



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



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

**EFFECTO FITOTÓXICO Y PLAGUICIDA DE
FITONANOPARTÍCULAS BIMETÁLICAS DE *Crotalaria
longitostrata*.**

TESIS

Que presenta:

Eugenia del Carmen León Jiménez

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias en Horticultura Tropical

Director de tesis:

Dr. Esaú Ruiz Sánchez

Conkal, Yucatán, México

Mayo, 2022



TecNM



Conkal, Yucatán 26 de agosto 2022.

El comité de tesis del candidato a grado: Eugenia del Carmen León Jiménez, constituido por los CC. Dr. Esaú Ruiz Sánchez, Dr. Federico Gutiérrez Miceli, Dr. Daniel Gonzáles Mendoza y Dr. Horacio Salomón Ballina Gómez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **Efecto fitotóxico y plaguicida de fitonanopartículas bimetálicas de *Crotalaria longirostrata*** que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Horticultura Tropical, 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 Gonzáles Mendoza

Asesor de Tesis

Dr. Federico Gutiérrez Miceli

Co-director de Tesis

Dr. Horacio Salomón Ballina

Asesor de Tesis



Conkal, Yucatán 26 de agosto de 2022.

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.

Eugenia del Carmen León Jiménez

INDICE DE CONTENIDO

Índice de figuras.....	vi
RESUMEN	viii
ABSTRAC	ix
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ANTECEDENTES.....	2
1.2.1 Síntesis verde de nanopartículas	2
1.2.2 Características generales de <i>Crotalaria longirostrata</i> y sus usos.	2
1.2.3 Nanopartículas verdes en el manejo de plagas.....	3
1.2.4 Importancia agronómica de <i>Tetranychus urticae</i>	3
1.2.5 Efecto fitotóxico de las nanopartículas	4
1.3 HIPÓTESIS.....	5
1.4 OBJETIVOS	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Específicos	5
1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	6
1.6 LITERATURA CITADA	7
II. CAPÍTULO 2.....	11
Efecto de las fitonanopartículas bimetalicas de <i>C. longirostrata</i> en la germinación, crecimiento de raíz y parámetros fisiológicos de lechuga y maíz.....	11
2.1 RESUMEN Y ABSTRAC	11
2.2 INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS	¡Error! Marcador no definido.
2.3.1 Síntesis verde de fitonanopartículas bimetalicas de <i>C. longirostrata</i>	¡Error! Marcador no definido.
2.3.2 Descripción de los tratamientos y variables evaluadas.....	¡Error! Marcador no definido.

2.3.3	Diseño experimental y análisis de datos	¡Error! Marcador no definido.
2.4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	¡Error! Marcador no definido.
2.4.1	Síntesis de fitonanopartículas.....	¡Error! Marcador no definido.
2.4.2	Fitotoxicidad en la germinación de lechuga y maíz...	¡Error! Marcador no definido.
2.4.3	Efecto de las fitonanopartículas en la fotoquímica de lechuga y maíz	¡Error! Marcador no definido.
2.5	CONCLUSIONES	¡Error! Marcador no definido.
2.6	LITERATURA CITADA	¡Error! Marcador no definido.
III.	CAPÍTULO 3.....	12
	Fitonanopartículas bimetalicas de <i>Crotalaria longirostrata</i> y su efecto acaricida sobre <i>Tetranychus urticae</i>	12
2.1	RESUMEN Y ABSTRAC	12
2.2	INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
2.3	MATERIALES Y MÉTODOS	¡Error! Marcador no definido.
2.3.1	Obtención del extracto acuoso y síntesis de fitonanopartículas bimetalicas.....	¡Error! Marcador no definido.
2.3.2	Preparación de los tratamientos	¡Error! Marcador no definido.
2.3.3	Colonia de <i>T. urticae</i> y condiciones experimentales..	¡Error! Marcador no definido.
2.3.4	Bioensayo de mortalidad en huevos de <i>T. urticae</i>	¡Error! Marcador no definido.
2.3.5	Bioensayo de mortalidad en adultos <i>T. urticae</i>	¡Error! Marcador no definido.
2.3.6	Evaluación del efecto en la fotoquímica de berenjena	¡Error! Marcador no definido.
2.3.7	Análisis de datos y diseño experimental	¡Error! Marcador no definido.
2.4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	¡Error! Marcador no definido.
2.4.1	Efecto de las fitonanopartículas en la mortalidad de huevos de <i>T. urticae</i>	¡Error! Marcador no definido.
2.4.2	Bioensayo acaricida en adultos de <i>T. urticae</i>	¡Error! Marcador no definido.
2.4.3	Efecto en las tasas fotosintéticas de berenjena.....	¡Error! Marcador no definido.
2.5	CONCLUSIONES	¡Error! Marcador no definido.
2.6	LITERATURA CITADA	¡Error! Marcador no definido.

Índice de figuras

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 A) longitud de la raíz (LR) y B) crecimiento relativo de raíz (CRR) de lechuga y maíz, inoculadas con extracto acuoso de *C. longirostrata*, soluciones bimetálicas y fitonanopartículas de Cu-Zn y Ag-Zn. Letras mayúsculas (lechuga) y minúsculas (maíz) diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (GLM, $p < 0.05$; prueba de Bonferroni).....;Error! Marcador no definido.

Figura 2.2 Eficiencia cuántica máxima del fotosistema antes de los tratamientos y a las 6 y 12 horas post-tratamientos en A) lechuga y B) maíz. *= diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (GLM, $p < 0.05$; prueba de Bonferroni). ;Error! Marcador no definido.

Figura 2.3 Tasa de transporte de electrones a las 0, 6, 12 y 24 horas en hojas de lechuga ($F=2.41$, $g.l=9$ y $p=0.0103$), inciso A). Y en hojas de maíz ($F=1.63$, $g.l=9$ y $p=0.99$), inciso B).;Error! Marcador no definido.

Figura 2.4 Coeficiente de extinción no fotoquímico (NPQ) en hojas de lechuga y maíz; pre-tratamiento (0 horas), y después de los tratamientos a las 6 y 12 horas, donde los tratamientos estadísticamente significativos cuentan con un asterisco (GLM, $p < 0.05$; prueba de Bonferroni).;Error! Marcador no definido.

Figura 3.1 Efecto de las fitonanopartículas de *C. longirostrata* sobre la mortalidad de huevos de *T. urticae* ($g.l=9$, 80 ; $F= 25.90$ y $p < 0.001$). Las barras representan promedios y error estándar. Letras diferentes en la parte superior de las barras indican diferencias significativas (GLM, Bonferroni, $p < 0.05$).;Error! Marcador no definido.

Figura 3.2 Efecto de las fitonanopartículas de *C. longirostrata* en la mortalidad de adultos de *T. urticae* a las 48 h ($g.l=9$, $F=13.54$, $p < 0.0001$) inciso A) y a las 96 h ($g.l=9$, $F=19.58$, $p < 0.0001$) inciso B). Las barras representan promedios y error estándar. Letras diferentes

en la parte superior de las barras indican diferencias significativas (GLM, Bonferroni, $p < 0.05$).**¡Error! Marcador no definido.**

Figura 3.3 Efecto de las fitonanopartículas de *C. longirostrata* en la eficiencia cuántica máxima del fotosistema II (F_v/F_m) a las 0, 6, 12 y 24 horas en hojas de berenjena (g.l=9, 120; $F=4.93$; $p < 0.001$), donde no existieron tratamientos estadísticamente significativos (GLM, Bonferroni, $p < 0.05$).**¡Error! Marcador no definido.**

Figura 3.4. Efecto de las fitonanopartículas de *C. longirostrata* en la tasa de transporte de electrones (ETR) a las 6, 12 y 24 horas en hojas de berenjena (g.l=9, 120; $F=1.86$ y $p=0.14$), donde no existieron tratamientos estadísticamente significativos (GLM, Bonferroni, $p < 0.05$).**¡Error! Marcador no definido.**

RESUMEN

Las nanopartículas obtenidas por la combinación de iones metálicos y extractos vegetales (fitonanopartículas) tienen un enorme potencial de aplicación en la agricultura, debido a sus novedosas propiedades. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de las fitonanopartículas bimetálicas (Cu-Zn y Ag-Zn) de *Crotalaria longirostrata* en la germinación y parámetros fisiológicos de lechuga y maíz; así como su actividad plaguicida contra huevos y adultos de *Tetranychus urticae*. Se observó que las fitonanopartículas bimetálicas de *C. longirostrata* no tuvieron efecto negativo en la germinación, pero sí en el desarrollo de la raíz. En el caso de las variables fisiológicas, no hubo efectos negativos de las fitonanopartículas en la eficiencia fotosintética del fotosistema II (Fv/Fm), en la tasa de transporte de electrones (ETR) y en el coeficiente de extinción no fotoquímico (NPQ) en ambas especies de plantas. La evaluación del efecto plaguicida demostró que las fitonanopartículas bimetálicas de *C. longirostrata* produjeron alta mortalidad de huevos (>80%) y adultos (>70%) de *T. urticae*. Estos resultados demuestran que la aplicación foliar de las fitonanopartículas bimetálicas de *C. longirostrata* son una alternativa para el control de *T. urticae* y no afectan los parámetros fisiológicos relacionados con la fotosíntesis.

ABSTRAC

The nanoparticles obtained for the combination of metallic ions and plants extracts (phytonanoparticles) have great potential in agriculture, because of its novel proprieties. The aims of this study were to evaluate the effects of bimetallic phytonanoparticles (Cu-Zn and Ag-Zn) of *Crotalaria longirostrata* in the germination and physiological parameters of lettuce and maize; and to evaluate the pesticidal activity against eggs and adults of *Tetranychus urticae*. Bimetallic phytonanoparticles of *C. longirostrata* had no negative effects on germination, but they affected root development. For the physiological parameters, there were no negative effects of phytonanoparticles in the photosynthetic efficiency of photosystem II (Fv/Fm), the electron transport rate (ETR) and non-photochemical extinction coefficient (NPQ) of both plant species. The evaluation of the pesticidal effect showed that the bimetallic phytonanoparticles of *C. longirostrata* produced high mortality on eggs (>80%) and adults (>70%) of *T. urticae*. This result show that the foliar application of bimetallic phytonanoparticles of *C. longirostrata* may be an alternative for the control of *T. urticae* with no effect on the physiological parameters related to photosynthesis.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 INTRODUCCIÓN

Una rama de investigación novedosa y multidisciplinaria es la nanotecnología, en la cual se produce y manipula materiales de un tamaño entre 1-100 nm (Rana *et al.*, 2020), llamadas nanopartículas, las cuales tienen características y propiedades de gran interés; usándose elementos amigables con el ambiente para el caso de las nanopartículas de síntesis verde (Hoscimpour y Ghaemi, 2018). Para el caso de las nanopartículas de origen biológico se utilizan dos componentes, las soluciones de iones metálicos a reducir y los agentes reductores biológicos, que pueden ser hongos, bacterias, algas o plantas, siendo este último, el material biológico más utilizado, de las cuales se usan los extractos de raíces, tallos, hojas, flores o semillas (Srikar *et al.*, 2016).

Las fitonanopartículas (nanopartículas sintetizadas de iones metálicos y extractos vegetales) tienen potencial plaguicida. No obstante, se sabe que las semillas y plantas pueden absorber las nanopartículas en todas las maneras de exposición incluyendo el suelo, agua y aire; y que su aplicación puede causar modificaciones en la expresión de genes, que afectan el crecimiento y desarrollo, así como la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) en plantas (Sehna *et al.*, 2019); por lo cual en estudios de posibles fitonanopartículas para uso en la agricultura, se hace necesario determinar el efecto de éstas en la germinación de especies vegetales.

El uso de extractos vegetales para el manejo de plagas y fitopatógenos ha adquirido relevancia debido al enorme interés en la introducción de nuevos agentes de manejo de parásitos en la agricultura (Rincón, Rodríguez y Coy-Barrera, 2019). En este sentido el extracto de *C. longirostrata* ha demostrado tener efecto de protección contra hongos durante la germinación (Cruz-Rodríguez *et al.*, 2020). Así también, se ha observado que las fitonanopartículas tiene actividad alta contra organismos plaga (Méndez-Trujillo *et al.*, 2019). Lo anterior permite inferir que el uso de las nanopartículas bimetálicas obtenidas por síntesis verde de extractos acuosos de *C. longirostrata* tendrán actividad plaguicida y serán una alternativa en la supresión poblacional de *T. urticae*, sin causar

efectos fitotóxicos en la germinación de semillas y la fotosíntesis en el follaje de plantas de interés agronómico.

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Síntesis verde de nanopartículas

La nanotecnología se puede definir como la manipulación de materiales en un rango de tamaño de 1-100 nm; el termino nano deriva del griego “nanos” que significa enano, entrando en esta clasificación las nanopartículas con un tamaño de 10-9 nanómetros, (Rana *et al.*, 2020), para la obtención de nanopartículas se tienen dos enfoques establecidos Top down y Botton-up, siendo este último enfoque donde se usa la síntesis química y la síntesis verde de nanopartículas (Hoseinpour y Ghaemi, 2018).

La síntesis verde o biosíntesis de nanopartículas tiene un enfoque amigable con el ambiente, de bajo costo y seguro (Agarwal *et al.*, 2017), ocurriendo un fenómeno de autoensamblaje de átomos el cual desarrolla en una nanopartícula (Rafique *et al.*, 2017). Los requerimientos para la síntesis verde son la solución del ion metálico y el agente reductor; siendo los iones el requerimiento primario para la síntesis, los cuales pueden ser obtenidos de sales solubles en agua (Srikar *et al.*, 2016), y dentro de los agentes reductores se encuentran las bacterias, plantas, hongos y algas; siendo los extractos de plantas que debido a los fitoquímicos presentes, producen nanopartículas más estables (Rana *et al.*, 2020; Agarwal *et al.*, 2017). Las nanopartículas de síntesis verde pueden tener una amplia variedad de usos, en la agricultura como controlador de plagas (Feregrino-Perez, *et al.*, 2018).

1.2.2 Características generales de *Crotalaria longistrostrata* y sus usos.

El Chipilín (*Crotalaria longistrostrata*), pertenece al género *Crotalaria* el cual tiene una distribución en áreas tropicales y subtropicales, perteneciendo a la familia Fabaceae, subfamilia Papilionoidae, tribu Crotalarieae, dentro de este género se puede encontrar alcaloides que pueden ser tóxicos para animales (Mosjidis y Wang, 2011). *Crotalaria longistrostrata* es nativa de México, con distribución en Guatemala, El Salvador y Honduras, generalmente se puede encontrar a una altura no mayor a los 1600 ms.n.m, encontrándose en la región tropical de Mesoamérica (Morton, 1994).

De las plantas de *C. longirostrata* se utiliza principalmente las hojas verdes, donde se ha encontrado que alcaloides contenidos en la planta pueden ser tóxicos (Morton, 1994). Villar y Zavaleta (1990) incorporaron residuos sólidos de *C. longirostrata* para reducir a *Meloidogyne incognata* y *M. arenaria* en cultivo de tomate, teniendo como resultados la reducción de estos nematodos y viendo efecto nematocida. Navarro-Flores *et al.* (2020) indican que *C. longirostrata* tiene compuestos fenólicos con actividad antioxidante; también tiene aplicaciones para el control de plagas como muestra el trabajo de Cruz-Rodríguez *et al.*, (2020) donde el extracto de ramas se usó para controlar la severidad de *Fusarium* un hongo fitopatógeno; y el trabajo de Miranda-Granados *et al.*, (2018) donde usaron extractos etanólicos de hojas de chipilín como antimicrobianos.

1.2.3 Nanopartículas verdes en el manejo de plagas

La nanotecnología es una rama de investigación emergente en la agricultura para el control de plagas, teniendo mayor impacto las nanopartículas, que debido a sus propiedades únicas, conferidas por su tamaño, menor a los 100 nm, las convierte en una alternativa económica y amigable con el ambiente (Athanassiou *et al.*, 2016; Goswami *et al.*, 2010); en los realizados por Elek *et al.* (2010), confirman que el uso de nanopartículas contra larvas de *Spodoptera littoralis* provocaron la mortalidad de sus larvas; Méndez-Trujillo *et al.* (2019) observaron el efecto de nanopartículas bimetálicas de *Prosopis juliflora* contra *P. solenopsis* teniendo resultados positivos en el daño celular y la mortalidad del insecto. Sharhozaki *et al.* (2020) realizaron la síntesis de ZnO nanopartículas, y las probaron contra *B. tabaci*, observando un 67.43% de reducción de la eclosión de huevos del insecto. Por lo que el uso de las nanopartículas obtenidas por síntesis verde son una alternativa para el control de plagas de interés económico en la agricultura (Feregrino-Perez *et al.*, 2018).

1.2.4 Importancia agronómica de *Tetranychus urticae*

Una de las plagas de mayor importancia económica en el mundo es la araña roja (*Tetranychus urticae* Koch), la cual causa decrementos considerables en el rendimiento de diversos cultivos (Badawy *et al.*, 2018). El daño producido por los estados inmaduros (larva, protoninfas y deuteroninfas) y adultos al alimentarse, ya que inserta su estilete dentro del mesófilo de las células epidérmicas de las plantas alterando así el proceso fisiológico de las plantas, por reducción del área fotosintética y abscisión de las hojas

(Golec, Hoge y Walgenbach, 2020). Este acaro al ser polífago, se ha reportado que infesta alrededor de 1200 especies de plantas, incluyendo cereales, leguminosas, ornamentales y frutales (Wu *et al.*, 2019).

Debido al uso amplio de acaricidas químicos para su manejo, este acaro ha desarrollado resistencia a plaguicidas, misma que ha sido documentada a más de 80 acaricidas (Badawy *et al.*, 2018; Wu *et al.*, 2019). Por lo anterior es preponderante establecer programas para el manejo y control de esta plaga mediante el uso de estrategias alternativas, entre las que sobresalen el uso de productos botánicos (Pavela *et al.*, 2016; Rincón, Rodríguez y Coy-Barrera, 2019).

1.2.5 Efecto fitotóxico de las nanopartículas

La aplicación de las fitonanopartículas en las plantas cultivadas representa una alternativa viable para el manejo de fitopatógenos y plagas de importancia económica, pero también podrían ocasionar algunos daños de fitotoxicidad sobre las plantas tratadas, debido a que las plantas absorben a las nanopartículas por todos los medios de exposición, ya sea por las raíces o el follaje (Sehna *et al.*, 2019). En este sentido, Mimoeini *et al.* (2021) mencionan que algunos iones usados en la síntesis de las nanopartículas tienen efectos negativos sobre la germinación de semillas, el desarrollo y crecimiento de plantas, así como en la producción de biomasa y la alteración del metabolismo.

Por otro lado, Kataria *et al.* (2019) mencionan que las nanopartículas pueden afectar la germinación, el crecimiento y la fotosíntesis en plantas, ya que estas las pueden absorber, transportar y acumular en lugares específicos como las vacuolas, el núcleo y otros lugares subcelulares; pudiendo ocasionar efectos tóxicos en la germinación y acumulación de biomasa; por otro lado pueden tener un efecto en la fotosíntesis, modificando la eficiencia fotosintética, la fluorescencia y el transporte de electrones, por lo que, alguna alteración en este proceso puede impactar de manera importante la producción de cultivos de importancia agrícola. Por lo que es necesario conocer el impacto que las nanopartículas de síntesis verde usando extractos vegetales (fitonanopartículas) sobre la germinación de semillas y la fisiología de las plantas.

1.3 HIPOTESIS

Las fitonanopartículas tienen enorme potencial en la agricultura, específicamente en la formulación de productos para el manejo de plagas, ya que tanto los microorganismos o los derivados vegetales mejoran su actividad biológica al ser formulados en combinación con iones metálicos que permiten la síntesis de fitonanopartículas. Las fitonanopartículas del extracto acuoso de los iones metálicos Cu-Zn y Ag-Zn presentan alta actividad plaguicida contra la araña roja *Tetranychus urticae* y pudieran tener efectos fitotóxicos en la germinación de semillas o comportamiento fotosintético de las plantas.

1.4 OBJETIVOS

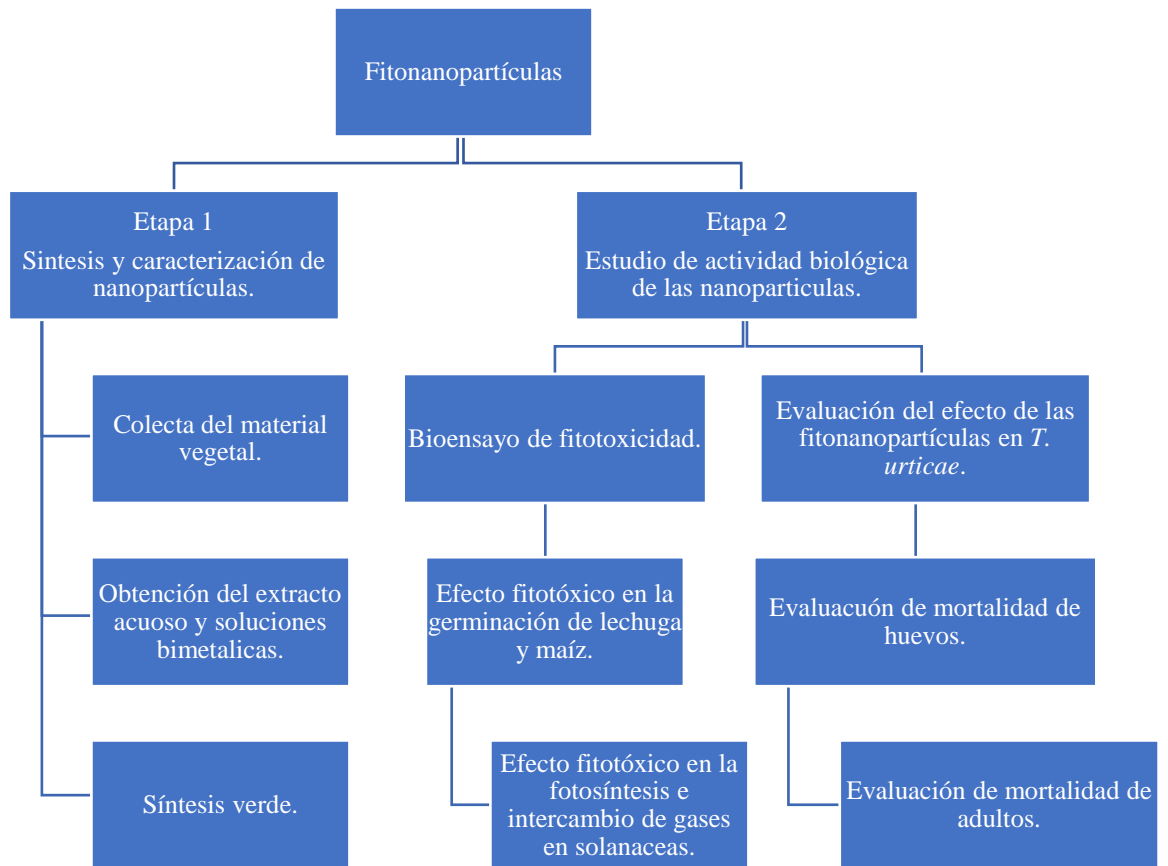
1.4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto fitotóxico y plaguicida de las fitonanopartículas de *C. longirostrata* obtenidas por síntesis verde.

1.4.2 Objetivos específicos

- Producir fitonanopartículas mediante síntesis verde de extracto acuoso de *C. longirostrata*.
- Evaluar el efecto de las fitonanopartículas de *C. longirostrata*, en la germinación de semillas e intercambio de gases en lechuga y maíz.
- Evaluar el efecto plaguicida de las fitonanopartículas en *T. urticae*.

1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



1.6 LITERATURA CITADA

- Agarwal, H., Kumar, S. V., y Rajeshkumar, S. 2017. A review on green synthesis of zinc oxide nanoparticles—An eco-friendly approach. *Resource-Efficient Technologies*, 3(4):406-413.
- Athanassiou, C. G., Kavallieratos, N. G., Benelli, G., Losic, D., Rani, P. U., y Desneux, N. 2018. Nanoparticles for pest control: current status and future perspectives. *Journal of Pest Science*, 91 (1):1-15.
- Badawy, M. E., Abdelgaleil, S. A., Mahmoud, N. F., y A.E.S.M. Marei. 2018. Preparation and characterizations of essential oil and monoterpene nanoemulsions and acaricidal activity against two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). *International Journal of Acarology*, 44: 330-340.
- Cruz-Rodríguez, R. I., Cruz-Salomón, A., Ruiz-Lau, N., Pérez-Villatoro, J. I., Esquinca-Avilés, H. A., y R. Meza-Gordillo. 2020. Potential Application of *Crotalaria longirostrata* Branch Extract to Reduce the Severity of Disease Caused by Fusarium. *Agronomy*, 10(4): 524.
- Elek, N., Hoffman, R., Raviv, U., Resh, R., Ishaaya, I., y Magdassi, S. 2010. Novaluron nanoparticles: Formation and potential use in controlling agricultural insect pests. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 372:66-72.
- Feregrino-Perez, A. A., Magaña-López, E., Guzmán, C., y K Esquivel. 2018. A general overview of the benefits and possible negative effects of the nanotechnology in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 238:126-137.
- Golec, J. R., Hoge, B., y J.F. Walgenbach. 2020. Effect of biopesticides on different *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) life stages. *Crop Protection*, 128: 105015.
- Goswami, A., Roy, I., Sengupta, S., & Debnath, N. (2010). Novel applications of solid and liquid formulations of nanoparticles against insect pests and pathogens. *Thin solid films*, 519:1252-1257.

Hoseinpour, V., y Ghaemi, N. 2018. Green synthesis of manganese nanoparticles: Applications and future perspective—A review. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 189:234-243.

Kataria, S., Jain, M., Rastogi, A., Živčák, M., Brestic, M., Liu, S., y D.K. Tripathi. 2019. Role of nanoparticles on photosynthesis: avenues and applications. In *Nanomaterials in plants, algae and microorganisms*. Academic Press. Capítulo 6, 103-127.

Méndez-Trujillo, V., Valdez-Salas, B., Carrillo-Beltran, M., Curiel-Alvarez, M. A., Tzintzun-Camacho, O., Ceceña-Duran, C., y D. González-Mendoza. 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.

Miranda-Granados, J., Chacón, C., Ruiz-Lau, N., Vargas-Díaz, M. E., Zepeda, L. G., Alvarez-Gutiérrez, P., Meza-Gordillo R. y S. Lagunas-Rivera. 2018. Alternative use of extracts of chipilín leaves (*Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn) as antimicrobial. *Sustainability*, 10(3): 883.

Mirmoeini, T., Pishkar, L., Kahrizi, D., Barzin, G., y N. Karimi. 2021. Phytotoxicity of green synthesized silver nanoparticles on *Camelina sativa* L. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27(2): 417-427.

Morton, J. F. 1994. Pito (*Erythrina berteroana*) and chipilín (*Crotalaria longirostrata*), (Fabaceae) two soporific vegetables of Central America. *Economic botany*, 48(2):130-138.

Mosjidis, J. A., y M.L. Wang. 2011. *Crotalaria*. In *Wild crop relatives: genomic and breeding resources*. 63-69.

Navarro-Flores, M. J., Ventura-Canseco, L. M. C., Meza-Gordillo, R., del Rosario Ayora-Talavera, T., y M. Abud-Archila. 2020. Spray drying encapsulation of a native plant extract rich in phenolic compounds with combinations of maltodextrin and non-conventional wall materials. *Journal of Food Science and Technology*, 57(11):4111-4122.

Pavela, R., Dall'Acqua, S., Sut, S., Baldan, V., Kamte, S. L. N., Nya, P. C. B., Cappellacci L., Petrelli R., Nicoletti M., Canale A., Maggi F., y G. Benelli. 2018. Oviposition inhibitory activity of the Mexican sunflower *Tithonia diversifolia* (Asteraceae) polar extracts against the two-spotted spider mite *Tetranychus urticae* (Tetranychidae). *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 101: 85-92.

Rafique M., Iqra Sadaf, M. Shahid Rafique y M. Bilal Tahir. 2017. A review on green synthesis of silver nanoparticles and their applications, *Artificial Cells. Nanomedicine, and Biotechnology*, 45:1272-1291.

Rana, A., Yadav, K., y Jagadevan, S. (2020). A comprehensive review on green synthesis of nature-inspired metal nanoparticles: Mechanism, application and toxicity. *Journal of Cleaner Production*. 272: 122880.

Rincón, R. A., Rodríguez, D., y E. Coy-Barrera. 2019. Botanicals against *Tetranychus urticae* Koch under laboratory conditions: A survey of alternatives for controlling pest mites. *Plants*, 8: 272.

Sarhozaki, M. T., Aramideh, S., Akbarian, J., y S. Pirsá. 2020. Effects of ZnO nanoparticles and Kaolin in combination with NeemAzal-T/S against *Bemisia tabaci* and its parasitoid *Eretmocerus mundus* on cotton. *Chem. Rev. Lett.*, 3: 131-139.

Sehnal, K., Hosnedlova, B., Docekalova, M., Stankova, M., Uhlirova, D., Tothova, Z., Kepinska Marta, Milnerowicz Halina, Fernandez Carlos, Ruttkay-Nedecky Branislav, Nguyen Viet Hoai, Ofomaja Augustine, Sochor Jiri & Kizek, R. 2019. An assessment of the effect of green synthesized silver nanoparticles using sage leaves (*Salvia officinalis* L.) on germinated plants of maize (*Zea mays* L.). *Nanomaterials*, 9:1550.

Srikar, S. K., Giri, D. D., Pal, D. B., Mishra, P. K., y Upadhyay, S. N. (2016). Green synthesis of silver nanoparticles: a review. *Green and Sustainable Chemistry*, 6(1):34-56.

Villar, E. M. J., y E. Zavaleta-Mejía. 1990. Effect of *Crotolaria longirostrata* Hook y Arnott on root galling nematodes (Meloidogyne spp.). *Revista Mexicana de Fitopatología*, 8(2): 166-172.

Wu, M., Adesanya, A. W., Morales, M. A., Walsh, D. B., Lavine, L. C., Lavine, M. D., y F. Zhu. 2019. Multiple acaricide resistance and underlying mechanisms in *Tetranychus urticae* on hops. *Journal of Pest Science*, 92: 543-555.

II. CAPÍTULO 2.

Efecto de las fitonanopartículas bimetálicas de *C. longirostrata* en la germinación, crecimiento de raíz y parámetros fisiológicos de lechuga y maíz.

Effect of bimetallic phytonanoparticles of *C. longirostrata* on germination, root growth and physiology parameters in lettuce and maize.

Eugenia del Carmen León-Jiménez¹ (eclj1023@mail.com), Federico Gutiérrez-Miceli², René Garruña¹, Daniel Gonzáles-Mendoza³, Esaú Ruíz-Sánchez¹ (esau.ruiz@itconkal.edu.mx), Horacio Salomón Ballina-Gómez¹.

¹Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal. Conkal, Yucatán, México. Avenida Tecnológico municipio de Conkal, Yucatán, México, C.P. 97345 Tel (999) 9124135 Ext. 121

²Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, KM 29020, Carr. Panamericana 1080, Boulevares, C.P. 29050 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

³Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas, Carretera a Delta s/n, C.P. 21705, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México.

2.1 RESUMEN

Las nanopartículas de síntesis verde (fitonanopartículas) se producen por la acción reductora de agentes biológicos. Sin embargo, se ha estudiado poco su posible efecto fitotóxico. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de las fitonanopartículas bimetálicas de Cu-Zn y Ag-Zn de *Crotalaria longirostrata* sobre parámetros de germinación y fisiológicos de lechuga y maíz. Las fitonanopartículas bimetálicas de *C. longirostrata* no tuvieron efectos negativos en la germinación, pero sí se observó ligero efecto negativo en el desarrollo de la raíz de ambas especies; en los parámetros fisiológicos, se observó en la lechuga un aumento de la ETR comparada con el grupo control, pero una disminución significativa de la ETR de todos los tratamientos a las 6 y

12 horas comparada con lo ETR obtenida pretratamiento, la NPQ disminuyó significativamente por la fitonanopartículas; y en maíz no se observó efecto de las fitonanopartículas en la ETR y NPQ. Lo anterior demuestra que las fitonanopartículas bimetalicas de *C. longirostrata* no tienen efectos negativos en la germinación y parámetros fotosintéticos de lechuga y maíz.

III. CAPÍTULO 3.

Efecto de las fitonanopartículas bimetalicas de *Crotalaria longirostrata* en la mortalidad de *Tetranychus urticae* y en la fotoquímica de berenjena
Effect of bimetallic phytonanoparticles of *Crotalaria longirostrata* in the mortality of *Tetranychus urticae* and phytotoxicity in eggplant

Eugenia del Carmen León-Jiménez (eclj1023@mail.com), Marcos Cua Basulto, Ángel Herrera Gorocica, Federico Gutiérrez Miceli², Esaú Ruíz-Sánchez¹ (esau.ruiz@itconkal.edu.mx), René Garraña¹, Daniel González Mendoza³ y Horacio Salomón-Ballina¹

¹ Tecnológico Nacional de México, Campus Conkal. Conkal, Yucatán, México. Avenida Tecnológico municipio de Conkal, Yucatán, México, C.P. 97345 Tel (999) 9124135 Ext. 121

² Tecnológico Nacional de México, Campus Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, KM 29020, Carr. Panamericana 1080, Boulevares, C.P. 29050 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

³ Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas, Carretera a Delta s/n, C.P. 21705, Ejido Nuevo León, Mexicali, Baja California, México.

2.1 RESUMEN

Debido al alto nivel residual de los acaricidas químicos, es necesario buscar alternativas para el control de *T. urticae* en plantas de interés agroalimentario; una alternativa amigable con el ambiente son las nanopartículas bimetalicas obtenidas por síntesis verde que utiliza extracto de plantas como agentes reductores de iones metálicos (fitonanopartículas). El objetivo de esta investigación fue obtener fitonanopartículas de Cu-Zn y Ag-Zn, utilizando extracto acuoso de *C. longirostrata* como agente de reductor,

y evaluar su efecto acaricida en adultos y huevos de *T. urticae*. Los resultados obtenidos demostraron que las fitonanopartículas de Ag-Zn en sus tres concentraciones (50, 100 y 150 ppm) producen altos porcentajes de mortalidad en huevos (85.9, 87.4 y 86.7%) a los 5 días después de aplicados los tratamientos; y en adultos se observó que las fitonanopartículas de Cu-Zn a concentraciones de 100 y 150 ppm produjeron los porcentajes más altos de mortalidad (78.7 y 72.7%) respectivamente a las 96 horas. Las fitonanopartículas bimetálicas (Cu-Zn y Ag-Zn) de *C. longirostrata* no tuvieron efectos negativos en la eficiencia cuántica del fotosistema II en plantas de berenjena. Por lo que las fitonanopartículas (Cu-Zn y Ag-Zn) de *C. longirostrata* aplicadas al follaje de plantas de berenjena tienen efectos acaricidas en *T. urticae*, además de que no afectan la calidad fisiológica de las plantas tratadas.