productoras de fresa a nivel mundial (SIAP, 2023).

La producción de fresa se encuentra permanentemente expuesta al ataque o competencia de agentes de diversos orígenes. Entre las plagas de mayor importancia para este cultivo se encuentran: araña roja o acaro de dos manchas

Tetranychus urticae Koch (Acari: Tetranychidae); gallina ciega *Phyllophaga* spp. Harris (Coleoptera: Scarabaeidae); trips *Frankliniella occidentalis* Pergande (Thysanoptera: Thripidae) y gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* Walker (Lepidoptera: Noctuidae) (SEMARNAT, 2008).

Lola-Luz (2003) menciona que el ácaro de dos manchas *T. urticae* es una de las plagas de mayor importancia en el cultivo de fresa tanto a nivel nacional como a nivel mundial, la cual reduce el vigor y calidad de la planta, y con ello disminución en el rendimiento del fruto.

Urbaneja-Bernat *et al.* (2019) mencionan que el manejo de *T. urticae* se vuelve más desafiante a medida que el mundo va experimentando el cambio climático, es decir se verá reflejado en el aumento de la temperatura y condiciones cada vez más secas. Las altas temperaturas favorecen el desarrollo de los ácaros, aceleran su ciclo de vida convirtiéndose en problema difícil de controlar (INTAGRI, 2017).

Existen pocos acaricidas (químicos) que pueden usarse durante el período de cosecha debido a que presentan tiempos prolongados de residualidad. *T. urticae* puede desarrollar resistencia a numerosos plaguicidas, ocasionando que su control químico sea más difícil (Bagnara y Vicent, 1988). Según la base de datos de la Universidad de Minnesota, esta plaga ha presentado resistencia a 95 ingredientes activos de insecticidas y acaricidas (Whalon *et al.*, 2008).

El término nanotecnología (NT) se refiere a un amplio campo de actividad tecnológica centrado en la ingeniería y manipulación de objetos a nanoescala, con dimensiones de hasta 100 nanómetros (nm) (Wood *et al.*, 2007).

Las nanopartículas de plata (AgNPs) tienen una amplia gama de aplicaciones, las cuales dependen de su tamaño, forma y estabilidad. Su uso se encuentra enfocado en áreas como la biotecnología, bioingeniería, medicina, ingeniería textil, tratamiento de agua y productos de consumo a base de plata. Se han realizado investigaciones y se ha logrado buenos efectos como bactericida, bacteriostático y también como fungicida (Esquivel y Mas-Diego, 2021).

Existen investigaciones que mencionan el efecto de AgNPs, obteniendo buenos resultados contra diferentes organismos (Pavela *et al.*, 2017; Vrandecic *et al.*, 2020).

Se estudió la actividad biológica de las nanopartículas de plata contra diversas plagas agrícolas y de salud pública. La actividad insecticida de AgNPs se probó en diferentes insectos (Athanassiou *et al.*, 2018) y la actividad acaricida de AgNPs se probó contra la garrapata del ganado *Rhipicephalus* (boófilo) *microplus* (Santhoshkumar *et al.*, 2012; Avinash *et al.*, 2017). Hay pocos informes sobre la actividad acaricida de AgNPs contra los ácaros fitófagos (Pavela *et al.*, 2017; Al-Azzazy *et al.*, 2019).

Jalalizand *et al.* (2013) investigó el efecto de AgNPs en *T. urticae* utilizando dos métodos diferentes (pulverización de hojas e inmersión de hojas) en condiciones de laboratorio obteniendo resultados positivos.

Efectos contrarios de la síntesis de nanopartículas (NPs) han sido asociados con la toxicidad de los métodos físicos y químicos, esto se debe a la presencia de sustancias tóxicas absorbidas en la superficie de la nanopartícula (Gómez, 2018).

Hoy en día existen alternativas que son de reducido impacto para medio ambiente, cuando hablamos de ello nos estamos refiriendo a métodos biológicos; en este caso para la síntesis de nanopartículas se usan microorganismos, enzimas, hongos y extractos de plantas (Gómez, 2018).

Además, la síntesis de nanopartículas aporta muchos beneficios potenciales a la agricultura utilizando productos de origen botánico. Se usan varios tensioactivos, polímeros y nanopartículas metálicas de tamaño nanométrico para su producción (Kah *et al.*, 2013; Ragaie y Sabry, 2014; Shaban *et al.*, 2020).

Se ha explorado las NPs en la protección de cultivos, para el control de plagas en ambientes agrícolas y urbanos, usándose como insecticidas y feromonas ya que son portadoras de una amplia gama de ingredientes activos. Finalmente, las

NPs producidas de fuentes naturales, son aún más prometedoras en el control de plagas (SENASICA, 2017).

Justificación

Se busca alternativas para el manejo de plagas, que sean de reducido impacto en el medio ambiente y a salud humana, que sean económicas y efectivas en un manejo integral de plagas.

Objetivo

Evaluar el efecto acaricida de nanopartículas de plata de síntesis verde sobre *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) bajo condiciones de laboratorio.

Hipótesis

Tetranychus urticae será susceptible a las AgNPs en concentraciones menores a 1000 mg/L en sus diferentes estadios.

REVISIÓN DE LITERATURA

Nanotecnología

Para entender que es la nanotecnología, primero habría que definir el prefijo griego “*nano*” que en términos sencillos significa “enano”, el concepto denota una amplia gama de fenómenos y objetos cuyas dimensiones aplicados a las unidades de longitud corresponde a una mil millonésima parte de un metro (1×10^{-9} m) que equivale a 1 nanómetro por la cual solo podríamos referirnos a átomos y moléculas (Mendoza y Rodríguez, 2007).

La nanotecnología es el diseño, la caracterización y la aplicación de estructuras, dispositivos y sistemas complejos mediante el control de la forma, el tamaño y las propiedades de la materia a escala nanométrica (Mendoza y Rodríguez, 2007).

Abarca una amplia gama de herramientas, técnicas y aplicaciones potenciales; entre las disciplinas que se incluyen están: la química, la física, biología, medicina e ingeniería, etc. (Mendoza y Rodríguez, 2007).

Actualmente, los campos de aplicación de la nanotecnología son tan amplios que casi no hay sector económico donde sus logros actuales y sus predicciones futuras no estén presentes. Las aplicaciones de la nanotecnología se pueden ver en las siguientes áreas: la electrónica, la fotónica, en el sector automotriz y aeroespacial, en construcción, en el sector energético, en la alimentación, en la agricultura, en el sector biotecnológico, en la salud humana y animal, entre otros (Tutor, 2016).

Como avance tecnológico la nanotecnología podría transformar el sector agrícola, proporcionando herramientas para la detección rápida de enfermedades de los cultivos y mejorar la capacidad de las plantas para absorber nutrientes y crecer más rápido. La nanotecnología ofrece amplias oportunidades a la agricultura para producir productos agrícolas como nanofertilizantes, nanopesticidas,

nanoherbicidas y nanosensores, que mejorarán la producción de alimentos de forma sostenible y al mismo tiempo reduciendo el impacto ambiental. Se espera que esta revisión crítica pueda proporcionar información básica sobre los antecedentes de la investigación en tecnología agrícola, lo que permitirá avanzar en las aplicaciones experimentales de nanopartículas en la agricultura orgánica (Lira *et al.*, 2018).

Las nanopartículas metálicas como cobre, zinc, hierro, plata; y sustancias derivadas del carbono juegan un papel importante en los efectos fisiológicos y bioquímicos en las plantas, por lo que también se pueden utilizar en empaques de productos en anaquel o postcosecha y así prolongar la vida útil de los alimentos. También se usan para nanosensores, nanopesticidas, nanofertilizantes y mejora genética de cultivos genéticamente modificados de plantas (Lira *et al.*, 2018).

Nanopartículas en la Agricultura

En la actualidad, la agricultura enfrenta grandes problemas de contaminación ambiental, resistencia a plagas, bioacumulación y riesgos para la salud, es por ello que las nanopartículas se han presentado como una herramienta ofreciendo nuevos métodos para la formulación e ingredientes activos que ayudan a lograr el objetivo que es reducir la aplicación de agroquímicos (Hayles *et al.*, 2017; Shukla *et al.*, 2019).

En la agricultura, las nanopartículas ayudan a prevenir y tratar enfermedades de las plantas, incluidas:

- Detección y control de vectores y plagas.
- Monitoreo de enfermedades.
- Sistemas inteligentes que transportan y suministran con precisión sustancias terapéuticas como antibióticos, fungicidas, antivirales etc. a escala manométrica (Sharon *et al.*, 2010).

Con la aplicación a gran escala de nanopartículas se puede lograr una agricultura de precisión, y de esa manera mejorar la productividad agrícola y reducir el costo (Pestovsky y Martínez, 2017).

Productos para uso agrícola derivados de nanopartículas están desempeñando un papel importante para mejorar el crecimiento de las plantas y la productividad de los cultivos. En comparación con los productos químicos y técnicas tradicionales; estos productos nanoparticulados cuentan con muchas cualidades como tamaño compacto, fácil de transportar, fácil manejo, almacenamiento prolongado, alta efectividad y no toxicidad, por estas razones los convierten en una opción preferida para los agricultores (Singh *et al.*, 2021).

Nanomateriales

Los denominados nanomateriales son un nuevo campo científico surgido para el diseño, fabricación y expansión de nanoestructuras o nanomateriales para lograr una comprensión básica de la relación entre las propiedades o fenómenos físicos y químicos de los materiales y su tamaño (Cao, 2004).

Los nanomateriales se definen como productos químicos o materiales utilizados y fabricados a pequeña escala. Estos productos están desarrollados para exhibir características como mayor resistencia, reactividad química o conductividad comparado con otras versiones del mismo material a escalas mayores (European Comission, 2016).

La Agencia Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2007) divide los nanomateriales en cuatro categorías según sus componentes principales. Los basados en carbono con forma elíptica o esférica se denominan fullerenos, mientras que los cilíndricos se denominan nanotubos. Los materiales a base de metales incluyen puntos cuánticos, nanopartículas de oro y plata y óxidos metálicos como el dióxido de titanio (EPA, 2007; Valizadeh *et al.*, 2012; Abbasi *et al.*, 2014; Bhatia, 2016).



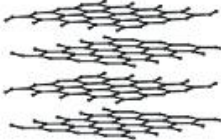
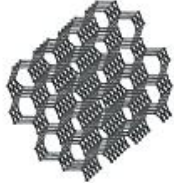
Estructura	Nanomateriales
<p data-bbox="505 226 716 254">Cero dimensional (0D)</p> 	<ul data-bbox="834 226 1068 428" style="list-style-type: none"> - Fullerenos - Partículas coloidales - Puntos cuánticos (Qdots) - Nanoclusters - Nanopartículas de Au y Ag
<p data-bbox="509 459 711 487">Uni dimensional (1D)</p> 	<ul data-bbox="834 470 1057 627" style="list-style-type: none"> - Nanocables y nanofibras - Nanotubos - Nanovarillas - Fibras poliméricas
<p data-bbox="514 674 706 701">Bi-dimensional (2D)</p> 	<ul data-bbox="834 667 1097 869" style="list-style-type: none"> - Monocapas - Nanorrecubrimiento - Películas poliméricas (nano) - Superficies espesor <100nm - Películas multicapa
<p data-bbox="514 907 706 934">Tri-dimensional (3D)</p> 	<ul data-bbox="834 913 1089 1115" style="list-style-type: none"> - Materiales nanoestructurales - Policristales - Nanobolas - Nanobobinas - Nanoflores

Figura 1. Clasificación de nanomateriales de acuerdo con sus dimensiones (imágenes creadas por Michael Ströck. GNU Free Documentation License) (Gómez, 2018).

Interacción entre Nanopartículas y Plantas

En base a la composición química de las propiedades de nanopartículas, como, el tamaño, la estabilidad, etc., se pueden determinar la capacidad para que puedan ingresar a las células vegetales. Resulta que la pared celular de las células vegetales, que está compuesta de celulosa, carbohidratos y proteínas, es el sitio inicial de interacción con las nanopartículas, y su composición química también es importante para seleccionar el tipo de nanopartículas que pueden ingresar a la célula. Además, debido a la capacidad semipermeable de la pared celular, algunas

nanopartículas más pequeñas pueden atravesarla, pero las nanopartículas más grandes no (Duhan *et al.*, 2017).

Las nanopartículas son promotores del crecimiento, pero también pueden proteger contra ciertos hongos y bacterias fitopatógenas y reducir la aplicación de pesticidas químicos que afectan las plantas, es decir, las nanopartículas protegen al mismo tiempo ayudan al cultivo y no afecta a la planta (DiCYT, 2016).

Se han realizado diversos experimentos en el sector agrícola para conocer el tamaño óptimo, forma y concentración de las NPs aplicadas a las plantas con el fin de mejorar su penetración y translocación vascular por los haces vasculares del xilema y floema (Da Costa y Sharma, 2016). Cuando las nanopartículas se aplican a las hojas de las plantas en forma de aerosoles, pueden penetrar los tejidos de las plantas (Wang *et al.*, 2013), atraviesan primero los estomas y luego al floema para llegar a diferentes tejidos de las plantas (Jalali *et al.*, 2017).

Nanopartículas Metálicas y Nanopartículas de Síntesis Verde

El estudio de los diferentes métodos de síntesis de nanopartículas se destaca por su gran importancia como componente esencial en el desarrollo de las investigaciones en nanociencia y nanoingeniería. La síntesis de nanopartículas metálicas tiene una gran importancia en relación con sus prometedoras aplicaciones, debido a sus propiedades optoelectrónicas, térmicas, magnéticas y su alta capacidad catalítica. Las nanopartículas metálicas son creadas a partir de diferentes tipos de metales como lo son: oro, hierro, platino o de óxidos metálicos. Unas de las más usadas y caracterizadas son las sintetizadas a partir de iones de plata (AgNPs), debido a sus propiedades físicas (conductividad), químicas (estabilidad) y biológicas (actividad catalítica y antimicrobiana) (Bapat, 2018).

La síntesis verde o síntesis biogénica, también llamada síntesis biológica es una técnica que ha surgido como alternativa de bioproducción de material nanoparticulado junto con material metálico (oro, plata, hierro y óxidos metálicos),

basada en la reducción de nanopartículas con especies naturales que contienen poder antioxidante. Esta técnica busca ser amigable al medioambiente debido a las altas contaminaciones que día con día van en aumento, ya que la producción tradicional de nanopartículas utiliza materiales tóxicos como disolventes y surfactantes (Boroumand *et al.*, 2015; Kasithevar *et al.*, 2017).

Efecto Insecticida y Acaricida de las Nanopartículas Metálicas y de Síntesis Verde

Hoy en día, la nanotecnología se encuentra en etapa inicial de desarrollo como una herramienta que promete el control de plagas (Pérez y Rubiales, 2009; Parr *et al.*, 2010; Stadler *et al.*, 2010).

Ali (2023) deduce que no se cuenta con mucha información sobre las razones por la cual las nanopartículas tienen mayor toxicidad en bajas concentraciones. En su última revisión mencionó que la toxicidad de las nanopartículas no se basa en sus propiedades fisicoquímicas (forma, tamaño, área superficial, carga superficial, solubilidad, entre otras). Proporcionó la siguiente hipótesis “la fuente de toxicidad de las nanopartículas se basa en átomos/iones/moléculas”.

La reducción del tamaño de la partícula de una sustancia se traduce en el aumento de la relación superficie/volumen por unidad de peso, que se correlaciona con el incremento en la toxicidad del material (Paull y Lyons, 2008); característica que ha sido capitalizada por algunos investigadores al aplicar nanopartículas para el control de diferentes microorganismos e insectos.

Hasta la fecha las nanopartículas metálicas han sido de los nanomateriales más probados y eficaces utilizados para el control de plagas. Estas nanopartículas sirven como transportadoras para llevar agroquímicos al sitio de interés (Gupta *et al.*, 2018; Gour *et al.*, 2019). Hoy en día, las nanopartículas de plata aseguran un mejor control de patógenos vegetales en comparación con los fungicidas químicos (Park *et al.*, 2006). Dicho control se debe a las nanoformulaciones avanzadas que

hasta ahora se tienen, estas se basan en nanos que permanecen en el entorno objetivo ya que no se ven muy afectadas por la lluvia, el calor y los rayos del sol. Penetran en el organismo objetivo (ácaros), son inofensivos para las plantas, para los enemigos naturales y los mamíferos, su formulación y fabricación son más rentables (Benelli, 2016).

La síntesis verde de nanopartículas de plata han demostrado propiedades insecticida confiables contra diversas plagas de insectos basadas en investigaciones utilizando productos botánicos como agentes reductores (Parthiban *et al.*, 2019).

Mecanismo de acción de las Nanopartículas de plata sobre insectos y ácaros

A partir de estudios actuales, Benelli (2018) señala los mecanismos de acción de las nanopartículas contra los insectos. Una de ellas es que las nanopartículas de plata tienen efectos significativos sobre las enzimas antioxidantes y desintoxicantes de los insectos, lo que provoca estrés oxidativo y muerte celular. También se ha demostrado que reducen la actividad de la acetilcolinesterasa.

Los AgNPs muestran una acción sistémica, ya que tiene la capacidad de penetrar los espacios intercelulares y trasladarse a través de los tejidos vasculares (Tripathi *et al.*, 2017). En ácaros fitófagos, los AgNPs llegan a afectar mediante la ingestión mientras estos se alimentan de la savia de las plantas y mediante el contacto cuando se arrastran sobre las hojas y frutos rociados, o bien en el ingreso directo de las gotitas del rociado. La mayor actividad de los AgNPs hacia los ácaros fitófagos, se explica en la capacidad que tienen las nanopartículas para penetrar la pared delgada del cuerpo, y las membranas del esqueleto o a través de las aberturas del cuerpo. Una vez que las AgNPs introducen, llegan a afectar varios biositios provocando así la muerte final (Zannou *et al.*, 2007).

La toxicidad de AgNPs puede deberse a la penetración de nanopartículas en el exoesqueleto (Rai *et al.*, 2014). Así, en muchas regiones celulares, los materiales a nanoescala se unen al azufre de las proteínas o al fósforo del ADN, provocando una rápida desnaturalización de órganos y nutrientes. Llegando a provocar daños y muerte celular debido a la alteración de la membrana y la transferencia de protones (Jiang *et al.*, 2015; Benelli 2016b).

Alvarado *et al.* (2014) mencionaron que el mecanismo de acción varía dependiendo de las características de las partículas sintetizadas (tamaño, morfología, recubrimientos), condiciones experimentales (luminosidad, temperatura, pH, concentración de oxígeno) y el tipo de microorganismos empleado. Por ejemplo, algunos autores señalan la liberación de especies reactivas de oxígeno (ROS) como la causa principal.

Generalidades de *Tetranychus urticae*

La araña roja o también llamada araña de dos puntos (*Tetranychus urticae*) es una plaga que afecta a diversos cultivos en todo el mundo. Debido a su fuerte capacidad reproductiva, pueden causar graves daños en poco tiempo. Existen más de 1200 especies de ácaros y varias de ellas se consideran plagas de suma importancia, *T. urticae* es una de ellas (Koppert, 2023).

Tetranychus urticae es una especie de acaro que corresponde al grupo de las plagas más importantes en la agricultura, al igual que los áfidos, trips y algunas especies de palomillas, entre otros. Las plagas más importantes antes mencionadas cumplen con características como: movilidad, hábitos polívoros, ciclo de vida corto y estadios quiescentes, tasa de natalidad y mecanismo de defensa; estas características están relacionadas con su estilo de vida, producto de la adaptación a ambientes en permanente cambio o procesos de sucesión ecológica (Torrado, 2010).

El ácaro es una plaga cosmopolita y altamente polífaga afectando a casi todos los cultivos protegidos y al aire libre. Su importancia se debe en parte a que los nuevos pesticidas reducen sus enemigos naturales y/o hacen que las plantas sean más favorables para su desarrollo, y parcialmente a la asombrosa velocidad con la que adaptan sus mecanismos de resistencia contra agentes químicos para su control (Little *et al.*,1972).



Figura 2. *Tetranychus Urticae* (CABI, 2020).

Clasificación taxonómica

Según EPPO (2020) es la siguiente:

Phylum: Arthropoda

Clase: Arachnida

Orden: Acarida

Familia: Tetranychidae

Género: *Tetranychus*

Especie: *Tetranychus urticae*

Nombre científico: *Tetranychus urticae* Koch.

Distribución

Tetranychus urticae se ha registrado en la mayoría de los países del mundo; varios países de Europa, Asia, África, Australasia, Islas del Pacífico del Caribe, Norte, Centro y Sur América (CABI, 2020).

En México, Teliz y Castro (1973) mencionan que se reportan daños de araña roja en las zonas freseras de Irapuato, Guanajuato y Zamora, Michoacán; presentándose en menor grado en los estados de Jalisco, México, Puebla y Querétaro.

Biología

T. urticae es un ácaro fitófago con un potencial alto en reproducción, un ciclo de vida corto, tasa rápida de desarrollo y capacidad de rápida dispersión. Este ácaro puede presentar diferentes características morfológicas como: su color, que puede llegar a variar de acuerdo con su régimen alimenticio, factores ambientales, planta huésped y estado de desarrollo (Sá-Argolo, 2012).

El ciclo biológico comprende el tiempo transcurrido que va desde la etapa de huevo a la primera oviposición de la hembra. La duración en promedio total del ciclo o desarrollo es de 12.24 días, con una mínima de 10.77 días y máximo 13.18 días. Por su ciclo de vida corto, *T. urticae* es considerada como una especie multivoltina (Reséndiz y Castillo, 2018).

La reproducción de los ácaros de *T. urticae* se lleva a cabo mediante partenogénesis de tipo arrenotoquia en la que los machos se desarrollan a partir de huevos no fecundados (haploides) y las hembras se desarrollan a partir de huevos fecundados (diploides). Cada hembra adulta puede llegar a ovipositar entre 100-120 huevos, con una tasa de 3-5 huevos por día. Sin embargo, estos datos varían según

la cantidad y calidad del alimento, o bien dependiendo de las condiciones ambientales en las que se encuentren (Zhang, 2003).

Ciclo de vida

Badii *et al.* (2011) concluyen que los días de desarrollo para cada etapa biológica: huevo (0.5-3 días), larva (3-5 días), protoninfa (3- 5 días), deutoninfa (2-3 días) y adulto, sin olvidar que entre cada fase existe una fase inactiva o también llamado período quiescente, en la que adoptan una posición característica, recibiendo el nombre de crisalis (protocrisalis, deutocrisalis y teliocrisalis). La quiescencia está delimitada por el desprendimiento de las exuvias, durante este proceso los ácaros habrían formado una nueva cutícula.

Una generación se puede llegar a completar en una semana cuando las condiciones ambientales son adecuadas y el alimento es favorable (Godfrey, 2011).

Huevo

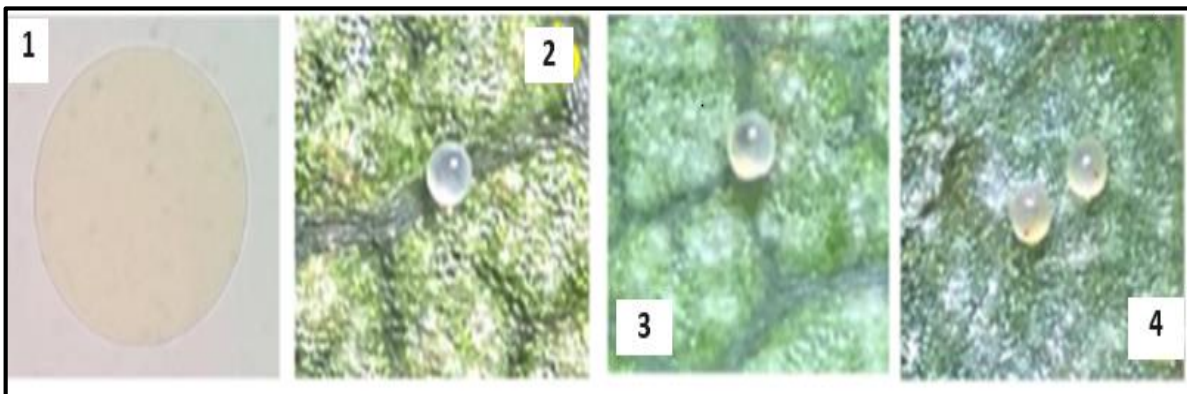


Figura 3. Huevos de *T. urticae*: 1) esférico; 2) recién ovipositado; 3) huevo con papila visible; 4) ocelos visibles de la larva.

El huevo llega a medir de 0.13 mm de diámetro y se transluce entre los hilos de tela que el ácaro teje en el envés de las hojas (dos Santos *et al.*, 2014; CABI, 2020).

El huevo recién ovipositado es esférico, hialino con un patrón de manchas; 36 horas después, este se torna opaco, posteriormente color blanco, hasta observarse de color amarillento, durante esta etapa se forma una pequeña papila en uno de los extremos, 72 horas después se aprecian dos puntos de color rojo que próximamente serán los ocelos de la larva a emerger (Reséndiz y Castillo, 2018).

Larva

La larva es redonda y a medida que se va desarrollando pierde su forma redondeada (Jeppson *et al.*, 1975). Recién emergida es de color cristalino, con tres pares de patas, horas después toma un color amarillento y más tarde se torna de color verde como consecuencia de su alimentación, posteriormente entra en periodo de quiescencia, proyectando hacia adelante el primer y segundo par de apéndices, el tercero proyectado hacia atrás (Reséndiz y Castillo, 2018).

Protoninfa

La emergencia de la protoninfa se puede ir diferenciando cuando la larva quiescente está en momificación, es decir la cutícula se torna brillante y de apariencia quebradiza. Al comienzo de la emergencia, la cutícula vieja se divide en dos partes. La protoninfa se desprende primero de la parte anterior de la exuvia, estando adherida a la hoja retrocede y queda libre fácilmente. La protoninfa presenta cuatro pares de patas, son de color crema, en algunas ocasiones se pueden llegar o no a observarse dos manchas en el idiosoma (Reséndiz y Castillo, 2018).

Deutoninfa

La Deutoninfa es muy similar a la protoninfa por lo que es difícil diferenciarla. La deutoninfa también presenta cuatro pares de patas, tiene forma globosa, más alargada y de color crema, en comparación con la protoninfa, es más

evidente el par de manchas en el idiosoma (Reséndiz y Castillo, 2018) y de tamaño un poco más grande (Hernández, 1978).

Adultos

Los adultos de *T. urticae* presentan dimorfismo sexual, siendo las hembras ovaladas y los machos con la extremidad posterior del idiosoma más estrecho, con aproximadamente 300 µm de longitud (Dos Santos *et al.*, 2014; CABI, 2020).

1) Hembra

Las hembras adultas pueden llegar a medir 0,5-0.6 mm de longitud, de color amarillento, verdoso o rojas con dos manchas oscuras en los laterales del dorso, la coloración varía dependiendo la función del clima, sustrato y edad (Malais, 1995); su cuerpo es redondeado con estrías dorsales más anchas que altas (Reséndiz y Castillo, 2018); en el abdomen presentan 26 setas dorsales lanceoladas y curvadas hacia atrás. Sus ojos son de color rojo carmín (Jeppson *et al.*, 1975; Hernández, 1978).

2) Macho

El macho se diferencia de la hembra por su tamaño más pequeño llegando a medir 0.3 mm de longitud (Malais, 1995) y por su color más pálido de color crema con manchas grises en el dorso casi imperceptibles, resaltando los ocelos; son más activos que las hembras y no producen telaraña (Jeppson *et al.*, 1975; Krantz, 1978; Hernández, 1978).

Principales Daños y Hospederos

Gotoh *et al.* (1993) afirma que se ha reportado a *T. urticae* en más de 900 plantas hospedantes en todo el mundo. Entre los hospedantes se incluyen más de 100 especies cultivadas, como algodón, maíz, soya, jitomate, pimiento y numerosas especies de árboles frutales y ornamentales (Bolland *et al.*, 1998). Mientras tanto CABI (2020) menciona que en invernadero se hospedan en cultivos de jitomate, pepino, pimiento, flores como crisantemos y orquídeas. En el cultivo de fresa ya sea en bajo cubierta y en campo abierto, se considera un serio problema. En campo también se han reportado daños en cultivos frutales, como en manzanas, peras y vides.

Comúnmente los ácaros comienzan alimentándose del envés de las hojas (Sadrás *et al.*, 1998), introduciendo su estilete en los tejidos de las plantas provocando un daño mecánico el cual consiste en la destrucción del contenido celular de la hoja donde los cloroplastos desaparecen y se aglutinan (Jeppson *et al.*, 1975), los estomas se cierran afectando la transpiración, la fotosíntesis (De Angelis *et al.*, 1983), el crecimiento de la planta y sus frutos (Felipe, 2003). Los daños se manifiestan con la aparición de zonas enrojecidas o cloróticas en hojas formadas. Cuando las densidades son elevadas dañan el aspecto del cultivo debido a la producción de telaraña de adultos provocando que las hojas más viejas lleguen a desecarse y defoliarse (Koppert, 2023).

Las telarañas de ácaros tejidas por hembras son telas sedosas, que protegen a huevecillos, larvas, ninfas y fases inmóviles (Takeda *et al.*, 2020).

Esta plaga puede ocasionar deshidratación masiva del follaje y muerte de las plantas en pocos días si no se toman las medidas adecuadas para su manejo, rebasando así los umbrales económicos de los cultivos afectados como frutales y hortalizas (Goodwin *et al.*, 1995).

Cuando la infestación es alta no sólo pueden verse ácaros en las hojas sino hasta en las flores, provocando defoliación y flor de baja calidad (Romero, 1996).

El daño en las plantas causados por los ácaros va a depender de sus hábitos alimenticios, de las condiciones del medio, del estado fisiológico de la planta y de la naturaleza, de las sustancias inyectadas como toxinas o reguladores de crecimiento (Jeppson *et al.*, 1975).

La población se va a incrementar cuando las temperaturas sean altas y las condiciones de humedad sean favorables alcanzando graves daños que perjudiquen a la planta hospedera. En climas fríos, se presentan bajas actividades por *T. urticae* y en zonas templadas pueden presentarse en cualquier época del año (García-Marí y Ferragut, 2002; Aucejo-Romero, 2005).

Estrategias de control de *Tetranychus urticae*

Control cultural

Las medidas culturales que se recomiendan es la eliminación de cultivos anteriores y malezas, emplear abonos con dosis que estén equilibradas. De igual manera vigilar los estados de crecimiento de la planta más tempranos, ya que es ahí donde se producen los mayores daños (Aguilar *et al.*, 2011). Algunos otros controles culturales pueden ser la rotación de cultivos, el empleo de variedades resistentes o tolerantes, manejo del riego, entre otras (Sá-Argolo, 2012).

Control biológico

Tetranychus urticae ha sido objeto de algunos de los ejemplos más exitosos de control biológico. El depredador utilizado con mayor frecuencia ha sido

el ácaro fitoseítido *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae). En áreas donde se ha establecido el ácaro, se requieren liberaciones aumentativas para mantener el control (CABI, 2020).

CABI (2020) señaló haber encontrado una gran cantidad de agentes de control biológico contra *T. urticae*, con un total de 170 reportes, de los cuales 157 corresponden a depredadores, 11 a entomopatógenos y 2 a parasitoides. Sin embargo, una de las medidas de control más comúnmente utilizadas en condiciones de invernadero y campo es *P. persimilis* y *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae).

Doreste (1984) citó algunos informes sobre el trabajo de control biológico de Oatman (1977) quien demostró que los ácaros *P. persimilis* y *N. californicus*, pueden reducir significativamente el número de ácaros de *T. urticae* en el cultivo de fresa mediante su liberación en grandes cantidades. Por otro lado, Helle y Sabelis (1985) mencionaron que *P. persimilis* es el depredador más comúnmente utilizado para controlar la araña roja de dos manchas en invernaderos.

Actualmente, *P. persimilis* se usa como depredador para el control de *T. urticae* en países como: USA, Canadá, Rusia, Japón, Israel, entre otros sobre plantas de chile, tomate, pepino, berenjena y fresa, además sobre algunas plantas ornamentales como rosal y crisantemo (Badii *et al.*, 2010).

Control químico

Tradicionalmente el control de la araña roja se ha basado en el uso de sustancias sintetizadas químicamente, sin embargo esto no es muy satisfactorio, por lo que se adoptó el uso de mezclas y se incrementaron las dosis recomendadas, por otra parte es un riesgo que se toma por las restricciones en cuanto a límites máximos de residuos, por lo cual se deben de buscar otras alternativas más ecológicas, inocuas y que no pongan en riesgo la comercialización y salud del consumidor (Cerna *et al.*, 2005).

Dentro de las herramientas en el manejo de araña roja, los productos que más se usan son: azufre y abamectina. El primero se usa frecuentemente y se aplica cuando existen densidades de poblaciones bajas; mientras que el segundo se utiliza cuando la densidad ha aumentado (IRAC, 2021).

Existen diversas herramientas que se distribuyen en modos de acción recomendados por el IRAC, (2021) que pueden coadyuvar en el manejo de *T. urticae*, se muestran en el siguiente cuadro (Cuadro 1).

Cuadro 1. Acaricidas recomendados en el control de *T. urticae*.

Ingrediente Activo	Grupo	Clasificación	Modo de acción
Malathion	Organofosforados	1B	Inhibidores de la acetil colinesterasa
Bifentrina	Piretroides	3A	Moduladores alostericos de los canales de cloro dependientes de glutamato
GS-omega/kappa HXTX-Hv1a peptide	GS-omega/kappa HXTX-Hv1a peptide	32	Moduladores alostericos del receptor nicotínico de la acetil colina
Propargite	Órganos sulfuros	12 C	Inhibidores de la ATP sintasa mitocondrial
Clorfenapyr	Pyrroles	13	Desacopladores de la fosforilacion oxidativa
Acequinocyl, bifenazate	---	20	Inhibidores del transporte de electrones en el complejo mitocondrial III
Fenazaquin, pyridaben, tebufenpyrad	---	21	Inhibidores del transporte de electrones en el complejo mitocondrial I
Cypenopyrafen, cyflumetofen	Beta-Ketonitriles	25 A	Inhibidores del transporte de electrones en el complejo mitocondrial II
Clofentezine, hexythiazox, etoxazole	---	10	Inhibidores del crecimiento de ácaros
Flufenoxuron	Benzoylureas	15	Inhibidores de la biosíntesis de quitina
Spiromesifen, spirodiclofen	Derivados de ácidos tetronicos y tetramicos	23	Inhibidores de la acetyl CoA carboxilasa

Bifenazate. Es un ingrediente activo utilizado para el control de todos los estados de desarrollo de ácaros en diversos cultivos (Van Nieuwenhuysse *et al.*, 2012; IRAC 2021). En México se trata de un producto autorizado, recomendado para el control de *T. urticae* en cultivos de fresa, zarzamora, frambuesa, pepino, sandía, melón, manzano, papayo y jitomate (UPL, 2021).

Abamectina. Es un producto de fermentación natural de *Streptomyces avermitilis* (ex Burg et al.) Kim y Goodfellow) (Streptomycetaceae). Este ingrediente activo (i.a.) ha mostrado actividad nematocida, acaricida e insecticida. Comúnmente es más utilizada como acaricida, para el control de estados móviles de ácaros, especialmente de las familias Tetranychidae, Tarsonemidae, y Eriophyidae (Lasota, y Dybas, 1991) en cultivos de fresa, jitomate ornamental, manzano y peral (Syngenta, 2021).

Cyflumetofen. Es un acaricida que ha mostrado alta eficacia biológica en el control de ácaros en una amplia variedad de cultivos (Takahashi *et al.*, 2012) en jitomate, fresa, zarzamora, frambuesa, cítricos y rosa (BASF, 2021; Summit-Agro, 2021).

Azadiractina. Es un producto derivado del nim, con modo de acción sobre artrópodos, presentando efectos repelentes, antialimentarios, actúa como regulador de crecimiento, afecta el desarrollo, y la fecundidad del acaro, sin embargo, el IRAC (2021) lo ha catalogado dentro del grupo de modos de acción desconocido. Es recomendado para el control de *T. urticae* en rosal, fresa, zarzamora y frambuesa.

Extractos vegetales

Entre los extractos de plantas que actúan como acaricidas y que son más eficaces contra la arañita roja, tenemos: la manzanilla *Chamomilla recutita* (= *Matricaria Chamomilla* L.), la mejorana *Marorana hortensis* (= *Origanum majorana*) L., el eucalipto (Afify *et al.*, 2012), el nim *Azadirachta indica* A.Juss. (Meliaceae), considerada una de las plantas medicinales más versátiles y con un amplio espectro de actividad biológica (Lalitha *et al.*, 2013) con actividad acaricida (Du *et al.*, 2008;

Srivastava *et al.*, 2008). Por último, la canela, usado como insecticida y repelente de ácaros que además impide el desarrollo de hongos y bacterias (Huerta, 2018).

Nanoacaricidas de síntesis verde

Actualmente los nanomateriales de síntesis biológica han asumido un papel muy importante en el manejo de plagas (De *et al.*, 2014).

Síntesis AgNPs a base de soja. En laboratorio, se ha usado el extracto de la planta (extracto de semilla de soja) y un precursor (AgNO₃), en deutoninfa de araña roja, en diferentes concentraciones (1000, 750, 500, 250 y 100 ppm), con un testigo espiromesifen 240 SC a 2 ml/L como control estándar, registrándose datos de mortalidad significativos superiores de AgNPs de soja a 750 y 1000 ppm en 24hrs comparado con espiromesifen 240 SC a 2ml/L (Manoj y Patil, 2021).

Nanopartículas de óxido de silicio (SiO-NP) y nanopartículas de óxido de zinc (ZnO-NP) aplicados como estrategia de manejo ecológico de *T. urticae* en etapas de huevo y adultos sobre el cultivo de tomate, *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae). Se encontraron resultados positivos en la aplicación de SiO-NP y ZnO-NP en laboratorio a 100 ppm causando una mortalidad del 100% entre las hembras adultas a las 72 h después del tratamiento y en huevos a los 7 días después del tratamiento. En invernadero se obtuvo un área foliar dañada del 25% en las plantas no tratadas y del 0,7 y 0,9% en las plantas tratadas con SiO-NP y ZnO-NP a 5 ppm (Rasim *et al.*, 2021).

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del experimento

La investigación se realizó en el Laboratorio de Entomología Molecular y Alternativas de Control de Plagas (LEMyACP) e invernadero del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México (25° 21' 13"N, 101 °01 '56" O, 1610 msnm).



Figura 4. Departamento de Parasitología de la UAAAN

Colonia de *Tetranychus urticae*

Se utilizaron ácaros provenientes de plantas de fresa en jaulas de 60x60x60 cm, bajo condiciones de invernadero a $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, humedad relativa de $60 \pm 10\%$ (HR), fotoperiodo de 14:10 h luz: oscuridad (L: O), además de ventilación automatizada para reducir el calor y renovar el suministro de aire.



Figura 5. Jaula donde se introdujeron plantas de fresa para la colonia de *T. urticae*.

Manejo del material vegetal y Bioensayos

Se utilizaron plantas de fresa de la variedad San Andreas. Los estolones se trasplantaron en macetas de plástico de 10 kg en sustrato Peat Moss-Perlita en relación 2:1, se conservaron en condiciones controladas en invernadero (25 ± 2 °C, $60 \pm 10\%$ HR y fotoperiodo de 14:10 h L: O) dentro de una jaula (2mx3mx2m) con el fin de evitar que las plantas fueran afectadas por otros individuos. Las macetas se mantuvieron con una solución Steiner al 50% (NO_3^- 6 meq/L, H_2PO_4^- 1 meq/L, K^+ 6 meq/L, Ca^{++} 8 meq/L, Mg^{++} 4 meq/L, SO_4^{2-} 7 meq/L). Posteriormente foliolos de las plantas de fresa sin ácaros se usaron para los bioensayos de laboratorio.

Preparación de extracto acuoso de ruezno de nuez

La semilla de nuez fue retirada manualmente de los árboles de nogal *Carya illinoensis* (Wangenh.) después, la cáscara fue llevada al molino de bolas Crabby para obtener un polvo fino. La molienda obtenida se tamizó utilizando

tamices Tyler para lograr un polvo con tamaño de 250 μm . Previamente, la preparación acuosa se llevó a cabo en un matraz con fondo redondo, se suspendió 1 g de polvo en 200 mL de agua destilada y se calentó a 80 °C, con un tiempo de 2h. Al final las dispersiones se filtraron usando un filtro Whatman No.4. para obtener el extracto acuoso de cáscara de nuez de *C. illinoensis*.

Síntesis verde y caracterización de nanopartículas

Las nanopartículas de plata fueron sintetizadas en el Departamento de Ciencias Básicas de la UAAAN. Se sintetizaron a través del método de reducción directa a partir de extracto acuoso de ruezno de nuez *Carya illinoensis*. Se utilizaron 985 mL de agua destilada y 15 mL de extracto, posteriormente se mantuvo a 60 °C en un baño maría durante 10 minutos. Después, se usó como precursor Nitrato de plata (AgNO_3) con una cantidad de 1.69 gr, luego se mezcló con agitación magnética a 80 °C durante 2 h provisto de un refrigerante; este paso se llevó a cabo bajo obscuridad. Durante el proceso se fue observando un cambio de color. Al final la suspensión coloidal se centrifugó a 10 000 rpm donde se mantuvo en un horno de vacío a 120 °C durante 2 h antes de la caracterización.

La síntesis de las AgNPs se confirmó mediante espectroscopia UV-Vis y EDAX, mientras que la caracterización del tamaño y morfología se midió mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM) y análisis dinámico de luz (DLS).

Evaluación de Nanopartículas de plata sobre *Tetranychus urticae* bajo condiciones de laboratorio

En invernadero se colocaron plantas de fresa en una jaula de 60x60x60 cm y junto a estas se liberaron adultos de *T. urticae* durante 48 horas para su ovoposición, posteriormente a la eclosión se dio seguimiento hasta las etapas de larva, deutoninfa y adulto. En estas etapas se realizaron bioensayos.

Para la evaluación de la mortalidad se utilizó el método de inmersión de hoja, prueba No. 004 de susceptibilidad para araña roja *T. urticae* propuesto por IRAC (Comité de Acción de Resistencia a Insecticidas) (IRAC, 2009).

Cada bioensayo se efectuó en dos etapas: En la primera se determinó la ventana biológica utilizando concentraciones de 50-1400 mg/L, esta consistió en evaluar una serie de concentraciones de amplio rango para identificarla susceptibilidad del ácaro. La segunda etapa consistió en evaluar las concentraciones de nanopartículas y tres testigos (absoluto, químico y botánico).

Para las dos etapas se utilizaron folíolos de fresa en el que se transfirieron 10 ácaros en diferentes fases (larvas, deutoninfas, hembras adultas) esto con ayuda de un pincel y un microscopio estereoscopio binocular. Posteriormente los folíolos se sumergieron por cinco segundos en las diferentes concentraciones de nanopartículas, después fueron colocados sobre papel absorbente para quitar el exceso de humedad. Finalmente, los folíolos se colocaron con el envés hacia arriba sobre esponjas saturadas de agua en charolas de plástico para evitar la deshidratación de las hojas y el escape de los ácaros (Fig. 6), se mantuvieron bajo condiciones controladas de laboratorio ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, 70% HR y fotoperiodo de 14:10 h L: O).

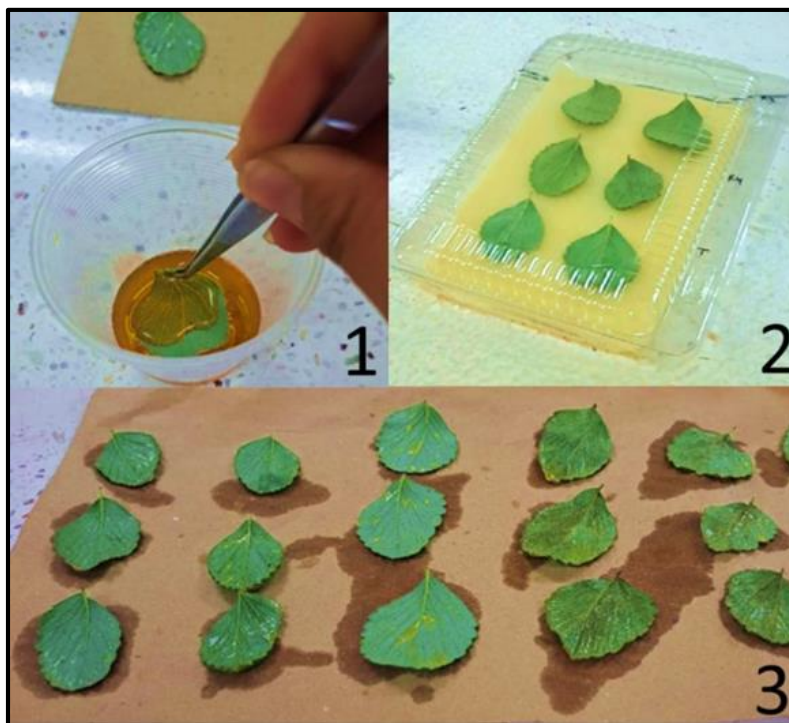


Figura 6. Bioensayo de AgNPs con foliolos de Fresa. 1) inmersión de los foliolos; 2) foliolos sobre papel absorbente para quitar el exceso de humedad; 3) Charolas de plástico en el que se mantuvieron los foliolos.

Las diferentes concentraciones de nanopartículas se prepararon utilizando agua destilada para su dispersión por sonicación y Tween 20 como agente emulsificante a razón de 1mL: 1L de agua y se agitaron por un lapso de 15 minutos para lograr homogenizar la solución. Para este estudio se establecieron concentraciones diferentes para cada etapa; en huevo (500,700,900, 1000 y 1200 mg/L), larva (50,100,150,300 y 500 mg/L), deutoninfa y adulto (50,100,150,300, 500, 700, 1000mg/L) además de tres testigos; un testigo sin nanopartículas aplicando solo agua, un testigo químico (Abamectina Delta 1.8% [18 g i.a.] a razón de 1L/ha) y un testigo de origen botánico (Atzingao [extractos de Euphorbiaceas 60% +Acondicionadores y diluyentes 40%] a razón de 1.5 L/ha)). El bioensayo se realizó con 5 repeticiones por concentración y cada repetición con 3 unidades experimentales (1 hoja infestada previamente).

Análisis de resultados

Para la evaluación de la mortalidad se realizó a las 24, 48, 72 y 96 h después de la aplicación de los tratamientos. Registrando la mortalidad acumulada al tiempo final de la evaluación. Los ácaros fueron estimulados con un pincel de pelo de camello de 001. El bioensayo se evaluó con un microscopio estereoscópico binocular Stemi DV4, ZEISS. Se registró el número de ácaros vivos y muertos, expresando en porcentaje. Los datos obtenidos fueron corregidos mediante la fórmula de Abbott (1925) con una mortalidad aceptada en el testigo de 15%. Para el criterio de mortalidad se consideraron ácaros muertos aquellos que estaban deshidratados o los que no respondieron a ningún estímulo, presentando apéndices pegados al cuerpo.

Fórmula de Abbott (1925):

$$\% \text{ corregido} = \left(1 - \frac{n \text{ en } T \text{ despues del tratamiento}}{n \text{ en } Co \text{ despues del tratamiento}} \right) * 100$$

Donde:

n = Población de insectos,

T = Tratados,

Co = Control.

Los datos de mortalidad se analizaron mediante un análisis Probit en el que se estimó el valor de la CL₅₀, CL₉₅ y los parámetros de confianza. Para determinar el efecto de los tratamientos sobre *T. urticae*, bajo un diseño experimental completamente al azar, los datos de mortalidad se transformaron mediante raíz cuadrada y se realizó un análisis de varianza (ANOVA), además de una comparación de medias de los tratamientos mediante LSD (P<0.05), todos los análisis se realizaron en el programa estadístico R Studio.

RESULTADOS

Síntesis verde de nanopartículas de plata

Como resultado de la reacción del extracto acuoso de cáscara de nuez con diferentes concentraciones de nitrato de plata, se evidenció la reducción debido al cambio de coloración en la mezcla, antes y después de la reacción, pasando de una coloración ligera a una coloración amarillo-marrón como se muestra en la figura 7.

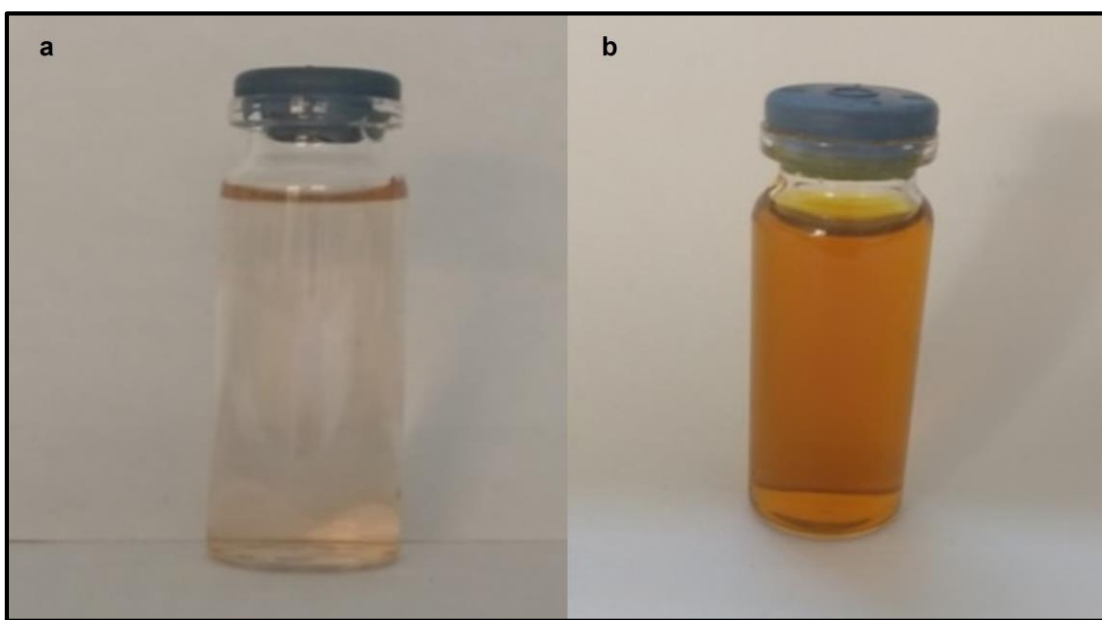


Figura 7. Color de la mezcla antes (a) y después de la reacción (b).

Se presenta un cambio de coloración en la reducción del nitrato de plata en AgNPs durante la exposición del extracto acuoso, esto se debe al aumento gradual en su desarrollo, como resultado de la resonancia del plasmón superficial; dicho fenómeno se origina cuando el tamaño de las nanopartículas es mucho menor que la longitud de onda de la radiación incidente absorbiendo frecuencias de la luz incidentes, transmitiendo las frecuencias no absorbidas que se asocian a un determinado color (Vijayakumar *et al.*, 2013; Cornejo, 2015).

Caracterización de Nanopartículas de plata

Espectrofotometría UV Visible

El tamaño medio de las partículas de plata fue de 427 nm con un rango espectral de 425 a 490 nm (Fig. 8). El pico máximo de absorción de las nanopartículas obtenidas de la Espectrofotometría UV Visible se observó a 411nm.

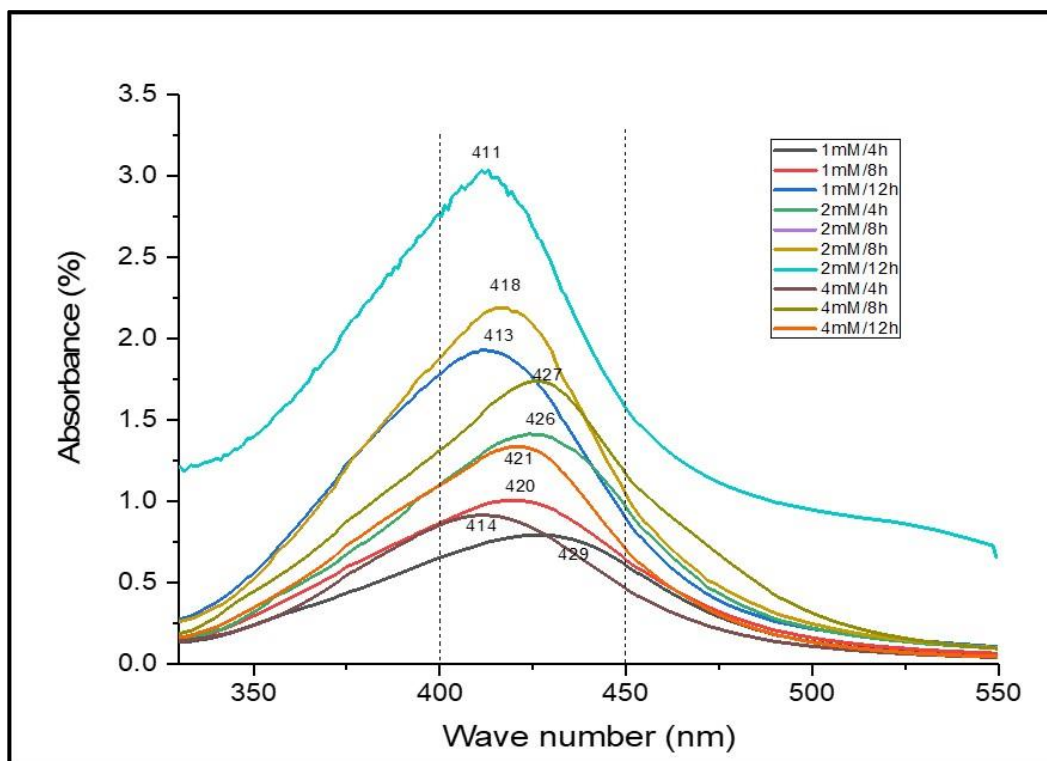


Figura 8. Espectro de absorción UV -V IS de las nanopartículas de plata.

Todas las longitudes de ondas de las nanopartículas en la figura anterior están señaladas dentro del rango de longitud de onda de las nanopartículas de plata, lo que implica la presencia de nanopartículas. El pico de plasmón de las nanopartículas de plata tienen una longitud de onda de 400 a 450 nm y su ubicación exacta depende del tamaño, la forma y la distribución de las nanopartículas (Cheang-Wong *et al.*, 2000).

Microscopía electrónica de transmisión (TEM)

Las micrografías obtenidas de la síntesis de nanopartículas, mostró una forma semiesférica (Fig. 9). También se observan nanopartículas de mayor agregación obtenidas a una concentración mayor de AgNO_3 .

Los resultados señalados mediante DLS sin duda coinciden con la micrografía obtenida reflejándose que mientras incrementa la concentración de nitrato de plata, el tamaño de la nanopartícula irá disminuyendo.

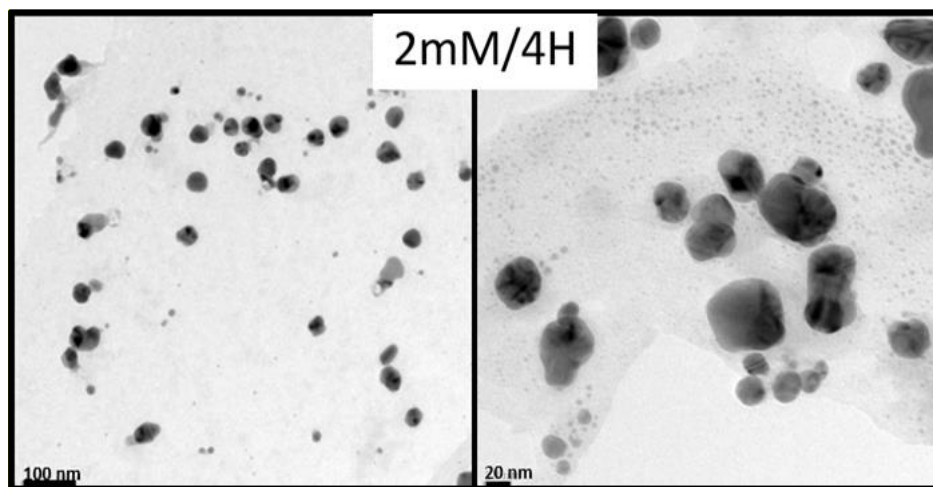


Figura 9. Micrografías obtenidas de TEM de las AgNPs en escala de 100 nm (Izquierda) y 20 nm (Derecha).

Mediante el análisis de EDAX, Kumar *et al.* (2011) advierten que la plata es el constituyente elemental de las partículas que corresponden al perfil de la composición elemental de la síntesis de nanopartículas. El pico de absorción cercano a los 3 keV, indica la presencia de NPs metálicas de plata, caracterizada por una banda de resonancia de plasmones superficiales (Fig. 10). No obstante, también se observan las señales de C y Si, que se pueden deber a los compuestos presentes en el extracto. Si bien, los resultados obtenidos por UV-VIS indican la reducción de iones de plata a plata elemental.

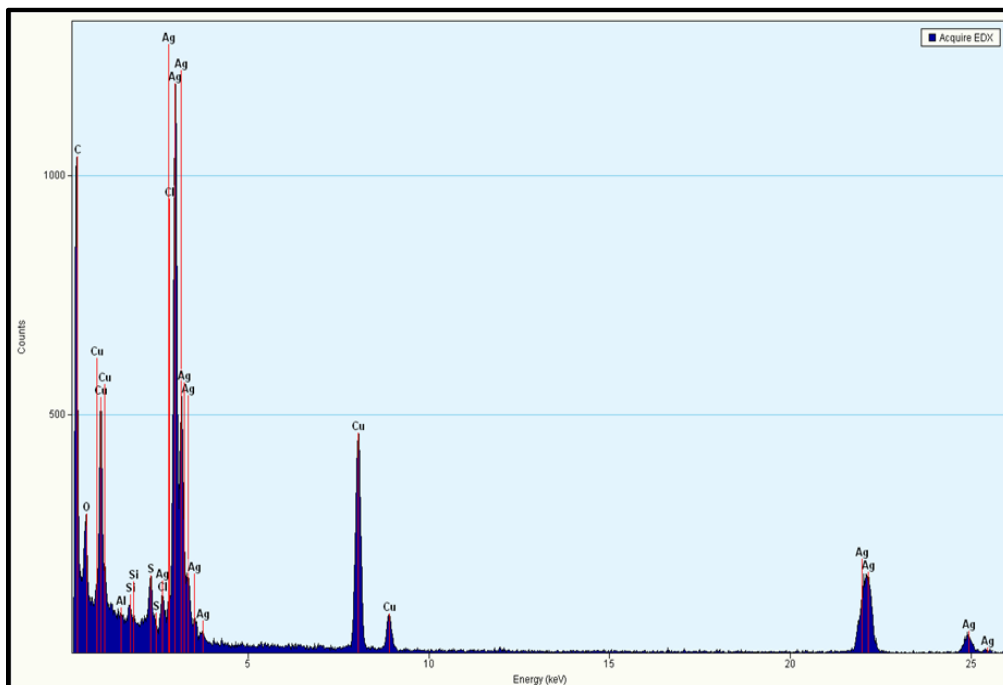


Figura 10. Espectro EDAX de nanopartículas de plata sintetizadas utilizando el extracto de ruezno.

Dispersión de luz (DLS)

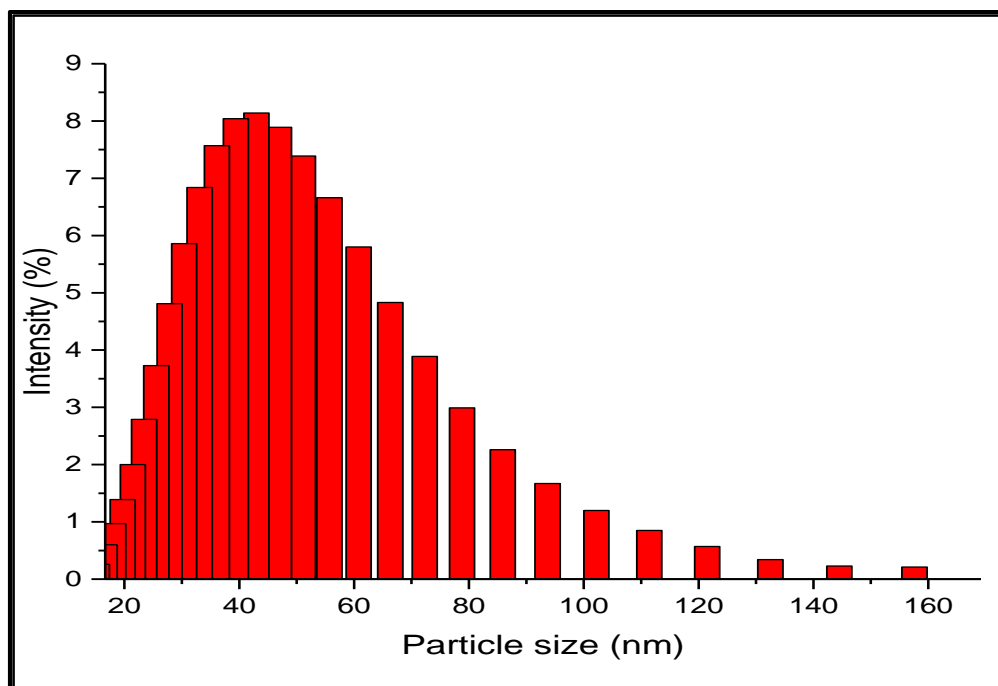


Figura 11. DLS histograma del tamaño de la distribución AgNPs (2mM/12H).

Los hallazgos del análisis de DLS mostraron la presencia de un pico de difracción entre 40-60nm (Fig. 11). El diámetro promedio de las NPs obtenidas bajo 2Mm a 8h y 12h se muestran en el cuadro 2. Y su tamaño promedio encuentra entre 93.4 y 20 nm, se logró percibir que el tamaño de las NPs disminuye al momento de aumentar la concentración de AgNO₃ y el tiempo para su reacción, obteniéndose así un tamaño de 20 nm a las 12 h de reacción.

Cuadro 2. Diámetro promedio de nanopartículas obtenidos mediante la técnica DLS.

Tiempo de reacción (h)	Concentración de AgNO ₃
	2mM
	Tamaño (nm)
8	44.2
12	39.9

El crecimiento por nucleación secundaria es característico cuando los reactivos se agotan y las condiciones de sobresaturación disminuyen hacia el equilibrio, el tamaño del núcleo crece y a su vez las partículas pequeñas crecen rápidamente. Es decir, a una concentración menor (1mM) de AgNO₃, el reactivo se agota rápidamente, entonces se presentará un crecimiento por nucleación secundaria obteniendo NPs de mayor tamaño (González y Rosas, 2016).

Efecto de las nanopartículas de plata sobre *T. urticae*

A continuación, se muestra la susceptibilidad de los diferentes estadios de *T. urticae* a las NPs de plata de síntesis verde en condiciones de laboratorio.

Efecto de las nanopartículas de plata sobre huevos de *T. urticae*

En el cuadro 3, se observa como las NPs de plata sobre la etapa de huevo presentaron actividad ovicida significativa superior, en comparación con el producto botánico Atzingao sobre la misma etapa. La CL₅₀ fue de 596 mg/L en el tratamiento con AgNPs y 2495 mg/L en el tratamiento con Atzingao.

Cuadro 3. Concentraciones letales, límites fiduciales y parámetros de confianza de Nanopartículas de plata de síntesis verde y Atzingao sobre huevos de araña roja *T. urticae*.

Tratamientos	CL ₅₀	Límites fiduciales	CL ₉₅	Límites fiduciales	Ecuación de predicción	X ²
AgNPs	596	562-626	1492	1373-1660	-11.5 + 4.13 (X)	1.03
Atzingao	2495	2033-2849	10640	8406-15890	-8.87 + 2.61 (X)	1.05

CL: Concentraciones letales en mg/L. Límites fiduciales: Intervalos de confianza. P ≤ 0.05.

Se registran los promedios de mortalidad de huevos de *T. urticae* en concentraciones de 500, 700, 900, 1000 y 1200 mg/L de AgNPs y Atzingao a 5000 mg/L en el que claramente se muestra que AgNPs lograron alta toxicidad en huevos a partir de 500 mg/L a las 96h. Sumando a esto, las AgNPs a una concentración de 1000 mg/L mostraron un promedio de mortalidad muy parecida a la de Atzingao, indicando que esta última fue aplicada en mayor dosis (Cuadro 4; Fig. 12).

Cuadro 4. Promedio de mortalidad de huevos de *T. urticae* a diferentes concentraciones de nanopartículas de plata de síntesis verde y de Atzingao a las 96 horas después de la aplicación.

Tratamientos (mg/L)	Mortalidad (%) (Media \pm SD)
AgNPs (500)	41.6 \pm 2.8 f
AgNPs (700)	55.3 \pm 1.1 e
AgNPs (900)	73.3 \pm 2.8 d
AgNPs (1000)	86.3 \pm 1.5 b
AgNPs (1200)	90.7 \pm 3.0 a
Atzingao® (5000)	83.3 \pm 2.8 c

SD= Desviación estándar. Medias seguidas con distinta letra en la misma columna difieren estadísticamente según LSD, $\alpha \leq 0.05$. Entre paréntesis la concentración del tratamiento.

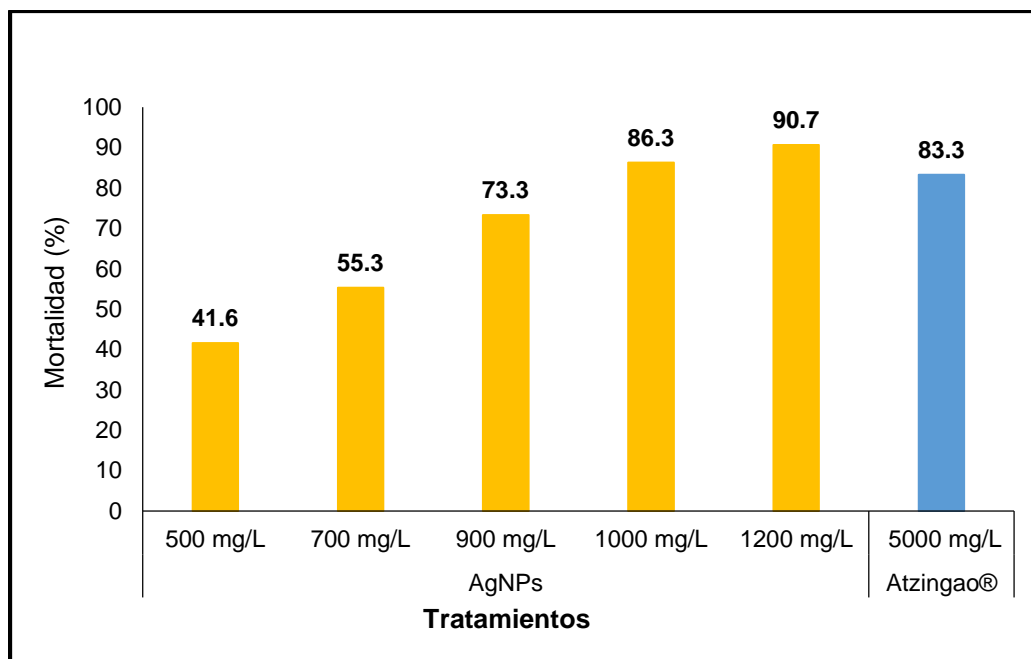


Figura 12. Mortalidad (%) de huevos de *T. urticae* a diferentes concentraciones de nanopartículas de plata de síntesis verde y de Atzingao a 96h.

Mediante el análisis de varianza de efectividad de huevos de *T. urticae* a AgNPs se distingue un $Pr>F$ con valor de 0.000414 que muestra significancia entre los tratamientos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza del estudio de efectividad sobre huevos de *T. urticae* en cultivo de fresa en condiciones de laboratorio.

Fv	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamientos	5	5645	1129.0	1693.5	1.26e-10
Tratamientos: (96h)	5	71	14.3	21.4	0.000414
Residuales	7	5	0.7		

En la Figura 13 se muestran los efectos de AgNPs en huevos *T. urticae* observadas a las 96h.



Figura 13. Efectos de AgNPs en huevo de araña roja *T. urticae*.

Efecto de las NPs sobre larvas de *T. urticae*

En seguida, se muestra la susceptibilidad de larvas de *T. urticae* a las NPs de plata en condiciones de laboratorio.

Como se observa (Cuadro 6) las NPs de plata en estado larval de *T. urticae* mostraron más susceptibilidad a las 24 h, cabe señalar que a las 72 y 96 h no fue posible establecer CL₅₀ ya que las mortalidades son muy altas y el Probit no se ajusta a la regresión lineal por el rápido efecto de las NPs sobre *T. urticae*.

Cuadro 6. Concentraciones letales, límites fiduciales y parámetros de confianza de nanopartículas de plata de síntesis verde sobre larvas de araña roja *T. urticae*.

Tiempo (h)	CL ₅₀	Límites fiduciales	CL ₉₅	Límites fiduciales	Ecuación de predicción	χ ²
24	163	58.5-455	917	373-1649	-4.86 + 2.19 (X)	25.2
48	50.5	1.9-96.2	931	363-3949	-2.21 + 1.30 (X)	8.34
72	--	--	--	--	--	--
96	--	--	--	--	--	--

h: horas. CL: Concentraciones letales. Límites fiduciales: Intervalos de confianza. $P \leq 0.05$.

En el cuadro 7 y figura 14 se señala el promedio de mortalidad de larvas de *T. urticae* a las 24, 48, 72 y 96 horas después de la aplicación de AgNPs a diferentes concentraciones. Se observa que a 500mg/L de AgNPs hubo mayor mortalidad en todos los tiempos, resaltando que en bajas concentraciones también se puede lograr un buen control con mayor número de horas.

Cuadro 7. Promedio de mortalidad de larvas de *T. urticae* a diferentes concentraciones de AgNPs a las 24,48,72 y 96 horas después de la aplicación.

Tratamientos (AgNPs mg/L)	24h (Media ± SD)	48h (Media ± SD)	72h (Media ± SD)	96h (Media ± SD)
50	23.3 ± 5.7 b	53.3 ± 5.7 d	70 ± 20 b	83.3 ± 28.8 a
100	26.6 ± 5.7 b	66.6 ± 5.7 c	73 ± 5.7 b	93.3 ± 5.7 a
150	30 ± 10 b	66.6 ± 5.7 c	73 ± 5.7 b	93.3 ± 5.7 a
300	78 ± 7.2 a	79 ± 9.0 b	79.3 ± 9.0 b	95.33 ± 5.0 a
500	90 ± 2.6 a	96 ± 1.0 a	96 ± 1.0 a	98.33 ± 2.8 a

SD= Desviación estándar. Medias seguidas con distinta letra en la misma columna difieren estadísticamente según LSD, $\alpha \leq 0.05$.

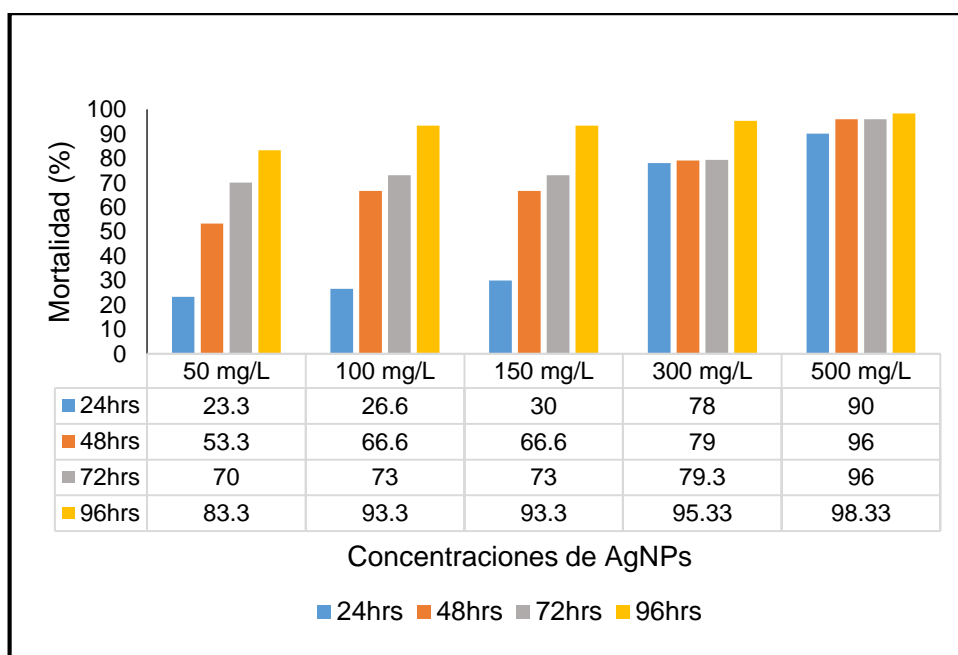


Figura 14. Promedio de mortalidad de larvas de *T. urticae* a diferentes concentraciones de AgNPs a las 24,48,72,96 h.

Se puede observar en el cuadro 8 significancia en los dos últimos tratamientos obtenidos a las 72 y 96h con valores de 0.027648 y 0.00655 diferenciándose de los dos primeros (42 y 48h), con valores arriba de 0.1.

Cuadro 8. Análisis de varianza del estudio de efectividad sobre larvas de *T. urticae* en cultivo de fresa en condiciones de laboratorio.

Fv	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamientos	3	11090	11090	112.016	1.93e-07
24h	3	290	290	2.925	0.113
48h	3	49.5	49.5	1.356	0.267
72h	3	399.3	399.3	6.276	0.027648
96h	3	950.5	950.5	10.773	0.00655

A continuación, se muestra el efecto de AgNPs con una dosis de 500mg/L en estado larval de *T. urticae* (Fig. 15).



Figura 15. Efectos de AgNPs en estado larval de *T. urticae*.

Efecto de las nanopartículas de plata sobre deutoninfas de *T. urticae*

A continuación, se muestra la susceptibilidad de deutoninfas de *T. urticae* a las NPs de plata de síntesis verde en condiciones de laboratorio.

A partir de los datos presentados en el cuadro 9, se muestran las CL de las NPs de plata sobre el estadio de deutoninfa de *T. urticae*. La CL₅₀ a 24h fue de 626 mg/L, en 48h de 288 mg/L, en 72h 116 mg/L y posteriormente a las 96h una CL₅₀ de 61 mg/L.

Cuadro 9. Concentraciones letales, límites fiduciales y parámetros de confianza de nanopartículas de plata de síntesis verde sobre deutoninfas de araña roja *T. urticae*.

Tratamientos (h)	CL ₅₀	Límites fiduciales	CL ₉₅	Límites fiduciales	Ecuación de predicción	X ²
24	626	470-935	49193	16508-313246	-2.43+0.868 (X)	1.38
48	288	168-524	41269	7409-5945016	-1.88+0.763(X)	8.59
72	116	12.3-239	2979	881-3316988	-2.41+1.17 (X)	38.8
96	61	1.91-134	2555	787-1614952	-1.81+1.01 (X)	27.3

h: horas. CL: Concentraciones letales. Límites fiduciales: Intervalos de confianza. $P \leq 0.05$

En el caso de la mortalidad en deutoninfas de araña roja por NPs de plata de síntesis verde (Cuadro 10, Fig. 16), se presentó ligera toxicidad en bajas concentraciones, destacando que se obtuvo el mismo promedio de mortalidad del 53% en 24h con 500 mg/L y en 96 h también, pero con la menor concentración de 50mg/L, esto quiere decir que cuando la dosis y el tiempo aumentaba, la toxicidad también, haciéndolo aún más eficaz en 72 y 96h después de la aplicación.

Cuadro 10. Promedio de Mortalidad de deutoninfas de *T. urticae* a diferentes concentraciones de nanopartículas de plata de síntesis verde a las 24, 48, 72 y 96 horas después de la aplicación.

Tratamientos (AgNPs mg/L)	24h (Media ± SD)	48h (Media ± SD)	72h (Media ± SD)	96h (Media ± SD)
50	17 ± 5.7 d	27 ± 5.7 c	40 ± 10 c	53 ± 5.7 d
100	27 ± 5.7 cd	40 ± 0 bc	47 ± 5.7 bc	60 ± 0 cd
150	27 ± 11.5 cd	43 ± 15.2 b	57 ± 11.5 b	63 ± 5.7 bc
300	40 ± 10 bc	47 ± 5.7 b	57 ± 5.7 b	67 ± 5.7 bc
500	43 ± 11.5 b	47 ± 5.7 b	60 ± 60 b	70 ± 10 b
700	53 ± 5.77 ab	70 ± 10 a	90 ± 0 a	93 ± 5.7 a
1000	60 ± 10 a	67 ± 5.7 a	97 ± 5.7 a	97 ± 5.7 a

SD= Desviación estándar. Medias seguidas con distinta letra en la misma columna difieren estadísticamente según LSD, $\alpha \leq 0.05$.

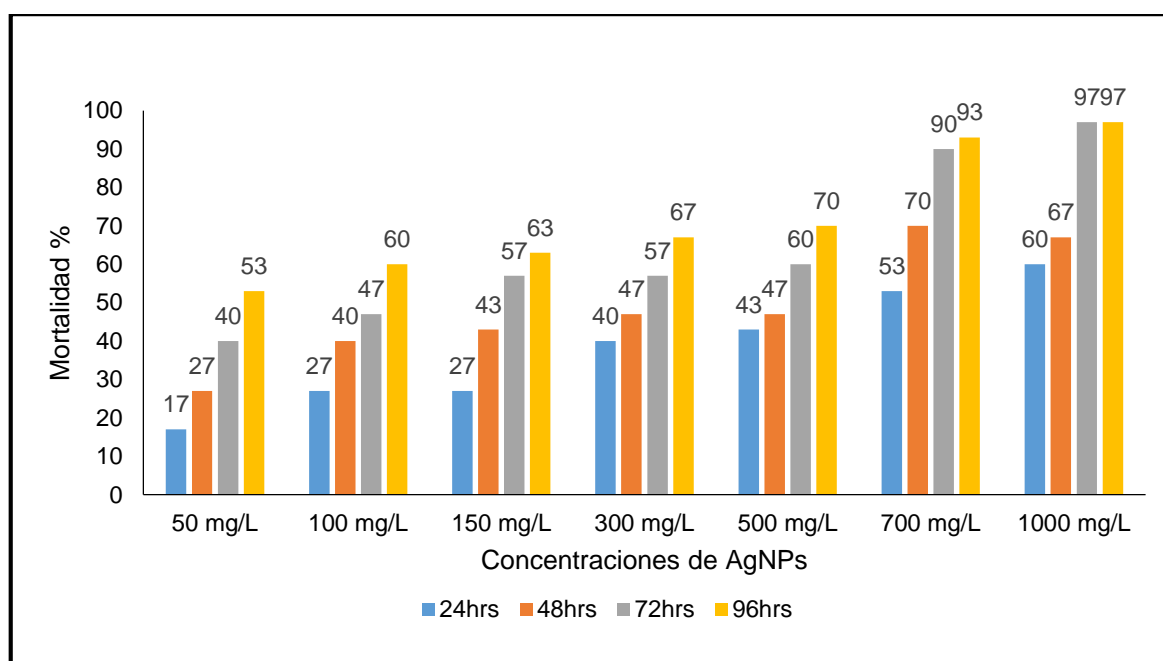


Figura 16. Mortalidad de Deutoninfas de *T. urticae* a diferentes concentraciones de nanopartículas de plata de síntesis verde a las 24, 48, 72 y 96 h.

En el cuadro 11, se reflejan significancias positivas de efectividad en deutoninfas de araña roja a partir de las 48h, indicando que en 24 h no existen diferencia entre los tratamientos de AgNPs.

Cuadro 11. Análisis de varianza del estudio de efectividad sobre deutoninfas de *T. urticae* en cultivo de fresa en condiciones de laboratorio.

Fv	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamientos	3	4081	4081	63.683	2.54e-07
24h	3	290	290	4.522	0.475
48h	3	587	587	9.41	0.00663
72h	3	434	434	6.744	0.0182
96h	3	346	346	10.95	0.0039

Efectos que se presentaron aplicando AgNPs en deutoninfas de *T. urticae* (Fig. 16).



Figura 17. Efecto de AgNPs en deutoninfas de *T. urticae*.

Efecto de nanopartículas de plata sobre adultos de *T. urticae*

En seguida, se muestra la susceptibilidad de adultos de *T. urticae* a las NPs de plata de síntesis verde en condiciones de laboratorio (Cuadro 12).

Los resultados arrojan que la Abamectina tuvo mayor actividad en los ácaros móviles con una CL₅₀ de 0.926 mg/L comparado con la AgNPs en diferentes tiempos. Destacando que a las 96h las AgNPs se presentó susceptibilidad considerable con una CL₅₀ de 47.1 mg/L. Dichos datos difieren con los obtenidos por Abdel *et al.* (2022) en la evaluación de la actividad acaricida de las NPs de plata contra los ácaros fitófagos (*P. oleivora*, *E. orientalis* y *B. obovatus*) encontrando que la CL₅₀ fue a 29.3, 43.9 y 27.4 mg/L respectivamente.

Cuadro 12. Concentraciones letales, límites fiduciales y parámetros de confianza de nanopartículas de plata de síntesis verde y Abamectina sobre adultos de araña roja *T. urticae*.

Tratamientos	CL ₅₀	Límites fiduciales	CL ₉₅	Límites fiduciales	Ecuación de predicción	χ ²
AgNPs (24h)	560	413-856	5665	2680-24429	-4.50+1.64 (X)	11.9
AgNPs (48h)	288	180-477	7353	2493-111692	-2.88+1.17(X)	14.9
AgNPs (72h)	134	76.3-196	3239	76.3-196	-2.53+1.19 (X)	10.9
AgNPs (96h)	47.1	6.51-95.2	3434	1183-98707	-1.48+0.883(X)	12.0
Abamectina	0.926	0.69-20.1	52.2	20.1-256	0.312+0.940(X)	1.17

CL: Concentraciones letales. Límites fiduciales: Intervalos de confianza. P ≤ 0.05.

Se observó mortalidad superior al 50% de *T. urticae* en etapa adulta en 96h aplicando concentraciones bajas de 50 y 100mg/L, mismo caso en 24h con dosis de 700mg/L. En las NPs de 1000mg/L se incrementó considerablemente la mortalidad (Cuadro 13, Fig. 18).

Cuadro 13. Promedio de Mortalidad de adultos de *Tetranychus urticae* a diferentes concentraciones de nanopartículas de plata de síntesis verde a las 24,48,72,96 horas después de la aplicación.

Tratamientos (AgNPs mg/L)	24h (Media ± SD)	48h (Media ± SD)	72h (Media ± SD)	96h (Media ± SD)
50	3 ± 5.7 e	17 ± 5.7 c	33 ± 5.7 d	53 ± 5.7 e
100	13 ± 5.7 de	27 ± 5.7 c	43 ± 5.7 cd	63 ± 5.7 d
150	23 ± 5.7 cd	47 ± 5.7 b	57 ± 11.5 c	67 ± 5.7 cd
300	30 ± 10 c	50 ± 10 b	57 ± 5.7 c	73 ± 5.7 bc
500	37 ± 5.7 c	57 ± 5.7 b	73 ± 5.7 b	77 ± 5.7 b
700	53 ± 5.7 b	57 ± 5.7 b	77 ± 5.7 b	80 ± 0.0 b
1000	77 ± 20.8 a	83 ± 15.2 a	93 ± 5.7 a	97 ± 5.7 a

SD= Desviación estándar. Medias seguidas con distinta letra en la misma columna difieren estadísticamente según LSD, $\alpha \leq 0.05$. Entre paréntesis (), la dosis de AgNPs.

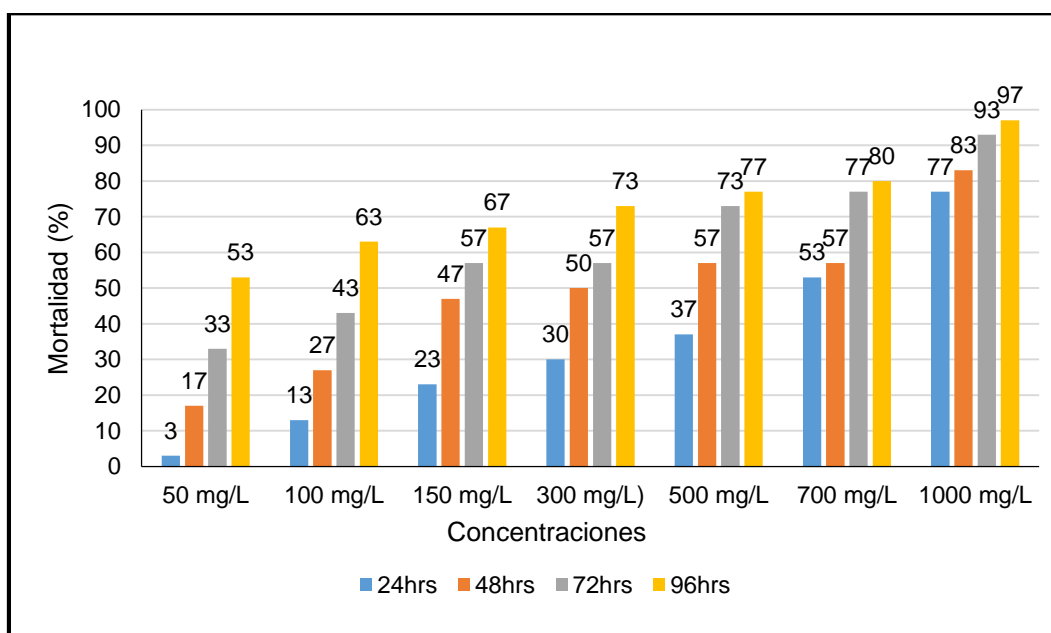


Figura18. Mortalidad de adultos de *Tetranychus urticae* a diferentes concentraciones de nanopartículas de plata de síntesis verde a las 24,48,72,96 h.

Referente a los datos del cuadro 14, se muestran significancias en 24 a 48h. Para 72 y 96 h, no se observan diferencias entre los tratamientos.

Cuadro 14. Análisis de varianza del estudio de efectividad sobre de *T. urticae* en cultivo de fresa en condiciones de laboratorio.

Fv	GL	SC	CM	F	Pr>F
Tratamientos	1	10749	10749	175.82	9.96e-11
24h	1	645	645	10.55	0.00446
48h	1	431	431	4.018	0.0603
72h	1	18	18	0.255	0.62
96h	1	74.3	74.3	2.24	0.152

En seguida se señalan los diferentes efectos que se presentaron en adultos de *T. urticae* después de la aplicación de AgNPs (Fig. 19).



Figura 19. Efectos de AgNPs en adultos de *T. urticae*.

DISCUSIÓN

Aunque existe mucha información sobre la toxicidad de insectos seleccionados, hay poca información directa sobre los efectos de las nanopartículas en insectos y ácaros (Rai *et al.*, 2014; Athanassiou *et al.*, 2018).

Jalalizand *et al.* (2013) demostraron que las NPs de plata pueden matar eficazmente a *T. urticae* mediante dos métodos, una de ellas es la pulverización de hojas y la segunda, la inmersión de hojas en condiciones de laboratorio. En esta evaluación se usó un rango de concentración demasiado alta (2,5 a 3000 ppm) en el que reportaron que, se logró una mortalidad >50% en *T. urticae* con una concentración de 100 ppm de NPs de plata. Estos datos difieren con los obtenidos en esta investigación, ya que se obtuvo una mortalidad bastante considerable en a partir de 700mg/L.

La concentración letal media en huevos fue de 596 mg/L a las 96h; las NPs de plata son altamente tóxicas en huevos de ácaros; esto se relaciona con los parámetros obtenidos por Abdel *et al.* (2022) en su evaluación de la actividad acaricida de las NPs de plata sobre los huevos de ácaros fitófagos *P. oleivora*, *E. orientalis* y *B. obovatus*; con valores de CL₅₀ de 95.5, 80.6 y 126.5 mg/l respectivamente.

Mediante la actividad acaricida de las AgNPs contra ácaros fitófagos y depredadores de los cítricos, probando su eficacia y selectividad, se obtuvo lo siguiente: los ácaros fitófagos son afectados por NPs de plata presentando actividad ovicida reduciendo hasta un 70% *T. urticae* con una concentración de 215 mg/L de AgNPs (Al-Azzazy *et al.*, 2019). Estos datos no se relacionan con los presentados en esta investigación, ya que se logró un efecto ovicida por AgNPs hasta las 96h con una concentración de 500 mg/L, sin embargo, puede que Al-Azzazy y colaboradores hayan obtenido el porcentaje de mortalidad que mencionaron, pero con un lapso más largo.

Al-azzazy *et al.* (2019) en su evaluación de campo de la eficacia de NPs de plata contra los ácaros asociados a las plantas de tomate en invernaderos reportaron

afectaciones de las NPs en huevos de *T. urticae* provocando en ellos malformaciones, lo que conllevó a que se tornen de color gris claro, añadiendo a esto, las NPs logran la reducción de la eclosión de huevos. Mismos autores hacen mención que el efecto de mortalidad de *A. lycopersici* y *T. urticae* aplicando concentraciones de 53.94, 107.88, 161.82 y 215.76 ppm obteniendo una CL₅₀ de 20.88, 72.80, 45.34 representando el 93.37% de muerte de ácaros *A. lycopersici*, mientras que para *T. urticae* una mortalidad de 85.21% con CL₅₀ de 18.99, 42.69, 73.21. Los reportes obtenidos difieren con los obtenidos por Al-azzazy y colaboradores, ya que se ocupó una concentración mayor a 500mg/L para alcanzar 50% de control. Se coincide en que los NPs si reducen la eclosión de huevos y en este caso si hubo un cambio de coloración (café-amarillento, Fig. 20).



Figura 20. Efecto de AgNPs en huevo de *T. urticae*. 1) cambio de coloración, 2) huevo sin efecto.

Se obtuvieron buenos resultados significativos por efecto de AgNPs en el estado de larval en *T. urticae* con concentraciones arriba de 300mg/L a la 96h, lo que concuerda con los datos de Jalalizand *et al.* (2013) donde evaluaron AgNPs contra ácaros *T. urticae* en estado larval sobre hojas de frijol por el método de inmersión de hojas en laboratorio, donde se mostró el mayor efecto de mortalidad en concentraciones de 500, 1000, 2000 y 3000 ppm a 96, 120 y 144h.

Investigaciones llevadas a cabo por Shah y Shukla (2014) indicaron que la abamectina disminuye la población de *T. urticae* al 81.4% en plantas de gerbera en

condiciones de policasa una semana después de la aplicación. Con este dato se sostiene con lo obtenido en la prueba realizada.

Comparando la información obtenida por la aplicación de AgNPs en huevos de arañita roja, se asimila al modo de acción de Atzingao, en que el corion del huevo se ve afectado. El producto Atzingao es un extracto botánico de amplio espectro dirigido para ácaros fitófagos y huevos de este. Esta formulada a base de compuestos que evitan la eclosión de huevos y su normal desarrollo embrionario afectando también el corion y la membrana vitelina del mismo (GreenCorp, 2023).

Estudios por Yasur y Rani (2015) reportaron el efecto de estrés oxidativo nanoinducido en intestinos de larvas de palomilla como lo demuestran los niveles mejorados de enzimas antioxidantes de la nanoplata en dos especies de lepidópteros, el gusano cogollero asiático, *Spodoptera litura* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae), y el semilooper del ricino, *Achaea janata* (L.) (Lepidoptera: Erebidae). El estrés oxidativo provocado por la producción de ROS excesiva provoca inflamación, induciendo muerte celular; dichas características fueron observadas durante el bioensayo realizado en la presente investigación como se muestra en la siguiente fotografía.



Figura 21. Efecto del estrés oxidativo en *T. urticae* a causa de AgNPs.

El efecto acaricida de AgNPs se confirma con lo señalado por Al-Azzazy *et al.* (2023), en el estudio que realizó para el control de ácaros fitófagos, evaluando la eficiencia de NPs de plata contra un acaricida comercial Bifenamina® (i.a bifentrina), donde las AgNPs mostraron una actividad acaricida significativamente mayor hacia las etapas móviles de ácaros fitófagos (*P. oleivora*, *E. orientalis* y *B. obovatus*). Los valores de CL₅₀ fueron 29.3, 43.9 y 27.4 mg/L en el tratamiento con AgNPs y 43.3, 38.9 y 31.6 mg/L en tratamiento con bifentrina.

Las AgNPs en forma de partículas y como fuente de cationes de Ag presentan toxicidad (McShan *et al.*, 2014; Mabey *et al.*, 2019). Benelli (2018) indicó que la presencia de AgNPs de síntesis verde en insectos facilitan la penetración en la membrana celular (Navarro *et al.*, 2008). Esto justifica los resultados encontrados en el presente estudio con el uso de un extracto vegetal, obteniendo efectos tóxicos con alto porcentaje de mortalidad en *T. urticae*.

CONCLUSIÓN

El estudio demostró que las nanopartículas de plata a base de síntesis verde son eficaces para el manejo de *T. urticae* debido a las propiedades toxicas que presentan las nanopartículas sumando las propiedades del extracto vegetal.

Los estadios de huevos, larvas, deutoninfas y adultos móviles de *T. urticae* fueron susceptibles por contacto a la aplicación de las NPs de plata.

Las NPs muestran efectos variados sobre los estadios de *T. urticae*:

- Huevos: Daño en el corion en la cutícula con un cambio de coloración (café-amarillento) reduciendo la eclosión.
- Larvas: Deshidratación dejándolos inmóviles y un cambio de coloración.
- Deutoninfas: Desarrollo alterado por la deshidratación e inflamación del ácaro, antes de la muerte del ácaro.
- Adultos: Con apariencia de manchas negras esparciéndose en todo el cuerpo a medida que pasaban las horas, provocando deshidratación llegando a la muerte celular. Deterioro de las funciones motoras.

LITERATURA CITADA

- Abbasi, E., Aval S.F., Akbarzadeh, A., Milani, M., Nasrabadi, H.T., Joo, S.W., Hanifehpour, Y., Nejati-Koshki, K. and Pashaei-Asl R. 2014. Dendrimers: synthesis, applications, and properties. *Nanoscale research letters*. 9(1):247.
- Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal Economic Entomology*. 18(2):265-267.
- Abdel, G. S. B., Al-Azzazy, M. M., and Lucini, L. 2022. The miticidal activity of silver nanoparticles towards phytophagous and predatory mites of citrus: efficacy and selectivity. *Emirates Journal of Food & Agriculture (EJFA)*. 34(6).
- Afify, A.E.M.R., F.S. Ali, and A.F. Turkey. 2012. Control of *Tetranychus urticae* Koch by extracts of three essential oils of chamomile, marjoram and Eucalyptus. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2(1): 24-30.
- Aguilar-Medel, S., Díaz-Gómez, O., Rodríguez-Maciél, J. C., González-Camacho, J. E., García-Velasco, R., Martínez-Carrillo, J. L. y Reséndiz-García, B. 2011. Resistencia de *Tetranychus urticae* Koch a acaricidas usados en la producción de rosal de invernadero en México. *Southwestern Entomologist*. 36(3): 363-37.
- Al-Azzazy, M. M., and Ghani, S. B. A. 2023. Field evaluation of the efficacy of copper nanoparticles against mites associated with orange trees. *Brazilian Journal of Biology*, 84.
- Al-Azzazy, M.M., Abdel Ghani S.B. and Alhewairini, S.S. 2019. Field evaluation of the efficacy of silver nanoparticles (AgNP) against mites associated with tomato plants in greenhouses. *Pakistan Journal of Agricultural Research*. 56(1): 283-288.
- Ali, M. 2023. What function of nanoparticles is the primary factor for their hyper-toxicity? *Advances in Colloid and Interface Science*, 102881. ID: 102881. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2023.102881>

- Alvarado, R., Solera F. y Vega-Baudrit J. 2014. Síntesis sonoquímica de nanopartículas de óxido de cinc y de plata estabilizadas con quitosano. Evaluación de su actividad antimicrobiana. *Revista Iberoamericana de Polimeros*. 15(3): 134-148.
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Benelli, G., Losic, D., Usha Rani, P. and Desneux, N. 2018. Nanoparticles for pest control: current status and future perspectives. *Journal of Pest Science*. 91: 1-15.
- Aucejo-Romero, S. 2005. Manejo Integrado de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) en clementinos: agregación, dinámica e influencia del estado nutricional de la planta huésped. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=242896>
- Avinash, B., Venu, R., Raj, M. A., Rao, K. S., Srilatha, C. and Prasad, T. N. V. K. V. 2017. In vitro evaluation of acaricidal activity of novel green silver nanoparticles against deltamethrin resistance *Rhipicephalus* (Boophilus) microplus. *Veterinary Parasitology*. 237: 130-136.
- Badii, M. H., Landeros, J. y Cerna, E. 2010. Regulación poblacional de ácaros plaga de impacto agrícola. *Daena: International Journal of Good Conscience*. 5(1): 270-302.
- Bagnara, D. y Vincent C. 1988. The role of insect pollination and plant genotype in strawberry fruit set and fertility. *Journal of Horticultural Science*. 63: 69-75.
- Bapat, R. A., Chaubal, T. V., Joshi, C. P., Bapat, P. R., Choudhury, H., Pandey, M., Gorain, B., and Kesharwani, P. 2018. An overview of application of silver nanoparticles for biomaterials in dentistry. *Materials science & engineering. C, Materials for biological applications*, 91, 881-898p. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.05.069>
- BASF. 2021. Ficha Técnica. Kumulus® DF (Cyflumetofen). Fungicida-acaricida para cítricos. In: <https://www.basf.com/mx/es.html> (Fecha de consulta: 28 octubre 2023).
- Benelli, G. 2016a. Green synthesized nanoparticles in the fight against mosquito-borne diseases and cancer—a brief review. *Enzyme and Microbial Technology*. 95: 58-68.

- Benelli, G. 2016b. Plant-mediated biosynthesis of nanoparticles as an emerging tool against mosquitoes of medical and veterinary importance: a review. *Parasitology research*. 115(1):23-34.
- Benelli, G. 2018. Mode of action of nanoparticles against insects. *Environmental Science and Pollution Research*. 25(13): 12329-1234.
- Bhatia, S. 2016. Natural Polymer Drug Delivery Systems Nanoparticles, Plants, and Algae. Springer. 1ra ed. Gurgaon. India. 225p.
- Bolland, H.R., Gutierrez, J. and Flechtmann CHW. 1998. World Catalogue of the Spider Mite Family (Acari: Tetranychidae). Koninklijke Brill NV, Leiden, The Netherlands. 392 p.
- Boroumand M., A., Namvar, F., Moniri, M., Md. Tahir, P., Azizi, S. and Mohamad, R. 2015. Nanoparticles biosynthesized by fungi and yeast: a review of their preparation, properties, and medical applications. *Molecules*. 20(9): 16540-16565.
- CABI. 2020. *Tetranychus urticae* (two-spotted spider mite). In: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/53366>. (Fecha de consulta: 15 mayo 2023).
- Cao, G. 2004. Nanostructures & Nanomaterials: Synthesis, Properties & Applications. Imperial College Press. Reprinted edition. University of Washington, USA. 433p.
- Cerna, E., J. Landeros, E. Guerrero, A. E. Flores, and Badii, M. H. 2005. Enzymatic resistance detection by synergist products in a field *Tetranychus urticae* (Koch) strain (Acari: Tetranychidae). *Folia Entomologica Mexicana*. 44: 287-295.
- Cheang-Wong, J. C., Oliver, A., Crespo, A., Hernández, J. M., Muñoz, E. and Espejel-Morales, R. 2000. Dependence of the optical properties on the ion implanted depth profiles in fused quartz after a sequential implantation with Si and Au ions. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*. 161: 1058-1063.
- Cornejo, L. 2015. Resonancia del plasmón de la superficie (RPS); propiedades optoelectrónicas. *Nuevas Tecnologías y Materiales*. 11. In: <https://nuevastecnologiasymateriales.com/resonancia-del-plasmon-de-la->

[superficie-rps-propiedades-optoelectronicas/](#) (Fecha de consulta: 23 octubre 2023).

Da Costa, M. V. J. and Sharma, P. K. 2011. Effect of copper oxide nanoparticles on growth, morphology, photosynthesis, and antioxidant response in *Oryza sativa*. *Photosynthetica*. 54: 110-119.

De Angelis, J., Berry, R.E. and Krantz, G.W. 1983. Photosynthesis, leaf conductance, and leaf chlorophyll content in spider mite (Acari: Tetranychidae) injured peppermint leaves. *Environmental Entomology*. 12(2) :345-348.

De, A., Bose, R., Kumar, A., Mozumdar, S., De, A., Bose, R. and Mozumdar, S. 2014. Management of insect pests using nanotechnology: as modern approaches. *Targeted delivery of pesticides using biodegradable polymeric nanoparticles*. 29-33 pp.

Difusión de la Ciencia y la Tecnología (DiCYT). 2016. Investigan Efectos de Nanopartículas en plantas. Científicos del Departamento de Olasticos en la Agricultura del Centro de Investigacion en Química Aplicada. *In:* <https://www.dicyt.com/noticias/investigacion-efectos-de-nanoparticulos-en-plantas#:~:text=%E2%80%9CLas%20nanopart%C3%ADculas%20son%20promotores%20del,y%20no%20afecta%20la%20planta> (Fecha de consulta: 14 marzo 2023).

Doreste, E. 1984. Características del suborden *Actinedida*. 185-200pp. *In:* Fany de la Torre, P. Acarología (Ed). No 11. Bib. Orton IICA/CATIE. San José, Costa Rica. 391p.

Dos Santos, A., Teixeira, V. A., Peres Filho, O., Serafin, M. E., Neto, M. P., e da Cunha Oliveira, C. A. 2014. Primeiro registro de *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) em mudas de teca no Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*. 34(78):165-167.

Duhan, J. S., Kumar, R., Kumar, N., Kaur, P., Nehra, K. and Duhan, S. 2017. Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnology reports (Amsterdam, Netherlands)*. 15:11-23 pp. *In:* <https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.03.002>

- Esquivel-Figueroa, R. de la C. y Mas-Diego, S.M. 2021. Síntesis biológica de nanopartículas de plata: revisión del uso potencial de especies de *Trichoderma*. *Revista Cubana De Química*, 33 (2): 23-45.
- European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO). 2020. *Tetranychus urticae* (URTRUR). In: <https://gd.eppo.int/taxon/TETRUR> (Fecha de consulta: 15 mayo 2023).
- European Commission. 2016. Nanomaterials. In: http://ec.europa.eu/environment/chemicals/nanotech/index_en.htm (Fecha de consulta: 24 septiembre 2023).
- Felipe, R. A. 2003. Tipificación del daño de *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) en plantas de pimientón cv. California Wonder. Trabajo de Grado. Unidad Centro Occidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto, Estado Lara, Venezuela. 33 p.
- García-Marí, F., and Ferragut, F. 2002. Los Ácaros. In García-Marí, F., and Ferragut, F. (ed.) *Plagas Agrícolas*. Phytoma-España S.L., Valencia. 19-52 pp.
- Godfrey, L. D. 2011. Pest Notes: Spider Mites. Integrated Pest Management for Home Gardeners and Landscape Professionals. UC ANR Publication 7405. 1-4 pp.
- Gómez-Garzón, M. 2018. Nanomateriales, nanopartículas y síntesis verde. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía*, 27(2):75-80.
- González García, G. y Rosas Trejo, G. A. 2016. Síntesis de Nanopartículas de Plata empleando el extracto de planta *Gnaphalium Conoideum Kunth*. Instituto de Investigaciones Metalúrgicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. XII Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia. In: https://congresos.cio.mx/memorias_congreso_mujer/archivos/sesion3/S3-ING07.pdf.
- Goodwin, S. B., Sujkoski, L.S and Fry, W. E. 1995. Rapid Evolution of atherogenicity within clonal lineages of the potato late blight disease fungus. *Phytopathology*. 85: 669-678.

- Gotoh, T., Bruin, J., Sabelis, M.W. and Menken, S.B.J. 1993. Host race formation in *Tetranychus urticae*: genetic differentiation, host plant preference, and mate choice in a tomato and a cucumber strain. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 68(2): 171-178.
- Gour, N., Upadhyaya, P. and Patel, J. 2019. Nanomaterials as therapeutic and diagnostic tool for controlling plant diseases. In *Comprehensive Analytical Chemistry (Elsevier)*, 84, 225-261. doi: 10.1016/bs.coac.2019.04.003
- GreenCorp. 2023. Ficha técnica. Atzingao. In: <https://greencorp.mx/productos/> (Fecha de consulta: 25 noviembre 2023).
- Gupta, N., Upadhyaya, C. P., Singh, A., Abd-Elsalam, K. A. and Prasad, R. 2018. Applications of Silver Nanoparticles in Plant Protection. In: Abd-Elsalam, K., Prasad, R. (eds) *Nanobiotechnology Applications in Plant Protection. Nanotechnology in the Life Sciences*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91161-8_9
- Hayles, J., Johnson, L., Worthley, C. and Losic, D. 2017. Nanopesticides: a review of current research and perspectives. *New pesticides and soil sensors*. 193-225. doi:10.1016/B978-0-12-804299-1.00006-0
- Helle W. and Sabelis, M. W (Eds.). 1985. Spider mites, their biology, natural enemies and control. Volume 1A. Elsevier. 405 pp.
- Hernández, M. J. A, 1978. Ciclo Biológico de la Araña Roja (*Tetranychus urticae* koch) en Laboratorio sobre el cultivo del Crisantemo (*Chrysanthemum morifolium*). Tesis de Licenciatura, Departamento de Parasitología Agrícola, E.N.A., Chapingo, México.27p. <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-chapingo/articulo/ciclo-biologico-de-la-arana-roja-tetranychus-urticae-koch-en-el-laboratorio-sobre-cultivo-de-crisantemo-chrysanthemum-morifolium>
- Huerta, R. A. 2018. Extracto de canela. Insecticida y acaricida. In: <https://cegromex.com/2018/04/27/extracto-de-canela-insecticida-y-acaricida/> (Fecha de consulta: 25 Noviembre 2023).

- Insecticide Resistance Action Committee (IRAC). 2009. IRAC Susceptibility Test Method 004. *In: Test Method Library | Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) In: irac-online.org* (Fecha de consulta: 15 mayo 2023).
- Insecticide Resistance Action Committee (IRAC). 2021. The IRAC mode of action Classification online. *In: <https://irac-online.org/mode-of-action/classification-online/>* (Fecha de consulta: 30 mayo de 2023).
- INTAGRI. 2017. Manejo de la Araña de Dos Puntos en la Producción de Berries. Serie Fitosanidad Núm. 88. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p. *In: <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/manejo-de-la-arania-de-dos-puntos-en-la-produccion-de-berries>* (Fecha de consulta: 27 noviembre 2023).
- Jalali, M., Ghanati, F., Modarres-Sanavi, A. M. and Khoshgoftarmanesh, A. H. 2017. Physiological effects of repeated foliar application of magnetite nanoparticles on maize plants. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 203(6):593-602.
- Jalalizand, A., Gavanji, S., Esfahani, J. K., Besharatnejad, M. H., Emami, M. S. and Larki, B. 2013. The effect of silver nanoparticles on *Tetranychus urticae*. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 5(8): 820-827.
- Jeppson, H. B., H.H. Keifer y E. W. Baker. 1975. Mites injurious to economic plants. Univ. of California. Press. Riverside. 614 p.
- Jiang, X., Miclăuș, T., Wang, L., Foldbjerg, R., Sutherland, D. S., Autrup, H., Chen, C. and Beer, C. 2015. Fast intracellular dissolution and persistent cellular uptake of silver nanoparticles in CHO-K1 cells: implication for cytotoxicity. *Nanotoxicology*. 9(2):181-189.
- Kah, M., Beulke, S., Tiede, K. and Hofmann, T. 2013. Nanopesticides: state of knowledge, environmental fate, and exposure modeling. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 43(16): 1823-1867.
- Kasithevar, M., Saravanan, M., Prakash, P., Kumar, H., Ovais, M., Barabadi, H. and Shinwari, Z. K. 2017. Green synthesis of silver nanoparticles using *Alysicarpus*

monilifer leaf extract and its antibacterial activity against MRSA and CoNS isolates in HIV patients. *Journal of Interdisciplinary Nanomedicine*. 2(2):131-141.

Koppert. 2023. Araña roja. In: <https://www.koppert.mx/retos/control-de-plagas/aranas-rojas-y-otras-aranas/arana-roja/> (Fecha de consulta: 23 septiembre 2023).

Krantz, G. W. 1970. A manual of acarology. Oregon State University. Book stores. 2da Ed. Texas Tech Univ. Press, Lubbock, Tex. Inc. 509p.

Kumar, C. G. and Mamidyala, S. K. 2011. Extracellular synthesis of silver nanoparticles using culture supernatant of *Pseudomonas aeruginosa*. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 84(2): 462-466.

Lalitha, A., Subbaiya, R. and Ponmurugan, P. 2013. Green synthesis of silver nanoparticles from leaf extract *Azadirachta indica* and to study its anti-bacterial and antioxidant property. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2(6):228-235.

Lira Saldivar, R. H., Méndez Argüello, B., Santos Villarreal, G. D. L. y Vera Reyes, I. 2018. Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta universitaria*. 28(2): 9-24. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1575>

Little, V. A., 1972. General and Applied Entomology. (3rd Ed.). Harper & Row Publishers, New York.

Lola-Luz, D. 2003. Integrated pest and disease control on Indoor and outdoor strawberry in Ireland. *Teagasc, Dublin, Ireland*,41.

Mabey, T., Andrea Cristaldi, D., Oyston, P., Lymer, K. P., Stulz, E., Wilks, S., William K. C. and Zhang, X. 2019. Bacteria and nanosilver: the quest for optimal production. *Critical reviews in biotechnology*. 39(2): 272-287.

Malais, M. and Ravensberg, W. J. 1995. Conocer y reconocer: la biología de las plagas de invernadero y sus enemigos naturales. *Koppert Biological Systems*. 109 p.

- Manoj, H. and Patil, R. R. 2021. Effect of soybean-based silver nanoparticles AgNps against sucking pest, mite *Tetranychus urticae*. *The Pharma Innovation Journal*. 10(12): 3095-3096.
- McShan, D., Ray, P. C. and Yu, H. 2014. Molecular toxicity mechanism of nanosilver. *Journal of food and drug analysis*. 22(1): 116-127.
- Mendoza Uribe, G. and Rodríguez-López, J. L. 2007. La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. *Perfiles latinoamericanos*. 14(29): 161-186.
- Navarro, E., Baun, A., Behra, R., Hartmann, N. B., Filser, J., Miao, A. J., Quigg, A., Santschi, P. H. and Sigg, L. 2008. Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi. *Ecotoxicology*. 17: 372-386.
- Oatman, E. R., McMurtry, J.A., Gilstrap, F. E. and Voth, V. 1977. Effect of releases of *Amblyseius californicus*, *Phytoseiulus persimilis* and *Typhlodromus occidentalis* on the two-spotted spider mite on strawberry in southern California. *Journal of Economic Entomology*. 70: 45-47.
- Park, H. J., Kim, S. H., Kim, H. J. and Choi, S. H. 2006. A new composition of nanosized silica-silver for control of various plant diseases. *Plant Pathology Journal*, 22(3), 295-302.
- Parra Huertas, R. A. 2010. Revisión: microencapsulación de alimentos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 63(2): 5669-5684.
- Parthiban, E., Ramachandran, M., Jayakumar, M., & Ramanibai, R. 2019. Biocompatible green synthesized silver nanoparticles impact on insecticides resistant developing enzymes of dengue transmitted mosquito vector. *SN Applied Sciences*, 1, 1-9.
- Paull, J. and Lyons, K. 2008. Nanotechnology: the next challenge for organics. *Journal of Organic Systems*. 3(1):3-22.
- Pavela, R., Murugan, K., Canale, A. and Benelli, G. 2017. Saponaria officinalis-synthesized silver nanocrystals as effective biopesticides and oviposition inhibitors against *Tetranychus urticae* Koch. *Industrial Crops and Products*. 97: 338-344.

- Pérez-de-Luque, A. and Rubiales, D. 2009. Nanotechnology for parasitic plant control. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 65(5), 540-545.
- Pestovsky, Y. S. and Martínez-Antonio, A. 2017. The use of nanoparticles and nanoformulations in agriculture. *Journal of nanoscience and nanotechnology*. 17(12): 8699-8730.
- Ragaei, M. and Sabry, A. K. H. 2014. Nanotechnology for insect pest control. *International journal of science, environment and technology*. 3(2): 528-545.
- Rai, M., Kon, K., Ingle, A., Duran, N., Galdiero, S. and Galdiero, M. 2014. Broad-spectrum bioactivities of silver nanoparticles: the emerging trends and future prospects. *Applied microbiology and biotechnology*. 98: 1951-1961.
- Rasim, H. S., Mohsen, B. H. and Al-Gburi, B. K. 2021. Acaricidal Effects of Silicon Oxide and Zinc Oxide Nanoparticles against *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) on Tomato Plants. *Journal of Agricultural and Urban Entomology*. 37(1): 60-71.
- Reséndiz–García B, Castillo-Olivas O. 2018. Biología del ácaro de dos manchas *Tetranychus urticae* Koch. (Acari: Tetranychidae) en laboratorio en Chapingo, Estado de México. *Entomología mexicana*. 5: 40-45.
- Romero, C. S. 1996. Plagas y Enfermedades de Ornamentales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. De México. 244 p.
- Sá-Argolo P. 2012. Gestión integrada de la araña roja *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae): optimización de su control biológico en clementinos. Tesis Doctoral. 140 pp. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/17804/tesisUPV3987.pdf>
- Sadras, V. O., Wilson, L. J. and Lally, D. A. 1998. Water deficit enhanced cotton resistance to spider mite herbivory. *Annals of Botany*. 81(2): 273-286p.
- Sánchez, R.G. 2008. La red de valor fresa: Sistemas de Inteligencia de mercados. Fundación Produce, Laser Impresores. 1ra Ed. Morelia, Michoacán, México. 17-108p.

- Santhoshkumar, T., Rahuman, A. A., Bagavan, A., Marimuthu, S., Jayaseelan, C., Kirthi, A. V. and Rao, K. V. B. 2012. Evaluation of stem aqueous extract and synthesized silver nanoparticles using *Cissus quadrangularis* against *Hippobosca maculata* and *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. *Experimental Parasitology*. 132(2): 156-165.
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2008. Alternativas químicas al uso de bromuro de metilo en el cultivo de fresa. *Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial*. Michoacán, México. Vol.1: 14-26.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2016. Fresa Mexicana. Planeación Agrícola Nacional 2017-2030. *In:* <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257075/Potencial-Fresa.pdf> [Fecha de consulta: 08 marzo 2023].
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2023. Panorama Agroalimentario 2023. *In:* https://drive.google.com/file/d/1FWHntHMgijw_uOse_MsOF9jZQDAm_FOD9/view. (Fecha de consulta: 24 noviembre 2023).
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2017. Nanopartículas para el control de plagas: Situación actual y perspectivas futuras. *In:* <https://prod.senasica.gob.mx/ALERTAS/inicio/pages/single.php?noticia=2991#> (Fecha de consulta: 28 noviembre 2023).
- Shaban, S. M., Kang, J. and Kim, D. H. 2020. Surfactants: Recent advances and their applications. *Composites Communications*, 22: 100537. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.100537>
- Shah, D. R. and Shukla, A. 2014. Chemical control of two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* (Koch.) infesting gerbera (*Gerbera jamesonii* L.) under polyhouse condition. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*. 20(2): 155-161.
- Sharon, M., Choudhary, A. K. and Kumar, R. 2010. Nanotechnology in agricultural diseases and food safety. *Journal of Phytology*. 2(4): 78-82.

- Shukla, P., Chaurasia, P., Younis, K., Qadri, O. S., Faridi, S. A. and Srivastava, G. 2019. Nanotechnology in sustainable agriculture: studies from seed priming to post-harvest management. *Nanotechnology for Environmental Engineering*. 4: 1-15.
- Singh, R. P., Handa, R. and Manchanda, G. 2021. Nanoparticles in sustainable agriculture: An emerging opportunity. *Journal of Controlled Release*. 329: 1234-1248.
- Srivastava, R., Ghosh, S., Mandal, D. B., Azhahianambi, P., Singhal, P. S., Pandey, N. N. and Swarup, D. 2008. Efficacy of *Azadirachta indica* extracts against *Boophilus microplus*. *Parasitology Research*. 104: 149-153.
- Stadler, T., Buteler, M. and Weaver, D. K. 2010. Nano insecticidas: Nuevas perspectivas para el control de plagas. *Revista de la sociedad entomológica argentina*. 69(3-4), 149-156.
- Summit-Agro. 2021. Ficha Técnica. Danisaraba® (Cyflumetofen). In: Acaricida. In: <https://summitagromexico.com/wp-content/uploads/2021/12/FICHA-TEC-DANISARABA-2016.pdf> (Fecha de consulta: 28 octubre 2023).
- Syngenta. 2021. Ficha técnica. Agrimec® 1.8% (Abamectina). Insecticida. In: https://www.syngenta.com.mx/sites/g/files/kgtney1381/files/media/document/2022/07/11/fichatecnica-agrimec_1.8_c.e.pdf
- Takahashi, N., Nakagawa, H., Sasama, Y. and Ikemi, N. 2012. Development of a new acaricide, cyflumetofen. *Journal of Pesticide Science*. 37(3): 263-264.
- Takeda, N., Takata, A., Arai, Y., Sasaya, K., Noyama, S., Wakisaka, S., Ghazy, A. N., Voigt, D., and Suzuki, T. 2020. A vegetable oil-based biopesticide with ovicidal activity against the two-spotted spider mite, *Tetranychus urticae* Koch. *Engineering in Life Sciences*. 20(11):525-534.
- Téliz, O. D. y Castro, F. J. 1973. El cultivo de la fresa en México. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Folleto de divulgación No. 48. 37 p.
- Torrado-León, E. 2010. Arañitas (Acari: Tetranychidae): megaplagas de cultivos ornamentales. In XXXVII Congreso Sociedad Colombiana Entomología. In:

https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13601/Ver_Documen%20to%2067222.pdf?sequence=3#page=366

- Tripathi, D. K., Tripathi, A., Shweta, Singh, S., Singh, Y., Vishwakarma, K., Yadav, G., Sharma, S., Singh, V. K., Mishra, R. K., Upadhyay, R. G., Dubey, N. K., Lee, Y. and Chauhan, D. K. 2017. Uptake, accumulation and toxicity of silver nanoparticle in autotrophic plants, and heterotrophic microbes: A concentric review. *Frontiers in microbiology*. 8: 07.
- Tutor, S. J. D. 2016. Divulgación y Formación en Nanotecnología: *Un Puente hacia la Bioética*. 24(53): 483-506.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2007. Classification of Nanomaterials. The Four Main Types of Intentionally Produced Nanomaterials. <https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1872> (Fecha de Consulta: 23 noviembre 2023).
- UPL. (2021). Ficha Técnica. Acramite® 50 WS (Bifenazate). Insecticida Agrícola. *In: CIRANO 40PH (uplonline.com)* (Fecha de consulta: 28 octubre 2023).
- Urbaneja-Bernat, P., Ibáñez-Gual, V., Montserrat, M, Aguilar-Fenollosa, E. y Jaques, J. 2019. Can interactions among predators alter the natural regulation of an herbivore in a climate change scenario? The case of *Tetranychus urticae* and its predators in citrus. *Journal of Pest Science*. 92(3): 1149-1164p.
- Valizadeh, A., Mikaeili, H., Samiei, M., Farkhani, S. M., Zarghami, N., Kouhi, M., Akbarzadeh, A. and Davaran, S. 2012. Quantum dots: synthesis, bioapplications, and toxicity. *Nanoscale research letters*. 7(1): 1-14.
- Van Nieuwenhuysse, P., Demaeght, P., Dermauw, W., Khalighi, M., Stevens, CV, Vanholme, B. y Van Leeuwen, T. 2012. Sobre el modo de acción del bifenazato: nueva evidencia de un sitio objetivo mitocondrial. *Bioquímica y fisiología de plaguicidas*. 104 (2): 88-95.

- Vijayakumar, M., Priya, K., Nancy, F. T., Noorlidah, A. and Ahmed, A. B. A. 2013. Biosynthesis, characterisation and anti-bacterial effect of plant-mediated silver nanoparticles using *Artemisia nilagirica*. *Industrial Crops and Products*. 41:235-240.
- Vrandecic, K., J. Cosic, J. Ilic, B. Ravnjak, A. Selmani, E. Galic, B. Pem, R. Barbir, IV Vrcek y T. Vinkovic. 2020. Antifungal activities of silver and selenium nanoparticles stabilized with different surface coating agents. *Pest management science*. 76(6): 2021-2029.
- Wang, W. N., Tarafdar, J. C. and Biswas, P. 2013. Nanoparticle synthesis and delivery by an aerosol route for watermelon plant foliar uptake. *Journal of nanoparticle research*. 15: 1-13.
- Whalon, M. E., Mota-Sanchez, D. and Hollingworth, R. M. 2008. Analysis of global pesticide resistance in arthropods. In *Global Pesticide Resistance in Arthropods* (pp. 5–31). CABI. <https://doi.org/10.1079/9781845933531.0005>
- Wood, S., Jones, R. and Geldart, A. 2007. Nanotechnology: From the science to the social. *Economic and Social Research Council, Swindon*. http://www.esrcsocietytoday.ac.uk/ESRCInfoCentre/Images/ESRC_Nano07_tcm618918.pdf. (Fecha de consulta: 15 marzo 2023).
- Yasur, J. and Rani, P. U. 2015. Lepidopteran insect susceptibility to silver nanoparticles and measurement of changes in their growth, development and physiology. *Chemosphere*. 124: 92-102.
- Yong-Hua, D., Ren-Yong, J., Zhong-Qiong, Y., Zhong-Hui, P., Jiao, C., Fan, Y., Yu-Qun, Z. and Yang L. 2008. Acaricidal activity of extracts of neem (*Azadirachta indica*) oil against the larvae of the rabbit mite *Sarcoptes scabiei* var. *cuniculi* *in vitro*. *Veterinary Parasitology*. 157(1-2): 144-148.
- Zannou, I. D., Moraes, G. D., Ueckermann, E. A., Oliveira, A. R., Yaninek, J. S., & Hanna, R. 2007. Phytoseiid mites of the subtribe Amblyseiina (Acari: Phytoseiidae: Amblyseiini) from sub-Saharan Africa. *Zootaxa*. 1550(1): 1-47.

Zhang, Z. Q. 2003. Mites of Greenhouses: Identification, Biology and Control. Ed.CABI.
Publishing (ed.) Wallingford, UK. 244 pp.