



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL**

**EXTRACTOS VEGETALES ACUOSOS PARA LA SÍNTESIS
DE NANOPARTÍCULAS: CARACTERIZACIÓN, ACTIVIDAD
INSECTICIDA Y FITOTOXICIDAD**

REPOSITORIO

Que presenta:

Arnoldo Enrique Alfaro Corres

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Doctor en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable

Director de tesis:

Dr. Esaú Ruiz Sánchez

Conkal, Yucatán, México

Octubre, 2024



TecNM

Conkal; Yucatán, México, a 09 de octubre del 2024

El comité de tesis del candidato a grado: Arnoldo Enrique Alfaro Corres, constituido por los CC. Dr. Esaú Ruiz Sánchez, Dr. Daniel González Mendoza, Dr. Arturo Reyes Ramírez, Dr. Rene Garruña Hernández, Dr. Emanuel Hernández Núñez y el Dr. Federico Antonio Gutiérrez Miceli habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **EXTRACTOS VEGETALES ACUOSOS PARA LA SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS: CARACTERIZACIÓN, ACTIVIDAD INSECTICIDA Y FITOTOXICIDAD** que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Ciencias en Agricultura Tropical Sustentable, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE



Dr. Esaú Ruiz Sánchez
Director de Tesis



Dr. Daniel González Mendoza
Co-director de Tesis



Dr. Rene Garruña Hernández
Asesor de Tesis



Dr. Arturo Reyes Ramírez
Asesor de Tesis



Dr. Emanuel Hernández Núñez
Asesor de Tesis



Dr. Federico Antonio Gutiérrez Miceli
Asesor de Tesis



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Conkal
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Conkal, Yucatán, México a 09 de octubre del 2024.

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Arnoldo Enrique Alfaro Corres

Índice de contenido

RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. CAPÍTULO. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES	2
1.3 HIPÓTESIS.....	6
1.4 OBJETIVOS.....	6
1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	7
1.6 LITERATURA CITADA	7
II CAPÍTULO. EXTRACTOS BOTÁNICOS ACUOSOS PARA EL CONTROL DE <i>Spodoptera frugiperda</i> (JE SMITH) EN MAÍZ, SU PERFIL CROMATOGRÁFICO Y COMPATIBILIDAD CON LA ABEJA <i>Melipona beecheii</i> (BENNETT).....	13
2.1 RESUMEN	13
III CAPÍTULO. INSECTICIDAL ACTIVITY AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF NANOPARTICLES FROM FOLIAR EXTRACT OF <i>Capsicum chinense</i>	14
3.1 ABSTRACT.....	14
IV CAPÍTULO. INSECTICIDAL ACTIVITY ON <i>Tribolium castaneum</i> AND <i>Phenacoccus solenopsis</i> AND CHARACTERIZATION OF ACTIVE PHYTONANOPARTICLES.....	15
4.1 ABSTRACT	15
V CAPÍTULO. ACTIVIDAD INSECTICIDA DE NANOPARTÍCULAS BI Y TRIMETÁLICAS DE EXTRACTOS ACUOSOS FOLIARES DE <i>Azadirachta indica</i> CONTRA <i>Tribolium castaneum</i> Y <i>Phenacoccus solenopsis</i>	16
5.1 RESUMEN	16
VI CAPÍTULO. APLICACIÓN FOLIAR DE FITONANOPARTÍCULAS Y SU EFECTO SOBRE PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS Y LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE CHILE HABANERO (<i>Capsicum chinense</i>)	17
6.1 RESUMEN	17

Índice de figuras

I. CAPÍTULO. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
Figura 1.1. Diagrama representativo de la estrategia experimental del proyecto de investigación	7

RESUMEN

Las fitonanopartículas son una alternativa el cual aumenta la eficiencia de los extractos botánicos al combinar los fitoquímicos presente en el extracto junto con iones metálicos. Hoy en día existe poca información sobre los posibles efectos fitotóxicos que estos nanomateriales puedan causar en la planta. Por lo que el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto insecticida y fitotóxico de fitonanopartículas sintetizadas a partir de extractos foliares acuosos.

La estrategia experimental se dividió en tres fases. La primera fase se hizo con el objetivo de determinar el efecto de extractos vegetales acuosos en la disminución del daño por *Spodoptera frugiperda* en maíz y su compatibilidad con la abeja *Melipona beecheii*. Los resultados en esta sección mostraron que los extractos botánicos acuosos (EBA) no presentaron efectos sobre la incidencia del daño por *S. frugiperda* en maíz mientras que los efectos sobre el grado de daño fueron inconsistentes. El carvacrol en el extracto de *Chenopodium ambrosioides*, coumaran en el extracto de *Azadirachta indica*, paeonol en el extracto de *Pluchea sericea* y el ácido octadenoico para *Capsicum chinense* fueron los compuestos mayoritarios presentes en los extractos vegetales. Por otra parte, los EBA no presentaron efectos sobre la supervivencia y la actividad de caminata en *M. beecheii*.

La segunda fase tuvo como objetivo determinar el efecto insecticida de fitonanopartículas de cobre, zinc y manganeso sintetizadas a partir de extracto foliar acuoso de *Capsicum chinense*, *Pluchea sericea*, *Chenopodium ambrosioides* y *Azadirachta indica* sobre *Tribolium castaneum* y *Phenacoccus solenopsis*. Con respecto a los resultados obtenidos en esta sección, se observó que la fitonanopartículas presentaron mayor actividad insecticida en *T. castaneum* comparada con *P. solenopsis*. La combinación de los EBA y los iones metálicos no siempre tuvo como resultado un aumento en la actividad insecticida.

La tercera fase tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de síntesis verde sobre el sistema fotosintético y la actividad antioxidante en *C. chinense*. Los resultados mostraron que la aplicación foliar de las NP en *C. chinense* provoco una disminución significativa en el contenido de clorofila y en la eficiencia fotoquímica de la planta. Del mismo modo, la aplicación de las NP provoco un aumento significativo en la concentración de flavonoides, antocianinas peroxidasas y catalasas en las hojas *C. chinense* en todos los tratamientos a excepción del tratamiento usando manganeso.

ABSTRACT

Phytonanoparticles are an alternative which increases the efficiency of botanical extracts by combining the phytochemicals present in the extract together with metal ions. Today there is little information about the possible phytotoxic effects that these nanomaterials can cause in the plant. Therefore, the objective of the work was to evaluate the insecticidal and phytotoxic effect of phytonanoparticles synthesized from aqueous foliar extracts.

The experimental strategy was divided into three phases. The first phase was carried out with the objective of determining the effect of aqueous plant extracts in reducing damage by *Spodoptera frugiperda* in corn and its compatibility with the bee *Melipona beecheii*. The results in this section showed that aqueous botanical extracts (ABE) had no effects on the incidence of damage by *S. frugiperda* in corn while the effects on the degree of damage were inconsistent. Carvacrol in *Chenopodium ambrosioides* extract, coumaran in *Azadirachta indica* extract, paeonol in *Pluchea sericea* extract and octadenoic acid for *Capsicum chinense* were the major compounds present in the plant extracts. On the other hand, EBA did not present effects on survival and walking activity in *M. beecheii*.

The second phase aimed to determine the insecticidal effect of copper, zinc and manganese phytonanoparticles synthesized from aqueous leaf extract of *Capsicum chinense*, *Pluchea sericea*, *Chenopodium ambrosioides* and *Azadirachta indica* on *Tribolium castaneum* and *Phenacoccus solenopsis*. Regarding the results obtained in this section, it was observed that the phytonanoparticles presented greater insecticidal activity in *T. castaneum* compared to *P. solenopsis*. The combination of EBAs and metal ions did not always result in an increase in insecticidal activity.

The third phase aimed to evaluate the effect of foliar application of green synthesis nanoparticles on the photosynthetic system and antioxidant activity in *C. chinense*. The results showed that the foliar application of NPs in *C. chinense* caused a significant decrease in the chlorophyll content and photochemical efficiency of the plant. Similarly, the application of NPs caused a significant increase in the concentration of flavonoids, anthocyanin peroxidases and catalases in *C. chinense* leaves in all treatments except for the treatment using manganese.

I. CAPÍTULO. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 INTRODUCCIÓN

Los extractos vegetales han atraído la atención en la agricultura orgánica como convencional debido a su potencial contra plagas tanto en el campo como en el almacenamiento posterior a la cosecha, siendo productos más seguros, biodegradables y respetuosos con el ambiente comparado con los insecticidas químicos convencionales (Seepe *et al.*, 2021). La investigación sobre insecticidas botánicos se basa principalmente en derivados de las familias de plantas Meliaceae, Lamiaceae, Asteraceae, Myrtaceae, Rutaceae y Fabaceae, donde los estudios están dirigidos principalmente a diversas especies de los órdenes coleóptera, díptera y lepidóptera (Turchen *et al.*, 2020). La eficacia de estos productos botánicos se debe a la diversidad de compuestos bioactivos que las plantas desarrollan para su protección, como por ejemplo alcaloides, ácidos fenólicos, flavonoides, saponinas, esteroides, taninos, entre otros (Pereira *et al.*, 2024).

Las nanopartículas (NP) son partículas de 1 a 100 nm de diámetro las cuales se han utilizado en diversos campos de la ciencia, de manera particular, el interés en la agricultura ha crecido debido a sus aplicaciones en el desarrollo tecnológico de fertilizantes, plaguicidas y reguladores de crecimiento (Bahrulolum *et al.*, 2021; Harish *et al.*, 2022). Dentro de la síntesis biológica de nanopartículas, el uso de extractos vegetales (síntesis verde) ha ganado importancia debido a la facilidad de síntesis ya que los extractos vegetales se pueden obtener de recursos disponibles de manera local, y por lo tanto son económicamente viables (Rónavári *et al.*, 2021; Saravanan *et al.*, 2021). Se ha demostrado que las nanopartículas metálicas de síntesis verde (fitonanopartículas) pueden tener mayor actividad que los extractos vegetales puros, debido a que existe un efecto sinérgico entre los compuestos bioactivos presentes en los extractos de plantas y los iones metálicos (Sharmila *et al.*, 2018; Murthy *et al.*, 2020). El efecto sinérgico depende tanto del metal utilizado como del extracto de manera conjunta, por ejemplo, contra *Phenacoccus solenopsis*, se encontró un aumento de 12 y 20% en la mortalidad cuando se aplicó nanopartículas de cobre (CuNP) a partir de *Pluchea sericea* y *Prosopis juliflora*, respectivamente, comparado con el extracto puro, por otra parte, usando NP bimetálicas de Cu/Zn a base de *P. juliflora* y *Crotalaria longirostrata* presentaron un aumento de 27-35% comparada con su extracto puro (Mendez-Trujillo *et al.*, 2019, 2022; León-Jimenez *et al.*, 2019), finalmente, NP a base de *Capsicum chinense*

presentaron hasta 28% más de actividad comparada con el extracto puro contra *Tribolium castaneum* y *P. solenopsis* (Alfaro-Corres *et al.*, 2023).

Pese a lo antes mencionado, el uso de las NP como agentes de protección vegetal ha suscitado preocupaciones en todo el mundo sobre los posibles efectos fitotóxicos de estos nanomateriales (Giorgetti, 2019). Se ha documentado que las FNP pueden presentar efectos positivos o efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de las plantas, esto va a depender de las propiedades fisicoquímicas de las FNP, la etapa de desarrollo de la planta, así como las condiciones experimentales incluyendo la duración y el tiempo de exposición de las FNP en la planta (Yan y Chen, 2019; Zhang *et al.*, 2021).

Por lo anterior, en la búsqueda de estrategias sustentables de manejo de plagas amigables con el ambiente, es fundamental la evaluación de nuevos productos que sean más efectivos contra las plagas sin tener efectos tóxicos en la planta ni en plagas no objetivo.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Principales plagas en la agricultura

Los insectos fitófagos (plagas) utilizan plantas cultivadas como fuente de alimento, causando pérdidas significativas en los cultivos a nivel mundial tanto por daños directos como por la transmisión de enfermedades (Yactayo-Chang *et al.*, 2020; Ahmed *et al.*, 2021;). Las consecuencias de las infestaciones de los insectos plaga son considerables, ya que se estima que causan aproximadamente entre el 18–20% de las pérdidas en la producción total anual mundial durante el crecimiento, la cosecha y el almacenamiento (Sharma *et al.*, 2017; Souto *et al.*, 2021).

Las plagas se pueden clasificar como defoliadores, chupadoras y de granos almacenados. Los defoliadores, impiden el potencial fotosintético al reducir el área foliar, provocando una reducción en el crecimiento vegetativo y la productividad agrícola. El daño causado por los defoliadores va desde la alimentación parcial hasta el consumo completo de la planta (Damasceno *et al.*, 2019), por otro lado, los insectos chupadores succionan la savia de las plantas, donde la alimentación prolongada produce interrupción en el movimiento de fotosintatos en las plantas, resultando en la pérdida de vigor de las plantas y en muchos casos la propagación de enfermedades virales (Singh *et al.*, 2019). Derivado de estos daños, algunos insectos chupadores más importantes pueden provocar más del 75% de daño en cultivos (Sahu y Samal, 2020). Finalmente, los insectos que infestan granos almacenados

causan pérdidas de hasta el 30% de la producción agrícola. Los insectos causan daño a granos y legumbres al ser consumidos directamente o a través de la acumulación de cadáveres de los mismos insectos, lo que hace que el grano no sea apto para el consumo humano (Singh *et al.*, 2021).

Dentro de estos insectos plagas se encuentra el escarabajo de la harina (*Tribolium Castaneum* Herbst), el cual es una de las plagas más importante de granos almacenados, ya que infesta alrededor de 233 tipos de granos (Hagstrum *et al.*, 2013) y se estima que son responsables del 20% de las pérdidas de alimentos a nivel mundial y hasta un 50% en algunos países en desarrollo (Yun *et al.*, 2018). Por otra parte, la cochinilla de las hortalizas (*Phenacoccus solenopsis*) es un insecto polífago presente en más de 300 especies de plantas, en particular en solanáceas y malváceas cultivadas, donde se han registrado pérdidas en el rendimiento del 30–60 % en países en desarrollo (Fand y Suroshe, 2015; Ricupero *et al.*, 2021).

1.2.2 Problemática del uso de insecticidas químicos en la agricultura

El uso de insecticidas químicos es una forma eficaz de luchar contra insectos plagas, y actualmente siendo la principal estrategia de manejo de plagas en la agricultura (Taillebois y Thany, 2022). Los insecticidas de mayor uso son aquellos que actúan en el sistema nervioso o muscular de los insectos, como los neonicotinoides, avermectinas y diamidas. Los neonicotinoides actúan como agonistas de los receptores nicotínicos de acetilcolina, los cuales no pueden ser degradados por la acetilcolinesterasa (AChE) del insecto, conduciendo una sobreestimulación de la sinapsis colinérgica provocando la muerte de los insectos (Tan *et al.* 2007). Las avermectinas son activadores de los receptores de glutamato y GABA en los canales de cloro, éstos provocan la entrada de iones cloro en las células neuronales lo que conduce a la hiperpolarización y la posterior parálisis de los sistemas neuromusculares y luego a la muerte (El-Saber Batiha *et al.*, 2020). Las diamidas son activadores de receptores de rianodina en los canales de calcio, éstas al unirse a los receptores de la rianodina activan la liberación descontrolada de las reservas de calcio causando interrupción de la alimentación, letargo, parálisis y muerte en el insecto (Richardson *et al.*, 2020).

El uso excesivo de insecticidas químicos ha provocado contaminación ambiental, residualidad de insecticidas en polen y néctar de los cultivos tratados, y reducción de la diversidad o abundancia de los insectos benéficos como polinizadores (Siviter y Muth, 2020; Taillebois y Thany, 2022). Otro de los efectos negativos de los insecticidas es la resistencia

de parte de los insectos a través de la mutación del sitio del sitio de acción o de la desintoxicación mediada por la sobreproducción de enzimas (Taillebois y Thany, 2022).

1.2.3 Síntesis verde de NP mediante extractos vegetales

La síntesis de NP se ha llevado a cabo utilizando tres enfoques diferentes, incluidos métodos físicos, químicos y biológicos (síntesis verde). Para superar las deficiencias como la poca estabilidad, el alto consumo de energía y uso de equipo especializado de los métodos físicos, así como los subproductos tóxicos y las altas temperaturas en el método químico (Huynh *et al.*, 2020), la síntesis verde entra como una alternativa para superar estas deficiencias al ser más rentable, menos toxica y respetuosa con el medio ambiente (Kulkarni *et al.*, 2023).

Las plantas al ser reservorios de varios componentes como taninos, vitaminas, alcaloides, polisacáridos, flavonoides, taninos, terpenoides y saponinas, desempeñan un papel importante en el proceso de bio-reducción y estabilización en la síntesis de NP, además de actuar como agentes causantes de la actividad biológica (Amini *et al.*, 2019; Kulkarni *et al.*, 2023). Las biomoléculas en el extracto funcionan como un agente reductor al proporcionar electrones a los iones metálicos, lo que lleva a su reducción al metal elemental. Los átomos formados funcionan como un centro de nucleación, seguido de un período de crecimiento en el que las partículas adyacentes más pequeñas se combinan para crear NP más grandes. En la etapa final de la síntesis, el extracto botánico estabiliza la NP determinando así su morfología energéticamente estable (Radulescu *et al.*, 2023).

1.2.4 Potencial de las fitonanopartículas en la protección contra plagas

El uso de fitonanopartículas (FNP) juega un papel clave en la mayoría de las tecnologías, incluyendo la agricultura; entre los diferentes productos formulados están los nanoplaguicidas y nanofertilizantes, éstos pueden ayudar a aumentar la calidad y rendimiento de los productos agrícolas, reducir la contaminación ambiental y proteger de forma prolongada a los cultivos (Usman *et al.*, 2020; Bahrulolum *et al.*, 2021). Con respecto a los nanoplaguicidas, estos tienen el ingrediente activo recubierto por diferentes nanomateriales lo cual ayuda a la liberación controlada, la persistencia de ingredientes activos dentro de los cultivos, además, ofrecen mayor solubilidad, biodegradabilidad y mayor penetración a nivel celular (Bahrulolum *et al.*, 2021).

Se ha demostrado que las nanopartículas metálicas de síntesis verde (fitonanopartículas) pueden tener mayor actividad que los extractos vegetales puros, debido a que existe un efecto sinérgico entre los compuestos bioactivos presentes en los extractos de plantas y los iones metálicos (Sharmila *et al.*, 2018; Murthy *et al.*, 2020). El efecto sinérgico depende tanto del metal utilizado como del extracto de manera conjunta, por ejemplo, las nanopartículas de Ag derivadas de *Ocimum basilicum*, *Azadirachta indica*, *Zingiber officinale*, *Allium cepa*, *Nicotiana tabacum*, *Mentha Arvensis*, *Datura stramonium* y *Dicrocephala integrifolia* tuvieron alta actividad insecticida contra *Spodoptera* spp. (Jafir *et al.*, 2021; Tahir *et al.*, 2022; Manimegalai *et al.*, 2022). Por otra parte, las nanopartículas de Cu y Ag derivadas de extracto de *A. indica* tuvo alta efectividad contra *Bactrocera dorsalis* (Paragas *et al.*, 2021).

1.2.5 Efectos fitotóxicos de las fitonanopartículas (FNP)

Pese a todo lo antes mencionado, todavía existe incertidumbre sobre el alcance, los efectos y el umbral de toxicidad para el uso seguro de las nanopartículas (Garg *et al.*, 2021). De manera general se ha documentado que las NP de síntesis verde suelen ser menos tóxicas que las de síntesis química (Radulescu *et al.*, 2023). En plantas, la aplicación de NP de síntesis verde ha mostrado algunos efectos positivos en lugar de efectos tóxicos, aunque esto depende de varios parámetros interrelacionados, como el tamaño de las nanopartículas, la composición química, la dosis y el tiempo de exposición (Yan y Chen, 2019; Zhang *et al.*, 2021).

Con respecto al efecto fitotóxicos de las NP de síntesis verde, a nivel morfológico se ha documentado efectos positivos en la germinación, la longitud de raíz, altura de brotes, número de hojas y peso en *Cicer arietinum* y *Triticum aestivum* (Sathiyabama *et al.*, 2020; Kausar *et al.*, 2022;), en cambio, se ha documentado efectos negativos en la altura y el peso seco en *Camelina sativa* (Mirmoeini *et al.*, 2021). Por otra parte, a nivel bioquímico, se ha logrado incrementar el contenido de fenoles, azúcares, proteínas, enzimas antioxidantes, metabolitos secundarios, así como de compuestos bioactivos en frutos en *Triticum aestivum*, *Solanum lycopersicum* y *Stevia rebaudiana* (Velázquez-Gamboa *et al.*, 2020; Ashraf *et al.*, 2021; Kausar *et al.*, 2022), datos contrarios fueron encontrados en *Annona muricata* y *Arachis hypogaea* donde la aplicación de NP provocaron la disminución en la concentración de hormonas, perfiles de ácidos grasos, antocianinas y flavonoides (Jonapá-Hernández *et al.*, 2020; Santos-Espinoza *et al.*, 2021).

1.3 HIPÓTESIS

La actividad insecticida de las nanopartículas sintetizadas a partir de extractos vegetales es mayor que los extractos vegetales acuosos, y su aplicación al follaje no causa alteraciones en el sistema fotosintético ni en la actividad antioxidante de las plantas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto insecticida y fitotóxico de fitonanopartículas de cobre, zinc y manganeso sintetizadas a partir de extractos foliar acuosos.

1.4.2 Objetivos específicos

- I. Determinar el efecto de extractos vegetales acuosos en la disminución del daño por *spodoptera frugiperda* en maíz y su compatibilidad con la abeja *Melipona beecheii*
- II. Determinar la efectividad insecticida de fitonanopartículas de cobre, zinc y manganeso sintetizadas a partir de extracto foliar acuoso de *Capsicum chinense*, *Pluchea sericea*, *Chenopodium ambrosioides* y *Azadirachta indica* sobre *Tribolium castaneum* y *Phenacoccus solenopsis*.
- III. Evaluar el efecto de la aplicación foliar de nanopartículas de síntesis verde sobre los pigmentos fotosintético y la actividad antioxidante en *Capsicum chinense*.

1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

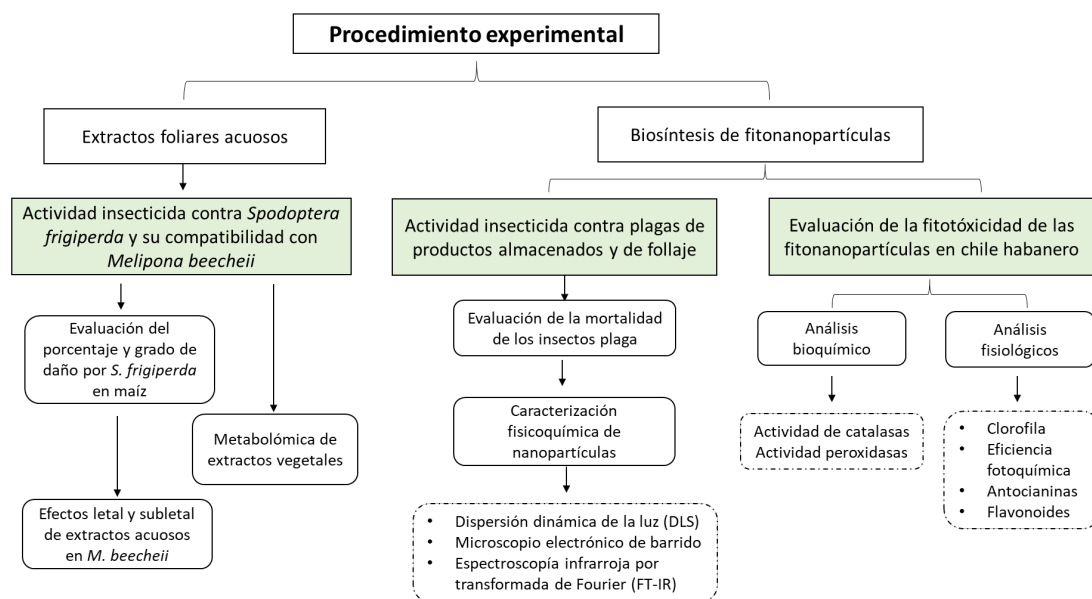


Figura 1.1. Diagrama representativo de la estrategia experimental del proyecto de investigación donde 1) Actividad insecticida de los extractos foliares acuosos sobre *Spodoptera frugiperda* y su compatibilidad con *Melipona beecheii* 2) Actividad insecticida de fitonanopartículas contra plagas de productos almacenados y de follaje 3) Actividad fitotóxica de nanopartículas en chile habanero.

1.6 LITERATURA CITADA

- Ahmed N, Alam M, Saeed M, Ullah H, Iqbal T, Al-Mutairi KA, Shahjeer K, Ullah R, Ahmed S, Ahmed NAAH, Khater HF, Salma M. 2021. Global Decline of Insects, Chapter 6: Botanical insecticides are not-toxic alternative to conventional pesticides in the control of insects and pests. Ed. Hamadttu Abdel Farag El-Shafie. IntechOpen.
- Alfaro-Corres AE, González-Mendoza D, Ruiz-Sánchez E, Ail-Catzim C, Valdez-Salas B, Gutiérrez-Miceli F, Reyes-Ramírez A, Pierre JF. 2023. Insecticidal activity and physicochemical characterization of nanoparticle from foliar extract of *Capsicum chinense*. Journal of Renewable Materials 11(11): 3933-43. <https://doi.org/10.32604/jrm.2023.031129>.
- Amini SM. 2019. Preparation of antimicrobial metallic nanoparticles with bioactive compounds. Materials Science and Engineering: C 103: 109809. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.109809>.
- Ashraf H, Anjum T, Riaz S, Ahmad IS, Irudayaraj J, Javed S, Qaiser U, Naseem S. 2021. Inhibition mechanism of green-synthesized copper oxide nanoparticles from *Cassia fistula* towards *Fusarium*

- oxysporum by boosting growth and defense response in tomatoes. *Environmental Science: Nano* 8: 1729-1748. <https://doi.org/10.1039/D0EN01281E>.
- Bahrulolum H, Nooraei S, Javanshir N, Tarrahimofrad H, Mirbagheri VS, Easton AJ, Ahmadian G. 2021. Green synthesis of metal nanoparticles using microorganisms and their application in the agrifood sector. *Journal of Nanobiotechnology* 19(1):86. <https://doi.org/10.1186/s12951-021-00834-3>.
- Damasceno LJ, Silva VFA, da Silva JN, Silva PA, Lima CC, da Silva JP, Galvão JR, Melo NC, Valente GF. 2019. Defoliation levels supported in soybean crop with no harm on productivity in the municipality of Parauapebas. *Journal of Agricultural Science* 11(17):227-234. <https://doi.org/10.5539/jas.v11n17p227>.
- El-Saber Batiha G, Alqahtani A, Ilesanmi OB, Saati AA, El-Mleeh A, Hetta HF, Beshbishy AM. 2020. Avermectin derivatives, pharmacokinetics, therapeutic and toxic dosages, mechanism of action, and their biological effects. *Pharmaceuticals* 13:196. <https://doi.org/10.3390/ph13080196>.
- Fand B, Suroshe S. 2015. The invasive mealybug *Phenacoccus solenopsis* Tinsley, a threat to tropical and subtropical agricultural and horticultural production systems - a review. *Crop Protection* 69:34–43. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.12.001>.
- Garg R, Rani P, Garg R, Eddy NO. 2021. Study on potential applications and toxicity analysis of green synthesized nanoparticle. *Turkish Journal of Chemistry* 45:1690-1706. <https://doi.org/10.3906/kim-2106-59>.
- Giorgetti L. 2019. Effects of nanoparticles in plants. *Nanomaterials in plants*. *Algae Microorgan* 2:65–87. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811488-9.00004-4>.
- Hagstrum D, Klejdysz T, Subramanyam B, Nawrot J. 2013. Atlas of stored-product insects and mites, AACC International, Inc, St. Paul, Minnesota, U.S.A, 2013.
- Harish V, Tewari D, Gaur M, Yadav AB, Swaroop S, Bechelany M, Barhoum A. 2022. Review on nanoparticles and nanostructured materials: bioimaging, biosensing, drug delivery, tissue engineering, antimicrobial, and agro-food applications. *Nanomaterials (Basel)* 12(3):457. <https://doi.org/10.3390/nano12030457>.
- Huynh KH, Pham XH, Kim J, Lee SH, Chang H, Rho WY, Jun BH. 2020. Synthesis, properties, and biological applications of metallic alloy nanoparticles. *International journal of molecular sciences* 21(14): 5174. <https://doi.org/10.3390/ijms21145174>.
- Jafir M, Ahmad JN, Arif MJ, Ali S, Ahmad SJN. 2021. Characterization of *Ocimum basilicum* synthesized silver nanoparticles and its relative toxicity to some insecticides against tobacco cutworm, *Spodoptera litura* Feb. (Lepidoptera; Noctuidae). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 218: 112278. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112278>.
- Jonapá-Hernández F, Gutiérrez-Miceli F, Santos-Espinosa A, Ruiz Lau N, Ruiz-Valdiviezo V, Valdez-Salas B, González-Mendoza D. 2020. Foliar application of green nanoparticles in *Annona muricata* L.

- plants and their effects in physiological and biochemical parameters. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 28: 101751. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101751>.
- Kausar H, Mehmood A, Khan RT, Ahmad KS, Hussain S, Nawaz F, Iqbal MS, Nasir M, Ullah TS. 2022. Green synthesis and characterization of copper nanoparticles for investigating their effect on germination and growth of wheat. *PLOS ONE* 17(6): e0269987. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269987>.
- Kulkarni D, Sherkar R, Shirsathe C, Sonwane R, Varpe N, Shelke S, More MP, Pardeshi SR, Dhaneshwar G, Junnuthula V, Dyawanapelly S. 2023. Biofabrication of nanoparticles: sources, synthesis, and biomedical applications. *Frontiers in bioengineering and biotechnology* 11: 1159193. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1159193>.
- León-Jimenez E, valdéz-salas B, González-Mendoza D, Tzintzun-Camacho O (2019) Synthesis and insecticide activity of Cu-nanoparticles from *Prosopis juliflora* (Sw) DC and *Pluchea sericea* (Nutt) on *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 78: 2.
- Manimegalai T, Raguvanan K, Kalpana M, Ajarem AJS, Allam AA, Khim JS, Maheswaran R. 2022. Bio efficacy of synthesised silver nanoparticles using *Dicrocephala integrifolia* leaf extract and their insecticidal activity. *Materials Letters* 314:131860. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.131860>.
- Mendez-Trujillo V, Valdez-Salas B, Curiel-Alvarez MA, Beltran-Partida E, Alfaro-Corres A, Ruiz-Sanchez E, Bautista-Trujillo G, Tzintzun-Camacho O, Grimaldo-Juarez O, Ceceña-Duran C, Ail-Catzin C, et al., 2022. Insecticidal effect of green bimetallic nanoparticles from *Crotalaria Longirostrata* on Cotton Mealybug, *Phenacoccus solenopsis*. *Journal of Renewable Materials* 10(10): 2543-2552. <https://doi.org/10.32604/jrm.2022.020965>.
- Mendez-Trujillo V, Valdez-Salas B, Carrillo-Beltran M, Curiel-Alvarez MA, Tzintzun-Camacho O, Ceceña-Duran C, Gonzalez-Mendoza D. 2019. Green synthesis of bimetallic nanoparticles from *Prosopis juliflora* (Sw) DC., and its effect against cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* (Hemiptera:Pseudococcidae). *Phyton* 88(3):269-275. <https://doi.org/10.32604/phyton.2019.07316>.
- Mirmoeini T, Pishkar L, Kahrizi D, Barzin G, Karimi N. 2021. Phytotoxicity of green synthesized silver nanoparticles on *Camelina sativa* L. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 27:417-427. <https://doi.org/10.1007/s12298-021-00946-y>.
- Murthy HCA, Desalegn T, Kassa M, Abebe B, Assefa T. 2020. Synthesis of green copper nanoparticles using medicinal plant *Hagenia abyssinica* (Brace) JF. Gmel. leaf extract: Antimicrobial properties. *Journal of Nanomaterials* 2020: 3924081. <https://doi.org/10.1155/2020/3924081>.
- Paragas DS, Cruz KDC, Fiegalan ER. 2021. Fermented Neem (*Azadirachta indica*) leaves-metal nanoparticles and their insecticidal properties against *Bactrocera dorsalis* (Hendel). *Indian Journal of Science and Technology* 14(17): 1338-1346. <https://doi.org/10.17485/IJST/v14i17.631>.

- Pereira V, Figueira O, Castilho PC. 2024. Flavonoids as insecticides in crop protection-A review of current research and future prospects. *Plants* (Basel, Switzerland) 13(6): 776. <https://doi.org/10.3390/plants13060776>.
- Radulescu DM, Surdu VA, Fikai A, Fikai D, Grumezescu AM, Andronescu E. 2023. Green synthesis of metal and metal oxide nanoparticles: A review of the principles and biomedical applications. *International journal of molecular sciences* 24(20): 15397. <https://doi.org/10.3390/ijms242015397>.
- Richardson EB, Troczka BJ, Gutbrod O, Davies GE, Nauen R. 2020. Diamide resistance: 10 years of lessons from lepidopteran pests. *Journal of Pest Science* 93: 911–928. <https://doi.org/10.1007/s10340-020-01220-y>.
- Ricupero M, Biondi A, Russo A, Zappalà L, Mazzeo G. 2021. The cotton mealybug is spreading along the mediterranean: First pest detection in Italian tomatoes. *Insects* 12(8):675. <https://doi.org/10.3390/insects12080675>.
- Rónavári A, Igaz N, Adamecz DI, Szerencsés B, Molnar C, Kónya Z, Pfeiffer I, Kiricsi M. 2021. Green silver and gold nanoparticles: Biological synthesis approaches and potentials for biomedical applications. *Molecules* 26(4): 844. <https://doi.org/10.3390/molecules26040844>.
- Sahu BK, Samal I. 2020. Sucking pest complex of cotton and their management: A review. *The Pharma Innovation Journal* 9(5): 29-32.
- Santos-Espinoza AM, González-Mendoza D, Ruiz-Valdiviezo VM, Luján-Hidalgo MC, Jonapa-Hernández F, Valdez-Salas B, Gutiérrez-Miceli FA. 2021. Changes in the physiological and biochemical state of peanut plants (*Arachis hypogaea* L.) induced by exposure to green metallic nanoparticles. *International Journal of Phytoremediation* 23(7): 747-754. <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1856037>
- Saravanan A, Kumar PS, Karishma S, Vo DVN, Jeevanantham S, Yaashikaa PR, George CS. 2021. A review on biosynthesis of metal nanoparticles and its environmental applications. *Chemosphere* 264:128580. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128580>.
- Sathiyabama M, Indhumathi M, Amutha T. 2020. Preparation and characterization of curcumin functionalized copper nanoparticles and their application enhances disease resistance in chickpea against wilt pathogen. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 29: 101823. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101823>.
- Seepe HA, Nxumalo W, Amoo SO. 2021. Natural products from medicinal plants against phytopathogenic *Fusarium* species: current research endeavours, challenges and prospects. *Molecules* (Basel, Switzerland) 26(21): 6539. <https://doi.org/10.3390/molecules26216539>.

- Sharma S, Kooner R, Arora R. 2017. Insect pests and crop losses. In: Arora R, Sandhu S. (eds) Breeding insect resistant crops for sustainable agriculture. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6056-4_2.
- Sharmila G, Thirumarimurugan M, Muthukumaran C. 2018. Green synthesis of ZnO nanoparticles using *Tecoma castanifolia* leaf extract: characterization and evaluation of its antioxidant, bactericidal and anticancer activities. *Microchemical Journal* 145: 578-587. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.11.022>.
- Singh KD, Mobolade AJ, Bharali R, Sahoo D, Rajashekar Y. 2021. Main plant volatiles as stored grain pest management approach: A review. *Journal of Agriculture and Food Research* 4: 100127. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100127>.
- Singh M, Bairwa DK, Jat BL. 2019. Seasonal incidence of sucking insect pest of green gram. *Journal of Entomology and Zoology studies* 7(2): 654-658.
- Siviter H, Muth F. 2020. Do novel insecticides pose a threat to beneficial insects?. *Proceedings of the Royal Society B* 287(1935): 20201265. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.1265>.
- Souto AL, Sylvestre M, Tölke ED, Tavares JF, Barbosa-Filho JM, Cebrián-Torrejón G. 2021. Plant-derived pesticides as an alternative to pest management and sustainable agricultural production: prospects, applications and challenges. *Molecules* 26(16):4835. <https://doi.org/10.3390/molecules26164835>.
- Taillebois E, Thany SH. 2022. The use of insecticide mixtures containing neonicotinoids as a strategy to limit insect pests: Efficiency and mode of action. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 184: 105126. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2022.105126>.
- Tan J, Galligan JJ, Hollingworth RM. 2007. Agonist actions of neonicotinoids on nicotinic acetylcholine receptors expressed by cockroach neurons. *NeuroToxicology* 28(4): 829–842. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2007.04.002>.
- Tahir AH, Tariq M, Shehzad M. 2022. Management of fall army word of maize, *Spodoptera frugiperda*, with green synthesis silver nanoparticle. *Plant protection* 6(3): 187-192. <https://doi.org/10.33804/pp.006.03.4294>.
- Turchen LM, Cosme-Júnior L, Guedes RNC. 2020. Plant-derived insecticides under meta-analyses: status, biases, and knowledge Gaps. *Insects* 11(8): 532. <https://doi.org/10.3390/insects11080532>.
- Usman M, Farooq M, Wakeel A, Nawaz A, Cheema SA, Ur Rehman H, Ashraf I. Sanaullah M. 2020. Nanotechnology in agriculture: current status, challenges and future opportunities. *Science of the Total Environment* 721: 137778. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137778>.
- Velázquez-Gamboa MC, Rodríguez-Hernández L, Abud-Archila M, Gutiérrez-Miceli FA, González-Mendoza D, Valdez-Salas B, González-Terreros E, Luján-Hidalgo MC. 2020. Agronomic biofortification of *Stevia rebaudiana* with zinc oxide (ZnO) phytonanoparticles and antioxidant compounds. *Sugar Tech* 23: 453-460. <https://doi.org/10.1007/s12355-020-00897-w>.

- Yactayo-Chang JP, Tang HV, Mendoza J, Christensen SA, Block AK. 2020. Plant defense chemicals against insect pests. *Agronomy* 10(8): 1156. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081156>.
- Yan A, Chen, Z. 2019. Impacts of silver nanoparticles on plants: a focus on the phytotoxicity and underlying mechanism. *International journal of molecular sciences* 20(5): 1003. <https://doi.org/10.3390/ijms20051003>.
- Yun TS, Park SY, Yu J, Hwang Y, Hong KJ. 2018. Isolation and identification of fungal species from the insect Pest *Tribolium castaneum* in rice processing complexes in Korea. *The Plant Pathology Journal* 34(5):356-366. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.02.2018.0027>.
- Zhang H, Chen S, Jia X, Huang Y, Ji R, Zhao L. 2021. Comparison of the phytotoxicity between chemically and green synthesized silver nanoparticles. *Science of the Total Environment* 752: 142264. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142264>.

II CAPÍTULO. EXTRACTOS BOTÁNICOS ACUOSOS PARA EL CONTROL DE *Spodoptera frugiperda* (JE SMITH) EN MAÍZ, SU PERFIL CROMATOGRÁFICO Y COMPATIBILIDAD CON LA ABEJA *Melipona beecheii* (BENNETT)

Esaú Ruiz-Sánchez, Arnoldo E. Alfaro-Corres*, Daniel González-Mendoza, Federico A. Gutiérrez-Miceli, Arturo Reyes-Ramírez, René Garruña-Hernández, Emanuel Hernández-Núñez.

(Enviado a Tropical and Subtropical Agrosystem)

*Autor de correspondencia: enrique_alfa_corres@hotmail.com.

2.1 RESUMEN

El gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) es una especie que actualmente está distribuida a nivel mundial, su principal método de control es mediante insecticidas químicos. Una de las alternativas al uso de insecticidas convencionales son los extractos botánicos los cuales son amigables con el ambiente. Sin embargo, en algunos casos se ha documentado que estos compuestos botánicos pueden llegar a presentar actividad insecticida contra insectos no objetivos tales como las abejas. Por lo anterior, se realizó el presente estudio para evaluar extractos botánicos acuosos (EBA) de *Pluchea sericea*, *Chenopodium ambrosioides*, *Capsicum chinense* y *Azadirachta indica* en la disminución del daño de *Spodoptera frugiperda* en maíz bajo condiciones de campo, su toxicidad en la abeja sin aguijón *Melipona beecheii* y el perfil fitoquímico de los EBA. Se sembró de maíz blanco Sorento® (Syngenta México) en el área de producción e investigación hortícola del Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal, ubicado en Conkal, Yucatán. México. En la etapa vegetativa V5 del maíz se aplicaron cada 3er día los extractos botánicos acuosos de *Pluchea sericea*, *Chenopodium ambrosioides*, *Capsicum chinense* y *Azadirachta indica*, a 7 días se evaluó el porcentaje de incidencia y el grado de daño por *S. frugiperda* en maíz. Por otro lado, se recolectaron abejas sin aguijón *M. beecheii* y se llevaron al laboratorio donde se realizó la prueba de toxicidad oral. La identificación y cuantificación de los fitoquímicos de los extractos vegetales se realizó mediante análisis de cromatografía de gases acoplada a masas.

III CAPÍTULO. INSECTICIDAL ACTIVITY AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF NANOPARTICLES FROM FOLIAR EXTRACT OF *Capsicum chinense*

Arnoldo Enrique Alfaro–Corres, Daniel González–Mendoza, Esaú Ruiz–Sánchez*, Carlos Ail–Catzin, Benjamín Valdez–Salas, Federico Antonio Gutiérrez–Miceli, Arturo Reyes–Ramírez, Jacques Fils Pierre.

(Publicado en: Journal of Renewable Materials; doi:10.32604/jrm.2023.031129)

*Autor de correspondencia: esau.ruiz@itconkal.edu.mx

3.1 ABSTRACT

This work was carried out to evaluate the insecticidal effect of mono, bi and trimetallic nanoparticles (NPs) from leaf extract of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) on the red flour beetle (*Tribolium castaneum* herbst.) and cotton mealybug (*Phenacoccus solenopsis* Tinsley). The results showed that Cu NPs, Cu/Mn NPs and Zn/Cu NPs had high insecticidal effect against *T. castaneum* (63 – 80 % mortality after 96 h). The Cu NPs and Zn/Cu NPs showed also insecticidal effect against *P. solenopsis*, but to a lesser extent (20 - 28% after 96 h). With regards to the physicochemical characterization, Cu NPs had a zeta potential of 21.1 mV, whereas Cu/Mn NPs and Zn/Cu NPs exhibited zeta potentials of 200 mV. The polydispersity index (PDI) values for Cu NPs, Cu/Mn NPs, and Zn/Cu NPs were 10.1, 29.16, and 14.34, respectively. The TF-IR spectra of the NPs varied from 600 to 4000 cm⁻¹. The EDX weight percentages showed the presence of Cu (0.29–2.4%), Mn (1.4%), and Zn (2.6%) in Cu/Mn NPs and Zn/Cu NPs, respectively.

IV CAPÍTULO. INSECTICIDAL ACTIVITY ON *Tribolium castaneum* AND *Phenacoccus solenopsis* AND CHARACTERIZATION OF ACTIVE PHYTONANOPARTICLES

Arnoldo E. Alfaro-Corres, Benjamín Valdez-Salas, Daniel González-Mendoza*, Olivia Tzintzun-Camacho, Esaú Ruiz-Sánchez, Ernesto Beltran-Partida, Federico Gutiérrez-Miceli.

(Publicado en: Biocatalysis and Agricultural Biotechnology; doi: 10.1016/j.bcab.2024.103291)

*Autor de correspondencia: danielg@uabc.edu.mx

4.1 ABSTRACT

Phytonanoparticle can be used as an alternative method of pest control in agriculture. The objective of this study was to evaluate the insecticidal activity of mono, bi and trimetallic phytonanoparticles (PNPs) synthesized from cachanilla (*Pluchea sericea* Nutt. Coville) and epazote (*Chenopodium ambrosioides* L.) against the red flour beetle (*Tribolium castaneum*) and the cotton mealybug (*Phenacoccus solenopsis*). Overall, *T. castaneum* showed greater sensitivity to NPs than *P. solenopsis*. The trimetallic NPs, Zn/Cu/Mn of *P. sericea* showed significantly higher effect against *T. castaneum* than the crude aqueous extract of *P. sericea*. No other PNPs showed more effect than their respective aqueous plant extract. Physicochemical characterization of the most active PNPs showed that the Zn/Cu/Mn NP of *P. sericea* had a strong zeta potential of +200 mV, hydrodynamic size of 16 nm, and contains zinc (6.73%), copper (0.13%), and manganese (4.69%). This study suggests that the trimetallic Zn/Cu/Mn PNPs of *P. sericea* have high insecticidal effect on *T. castaneum*, but low toxicity on *P. solenopsis*. Additional research on the mode of action of PNP on insect targets is required.

V CAPÍTULO. ACTIVIDAD INSECTICIDA DE NANOPARTÍCULAS BI Y TRIMETÁLICAS DE EXTRACTOS ACUOSOS FOLIARES DE *Azadirachta indica* CONTRA *Tribolium castaneum* Y *Phenacoccus solenopsis*

Arnoldo Enrique Alfaro-Corres, Daniel González-Mendoza, Esaú Ruiz-Sánchez, Carlos Ail-Catzin, Benjamín Valdez-Salas.

*Autor de correspondencia: esau.ruiz@itconkal.edu.mx; enrique_alfa_corres@hotmail.com.

5.1 RESUMEN

El neem (*Azadirachta indica*) ha sido reconocido por su amplia gama de propiedades beneficiosas, incluidas las de la agricultura para el control de plagas y enfermedades. Los principales trabajos sobre la actividad insecticida de esta planta se han desarrollado principalmente en semillas, encontrando efectos sobre *Sahlbergella singularis*, *Tribolium castaneum*, *Schistocerca gregaria* y *Spodoptera frugiperda*. En contraste con estos trabajos, los estudios usando extractos foliares son limitados. La síntesis verde de nanopartículas (NP) es un proceso mediante el cual los fitoquímicos de extractos vegetales se combina con iones metálicos, ayudando a estabilizar a la NP y a que el ingrediente activo perdure por más tiempo permitiendo que se extienda la duración de los efectos insecticidas. Por ese motivo el objetivo del trabajo fue evaluar la actividad insecticida de NP sintetizadas a partir de *A. indica* contra dos plagas de interés agrícola (*Tribolium castaneum* y *Phenacoccus solenopsis*). La síntesis de las NP se realizó usando extracto foliar acuoso de *A. indica* junto con la combinación de los metales Zn/Cu y Zn/Cu/Mn para obtener NP bi y trimetálicas. Las NP se aplicaron bajo condiciones de laboratorio contra *T. castaneum* y *P. solenopsis* evaluando su mortalidad a las 96 h posterior a la aplicación. Con respecto a la caracterización fisicoquímica de las NP, el tamaño, la forma y la composición elemental se llevó a cabo mediante microscopía electrónica de barrido-espectroscopia de dispersión de energía (SEM-EDS), por otra parte, la identificación de las moléculas presentes en las NP se realizó mediante espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FT-IR).

VI CAPÍTULO. APLICACIÓN FOLIAR DE FITONANOPARTÍCULAS Y SU EFECTO SOBRE PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS Y LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE CHILE HABANERO (*Capsicum chinense*)

Arnoldo Enrique Alfaro-Corres, Daniel González-Mendoza, Esaú Ruiz-Sánchez, Arturo Reyes-Ramírez, Rene Garruña-Hernández

*Autor de correspondencia: esau.ruiz@itconkal.edu.mx; enrique_alfa_corres@hotmail.com.

6.1 RESUMEN

El chile habanero (*C. chinense*) es ampliamente cultivada en la península de Yucatán, una región de México reconocida como centro de diversidad genética de la especie. Uno de las principales limitantes en el cultivo de *C. chinense* es la incidencia de plagas los cuales reducen la calidad, rendimiento y la productividad del cultivo. La aplicación de fitonanopartículas (FNP) son una alternativa amigable con el ambiente ya que utiliza extractos vegetales para su formulación, estas FNP ha ganado popularidad en la agricultura debido a sus efectos insecticidas. La aplicación de FNP pueden presentar efectos tanto positivos como negativos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por lo tanto, el objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de FNP sobre pigmentos vegetales y la actividad antioxidante en *Capsicum chinense*. Para la elaboración de las FNP se utilizaron hojas jóvenes de cachanilla (*Pluchea sericea*), chile habanero (*Capsicum chinense*), epazote (*Chenopodium ambrosioides*) y neem (*Azadirachta indica*) éstas fueron combinadas con cobre, zinc y manganeso de manera individual y en combinación (Zn/Cu; Zn/Cu/Mn; Cu/Mn). Por otra parte, se recolectaron hojas jóvenes de *C. chinense*, las cuales fueron lavadas y colocadas en cajas Petri dentro de una cámara bioclimática bajo condiciones controladas de luz y temperatura. Se aplicaron las FNP 1 vez al día hasta las 72 h, donde al final se midieron los parámetros de contenido de clorofila, flavonoides, antocianinas, catalasas, peroxidasas y la eficiencia fotoquímica del fotosistema II.