



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

**CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL MAÍZ,  
HERBIVORÍA Y ATRACCIÓN DE ENEMIGOS NATURALES  
EN CULTIVOS TRATADOS CON HOMEOPATÍA  
AGRÍCOLA**

**TESIS**

Que presenta:

**Julio Cesar Ahuatzin Hernández**

Como requisito parcial para obtener el grado de:

**Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical**

Directora de tesis:

**Dra. Alejandra González Moreno**

Conkal, Yucatán, México

Octubre, 2024





Conkal, Yucatán, México a 29 de octubre de 2024.

El comité de tesis del candidato a grado: Julio Cesar Ahuatzin Hernández, constituido por los CC. Dra. Alejandra González Moreno, Dr. René Garruña Hernández y el Dr. Emanuel Hernández Núñez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **características fisicoquímicas del maíz, herbivoría y atracción de enemigos naturales en cultivos tratados con homeopatía agrícola**, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestro 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**

---

Dra. Alejandra González Moreno  
Director de Tesis

---

Dr. Rene Garruña Hernández  
Asesor de Tesis

---

Dr. Emanuel Hernández Núñez  
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 29 de Octubre de 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.

Julio Cesar Ahuatzin Hernández

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (CONAHCYT) por la beca otorgada para la realización de este trabajo.

Al Dr. Emanuel Hernández Núñez, por su conocimiento, objetividad y tiempo.

Al Dr. René Garruña Hernández, por su tiempo, paciencia, compromiso y comentarios para enriquecer este trabajo.

A la Dra. Alejandra González Moreno, por su tiempo, sus consejos, su paciencia y sobre todo por permitirme ser su alumno.

A mis amigos de generación, que hicieron este viaje más ameno con sus pláticas, risas, consejos y ayuda.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.2.1 Agrohomeopatía.....	3
1.2.1.2 Agrohomeopatía en México.....	3
1.2.2 Nosodes.....	3
1.2.3 Compuestos orgánicos volátiles.....	4
1.2.4 Principal plaga en maíz ( <i>Spodoptera frugiperda</i> Smith).....	5
1.2.5 Entomófagos.....	5
1.2.5.1 Parasitoides.....	5
1.2.5.2 Depredadores.....	6
1.2.5.3 Relación con <i>Spodoptera frugiperda</i> .....	6
1.2.6 Uso de nosodes en la agricultura.....	6
1.3 HIPÓTESIS.....	9
1.4 OBJETIVOS.....	9
1.4.1 General.....	9
1.4.2 Específicos.....	9
1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	10
1.6 LITERATURA CITADA.....	11
CAPITULO II. EL USO DE NOSODES EN MAÍZ MEJORA SU CRECIMIENTO Y DEFENSAS QUÍMICAS CONTRA <i>Spodoptera frugiperda</i> .....	17
2.1 RESUMEN.....	17

## RESUMEN

La agrohomeopatía surge como una alternativa sostenible en la agricultura, buscando reducir la dependencia de productos químicos que contaminan el ambiente y afectan la salud. Basada en los principios de la homeopatía tradicional, utiliza remedios naturales elaborados a partir de minerales, plantas o animales para mejorar la resistencia de las plantas a daños y enfermedades, promoviendo su crecimiento saludable. Dentro de la agrohomeopatía, los nosodes son tratamientos altamente diluidos obtenidos de insumos relacionados con patologías específicas, en los últimos años han ganado popularidad debido a su efectividad demostrada en diversos estudios científicos. En México, el maíz es un cultivo fundamental, pero enfrenta graves problemas por el ataque de la plaga *Spodoptera frugiperda*. El uso indiscriminado de insecticidas químicos ha sido la solución común, aunque estos productos son altamente tóxicos para el ambiente y la salud humana, y afectan a organismos benéficos. En este contexto, la agrohomeopatía, y en particular los nosodes, ofrecen una solución económica y natural que respeta el equilibrio ecológico. A pesar de los resultados prometedores en otros cultivos, pocos estudios han evaluado la respuesta fisiológica del maíz a la aplicación de nosodes. Investigaciones preliminares sugieren que los nosodes pueden interrumpir el ciclo biológico de *S. frugiperda* y potencialmente atraer entomófagos mediante la emisión de compuestos orgánicos volátiles, pero se necesita más investigación para confirmar estos resultados. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de nosodes en altas diluciones sobre la fisiología del maíz, la herbivoría de *S. frugiperda* y la atracción de entomófagos.

## **ABSTRACT**

Agrohomeopathy emerges as a sustainable alternative in agriculture, aiming to reduce dependence on chemical products that pollute the environment and harm health. Based on the principles of traditional homeopathy, it utilizes natural remedies made from minerals, plants, or animals to enhance plants' resistance to damage and disease, promoting healthy growth. In agrohomeopathy, nosodes are highly diluted treatments derived from inputs related to specific pathologies, and in recent years, they have gained popularity due to their proven effectiveness in various scientific studies. In Mexico, maize is a staple crop but faces severe issues due to the pest *Spodoptera frugiperda*. The indiscriminate use of chemical insecticides has been the common solution, even though these products are highly toxic to the environment and human health, and they harm beneficial organisms. In this context, agrohomeopathy, and specifically nosodes, offer an economical and natural solution that respects ecological balance. Despite promising results in other crops, few studies have evaluated the physiological response of maize to the application of nosodes. Preliminary research suggests that nosodes may disrupt the biological cycle of *S. frugiperda* and potentially attract natural enemies through the emission of volatile organic compounds, but further research is needed to confirm these effects. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of applying nosodes at high dilutions on maize physiology, *S. frugiperda* herbivory, and the attraction of entomophagous organisms.

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

## 1.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, *Spodoptera frugiperda* Smith y Abbot (Lepidoptera: Noctuidae), comúnmente conocida como "gusano cogollero", se ha consolidado como la plaga de mayor relevancia económica en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Este insecto afecta a la planta durante todas sus etapas fenológicas, ocasionando pérdidas superiores al 30% en el rendimiento del cultivo, y en los casos más graves la pérdida total de la cosecha (de Moraes *et al.*, 2015). El control de sus poblaciones depende principalmente de la aplicación de insecticidas químicos; sin embargo, estos productos conllevan riesgos para la salud humana y el medio ambiente, generan resistencia en la plaga y afectan a insectos no objetivo, como parasitoides, depredadores y polinizadores, presentes en el agroecosistema (Rezende-Teixeira *et al.*, 2022).

Ante esta problemática, la sociedad ha incrementado la demanda de alimentos seguros tanto para el consumo humano como para el ambiente, lo que ha incentivado la búsqueda de alternativas que reduzcan la dependencia de tecnologías convencionales (Altieri, 2009). En este contexto, los nosodes surgen como una alternativa innovadora que podría satisfacer esta demanda (Bonato, 2007; Meneses, 2017). Los nosodes son tratamientos terapéuticos elaborados a partir del agente causal específico del problema en el agroecosistema, basados en el principio de la similitud, que sostiene que "lo similar cura lo similar" (si pones una frase pon la cita). El uso de nosodes ha demostrado mejoras en el estado fisiológico de varios cultivos, lo que ha despertado un creciente interés entre agricultores e investigadores debido a los resultados positivos obtenidos en el control de plagas y enfermedades en plantas bajo condiciones científicas rigurosas (Prieto *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2023; Kumar y Ramadevi, 2024), al tiempo que favorece interacciones biológicas benéficas.

Por ejemplo, en estudios realizados en plantas de chambá (*Justicia pectoralis* Jacq.), se observó que los nosodes estimularon la producción de metabolitos secundarios con funciones defensivas (Andrade, 2001). En plantas de fresa (*Fragaria x annanassa* L.), la aplicación de nosodes promovió la producción de compuestos volátiles orgánicos que favorecen la atracción de insectos benéficos y la repulsión de *Tetranychus urticae*,

reduciendo la oviposición de esta plaga (Rodríguez-Ramírez, 2018). Asimismo, en cultivos de lulo (*Solanum quitoense* L.), se registró una disminución significativa en el número de huevos, larvas y frutos dañados por *Neoleucinodes elegantalis* (Narváez-Martínez *et al.*, 2014).

En investigaciones realizadas específicamente en maíz, Almeida *et al.* (2003) reportaron que el uso de nosodes de *S. frugiperda* generó un efecto de antibiosis, interrumpiendo el ciclo biológico del gusano cogollero, lo que provocó pérdida de peso y deformaciones en la etapa de pupa. Aunque estos resultados son prometedores, se requieren más investigaciones para comprender a fondo los efectos de los nosodes en el cultivo de maíz y sus interacciones ecológicas. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de nosodes en altas diluciones sobre la fisiología del maíz, la herbivoría de *S. frugiperda* y la atracción de entomófagos.

## **1.2 ANTECEDENTES**

### **1.2.1 Agrohomeopatía**

La agrohomeopatía es el área especializada de la homeopatía tradicional enfocada en el sector agrícola, al igual que la agroecología se basa en la utilización óptima de los recursos naturales, sustituyendo el uso de productos sintéticos tóxicos, cuidando la fertilidad de la tierra, obteniendo alimentos orgánicos y respetando al ambiente de una manera sostenible y equilibrada (Meneses-Moreno, 2017). La agrohomeopatía funciona a través de la aplicación de tratamientos homeopáticos altamente diluidos para el control de enfermedades, plagas y para la protección de los suelos, potenciando los procesos fisiológicos de las plantas y optimizando su desarrollo (Ruiz, 2001). Los tratamientos se dividen en policrestos, semi policrestos, monocrestos y bioterápicos o nosodes; estos últimos han ido tomando relevancia en la agroindustria en los últimos años, principalmente en pequeños productores, por la manera de cómo pueden resolver los aspectos de plagas y enfermedades que afectan a la producción agrícola de una forma sencilla, segura, económica y sin contaminar (Tichavsky, 2007).

#### **1.2.1.2 Agrohomeopatía en México.**

En México, el conocimiento y aplicación de la agrohomeopatía han ido ganando interés en los últimos años. Aunque su uso aún es limitado en comparación con los métodos convencionales, diversas universidades e instituciones de investigación como la universidad Autónoma de Chapingo, el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca, el Colegio de posgraduados y la Universidad Autónoma de Baja California Sur, están explorando su potencial, principalmente en cultivos de importancia económica como, chile, café, nabo, frijol, entre otros (Martínez-Tomás *et al.*, 2019; Rodríguez-Hernández *et al.*, 2019; Abasolo-Pacheco *et al.*, 2020; Mazón-Suástegui *et al.*, 2022). Sin embargo, la agrohomeopatía enfrenta retos en cuanto a su aceptación generalizada y la resistencia al cambio por parte de algunos agricultores.

### **1.2.2 Nosodes**

Los nosodes son preparados homeopáticos elaborados a partir de organismos patógenos, insectos o materiales relacionados con el estrés que afecta a las plantas. Su preparación sigue el principio homeopático de "lo semejante cura lo semejante" propuesto

por Samuel Hahnemann en 1796, a partir de una tintura madre, que es un extracto concentrado del agente causante del problema, obtenido mediante la maceración en alcohol. Este proceso permite conservar los principios activos de la sustancia original. Luego la tintura madre se diluye en varias etapas para crear el nosode (Ruíz-Espinosa y Rivadeneira-Cruz, 2023). Este proceso permite que los nosodes actúen de manera efectiva sin generar toxicidad. Al aplicarse a las plantas, influyen en la biosíntesis de compuestos secundarios, como los compuestos orgánicos volátiles (COVs), que repelen plagas y atraen a insectos benéficos. Además, estimulan las defensas naturales de las plantas, reduciendo la severidad de enfermedades y fortaleciendo su resistencia a ataques de insectos (Bonato, 2007; FAO, 2010).

Altas diluciones: El método más utilizado es el centesimal 1/100 (CH), en donde se utiliza una gota o ml de la tintura madre por 99 de solución hidroalcohólica. Para lograr las diluciones deseadas, se coloca una gota de la tintura madre en un frasco limpio y se añaden 99 gotas de solución hidroalcohólica, después se toma el frasco y se agita cien veces (sucusiones), de esta manera obtendremos la dilución a la potencia 1CH, después se extrae una gota de la solución a 1CH y se coloca en otro frasco vacío, se añaden 99 gotas de solución hidroalcohólica para realizar otra vez las cien agitaciones, al nuevo frasco se le coloca la leyenda 2 CH, es decir, segunda potencia centesimal. Así, se repite hasta lograr la potencia centesimal deseada (Tichavsky, 2007).

La aplicación de nosodes debe ser en las primeras etapas del cultivo, para darle tiempo a la planta de poder asimilar los compuestos del preparado; se recomienda aplicar a primeras horas del día o al anochecer, para evitar la volatilización de los compuestos activos (FAO, 2010).

### **1.2.3 Compuestos orgánicos volátiles**

Las plantas emiten compuestos orgánicos volátiles (COVs) como señales químicas para atraer depredadores y parasitoides que atacan plagas, o para repeler insectos dañinos. Estos COVs también permiten la comunicación entre plantas, preparándolas para enfrentar amenazas, como herbívoros o patógenos, mediante la activación de mecanismos de defensa (Ninkovic *et al.*, 2016). El intercambio de señales volátiles es clave en la interacción con el

entorno, influyendo tanto la protección de la planta como la atracción de organismos benéficos (Chen *et al.*, 2020).

#### **1.2.4 Principal plaga en maíz (*Spodoptera frugiperda* Smith)**

*Spodoptera frugiperda*, conocida como "gusano cogollero", es una especie de lepidóptero nocturno perteneciente a la familia Noctuidae. Se trata de una plaga agrícola que afecta principalmente a los cultivos de maíz y otros cultivos de cereales, así como a algunas plantas ornamentales (FAO, 2017). En los últimos años, se ha convertido en la plaga de mayor importancia económica para el cultivo de maíz, tiene una distribución amplia alrededor de todo el mundo con mayor presencia en las regiones tropicales y subtropicales. Sus daños son causados durante su etapa larval, penetrando el cogollo de la planta para alimentarse; las larvas de primeros estadios suelen tener comportamiento de trozadoras, pero al crecer, desarrollan hábitos de defoliadores (FAO, 2017). Cuando la planta de maíz tiene alrededor de 50 cm de altura o menos, genera perforaciones en las hojas y ataques severos pueden provocar la muerte del cogollo. Una infestación no controlada puede causar pérdidas en el rendimiento del cultivo de maíz que van desde un 13% hasta un 60% durante el crecimiento vegetativo del maíz (DGSV-CNRF, 2020).

#### **1.2.5 Entomófagos**

Los entomófagos son organismos que se alimentan de otros insectos, desempeñando un papel crucial en el control biológico de plagas, ya sea depredándolos o parasitándolos. Estos organismos ayudan a regular las poblaciones de plagas, lo que reduce la necesidad de pesticidas químicos y contribuye a la sostenibilidad agrícola (García *et al.*, 2020)

Los entomófagos también contribuyen a la biodiversidad y al equilibrio de los ecosistemas, ya que su presencia favorece interacciones naturales entre diferentes especies. Su estudio es fundamental para implementar estrategias de manejo integrado de plagas en la agricultura moderna (Stemmelen *et al.*, 2022).

##### **1.2.5.1 Parasitoides**

Los parasitoides son insectos que se desarrollan a expensas de un huésped artrópodo, al que eventualmente matan (Bernal, 2007). Durante su etapa larvaria, viven dentro (endoparasitoides) o fuera (ectoparasitoides) del huésped, alimentándose de él hasta que

alcanzan su etapa adulta. Los parasitoides utilizan adaptaciones como oviposidores largos y venenos paralizantes para asegurar el éxito de su progenie (Villegas-Mendoza *et al.*, 2015).

### **1.2.5.2 Depredadores**

Los depredadores son insectos que cazan, matan y se alimentan de múltiples presas durante su vida. Suelen ser más grandes que sus presas y pueden ser oligófagos o polífagos, incluso practicando canibalismo en algunos casos (Nájera-Rincón y Souza, 2010).

### **1.2.5.3 Entomófagos relacionados con *Spodoptera frugiperda***

Varios entomófagos están asociados con el control de *Spodoptera frugiperda*. Parasitoides como *Chelonus insularis* (Braconidae) y *Telenomus remus* (Scelionidae) parasitan los huevos o larvas de esta plaga. Entre los depredadores, especies como *Chrysoperla carnea* (Chrysopidae) y las chinches *Orius* sp. (Anthocoridae) son importantes entomófagos que se alimentan de los huevos y larvas de *S. frugiperda* (Hernández-Trejo *et al.*, 2018).

### **1.2.6 Uso de nosodes en la agricultura**

El uso de nosodes en la agricultura ha ganado atención en los últimos años como una estrategia alternativa y sostenible para el manejo de plagas y enfermedades (Tichavsky, 2007). En el contexto agrícola, estos tratamientos han mostrado un potencial para favorecer el crecimiento de las plantas, inducir mecanismos de defensa físicos o químicos, reducir el daño y las enfermedades por patógenos e insectos y, por consiguiente, disminuir el uso de agroquímicos convencionales (Meneses *et al.*, 2017; Prieto *et al.*, 2021; Olveira *et al.*, 2023).

El efecto de estos tratamientos en el crecimiento vegetativo de las plantas ha sido ampliamente estudiado en los últimos años. Su aplicación puede estimular el desarrollo óptimo de las plantas, favoreciendo un crecimiento más robusto y resiliente en condiciones de estrés (Bonato, 2007). Estudios previos han mostrado que, en cultivos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), la aplicación de nosodes incrementó el porcentaje de germinación, emergencia y favoreció el desarrollo vegetativo general de las plantas (Abasolo-Pacheco *et al.*, 2020); en plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.), su aplicación favoreció la longitud del

tallo, el porcentaje de germinación, el peso fresco y seco de la radícula, el diámetro del tallo y el número de hojas y flores (Abasolo-Pacheco *et al.*, 2020). De manera similar, en plantas de nabo favoreció el diámetro del tallo, longitud de raíces y la germinación (Abasolo-Pacheco *et al.*, 2021).

Además, la aplicación de nosodes en cultivos activa las defensas sistémicas adquiridas de las plantas, de manera similar a los mecanismos observados con el uso de inductores químicos o biológicos (Bonato, 2007). Los nosodes pueden influir en la fisiología de las plantas de diversos cultivos, alterando su metabolismo y promoviendo la resistencia a diversos tipos de estrés biótico, como el ataque de insectos y la infección por patógenos (Rossi *et al.*, 2007; Wyss *et al.*, 2010; Molodon *et al.*, 2012; Giesel *et al.*, 2013; Narváez-Martínez *et al.*, 2014; Mapeli *et al.*, 2015; Hernández *et al.*, 2017; Mapeli *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2023).

Existen pocos trabajos (Mapeli *et al.*, 2015; Molodon, 2013) evaluando el efecto de nosodes en altas diluciones sobre la interacción trófica planta-insecto; no hay trabajos donde se haya evaluado la respuesta del perfil metabolómico de compuestos volátiles de las plantas relacionados con la atracción de entomófagos y la repelencia de fitófagos. El único estudio disponible hasta la fecha forma parte de una tesis de maestría y se realizó en plantas de fresa (*Fragaria × ananassa* L.), demostrando que la aplicación de nosodes de *Tetranychus urticae* favorece la producción de volátiles relacionados con la atracción de entomófagos y la repelencia a la oviposición de esta plaga (Rodríguez-Ramírez *et al.*, 2018).

El concepto de antixenosis y/o antibiosis se ha vinculado con el uso de nosodes en diferentes cultivos, sugiriendo que estos preparados pueden modificar las características físicas o químicas de las plantas para hacerlas menos atractivas o dañinas para los organismos perjudiciales (Mapeli *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2023). Por ejemplo, las plantas de soja (*Glycine max* L.) tratadas con nosodes de *Anticarsia gemmatalis* modifican su valor nutricional, ocasionando pérdida de peso y longitud en las larvas del fitófago (Silva *et al.*, 2023); las plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) aumentan su actividad de peroxidasas, catalasas, quitinasas,  $\beta$ -1,3-glucanasas y concentración de proteínas en su expresión del sistema defensivo (Oliveira *et al.*, 2014; Deboni *et al.*, 2021); los nosodes de *Dysaphis plantaginea* aplicados en árboles de manzano ocasionaron una disminución en la población de pulgones juveniles (Wyss *et al.*, 2017). Resultados similares se han descrito en diversos cultivos como

chile, frijol, kale, café, tomate, entre otros (Modolon *et al.*, 2012; Martínez-Tomás *et al.*, 2019; Rodríguez-Hernández *et al.*, 2019; Mazón-Suástegui *et al.*, 2020; Prieto *et al.*, 2021).

Por otro lado, los nosodes también pueden inducir cambios metabólicos que afectan directamente el desarrollo y comportamiento de las plagas. Por ejemplo, al aplicar nosodes de *Cochliomyia hominivorax* para su control en bovinos, las larvas presentaron desequilibrios en su sistema de señalización celular, el cual controla su metamorfosis, ocasionando deformaciones y, posteriormente, su muerte con una efectividad de más del 60 % (de Barros *et al.*, 2018). La aplicación de nosodes del pulgón *Brevicoryne brassicae* para su control en plantas de kale (*Brassica oleracea* L.) indujo polimorfismo, ocasionando un mayor número de pulgones alados y un menor número de ninfas por colonia (Mapeli *et al.*, 2022).

A pesar del creciente número de investigaciones que evalúan la efectividad de los nosodes en una amplia gama de cultivos, es notable que, en cultivos de gran importancia económica a nivel mundial, como el maíz (*Zea mays* L.), aún son muy pocos los estudios con rigor científico. En uno de los pocos trabajos disponibles, se evaluó la aplicación de nosodes de *Spodoptera frugiperda* sobre plantas de maíz, mostrando una disminución en el peso, tamaño y población de las larvas de esta plaga, lo que ocasionó una reducción del daño durante las etapas vegetativas de seis y ocho hojas del cultivo (Almeida *et al.*, 2003).

Esto demuestra un impacto positivo de estos tratamientos en la reducción de plagas como *S. frugiperda*. Sin embargo, es evidente la necesidad de más investigaciones para evaluar su efecto en diferentes aspectos del desarrollo del maíz, como sus interacciones bióticas con entomófagos, su crecimiento y su potencial como alternativa sostenible a los agroquímicos convencionales.

### **1.3 HIPÓTESIS**

La aplicación de nosodes en altas diluciones en plantas de maíz induce la producción de metabolitos secundarios que favorecen el crecimiento, la atracción de entomófagos y la repelencia de *Spodoptera. frugiperda*.

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 General**

-Evaluar el efecto de la aplicación de nosodes en altas diluciones en el crecimiento del maíz, herbivoría, repelencia de *S. frugiperda* y la atracción de entomófagos.

#### **1.4.2 Específicos**

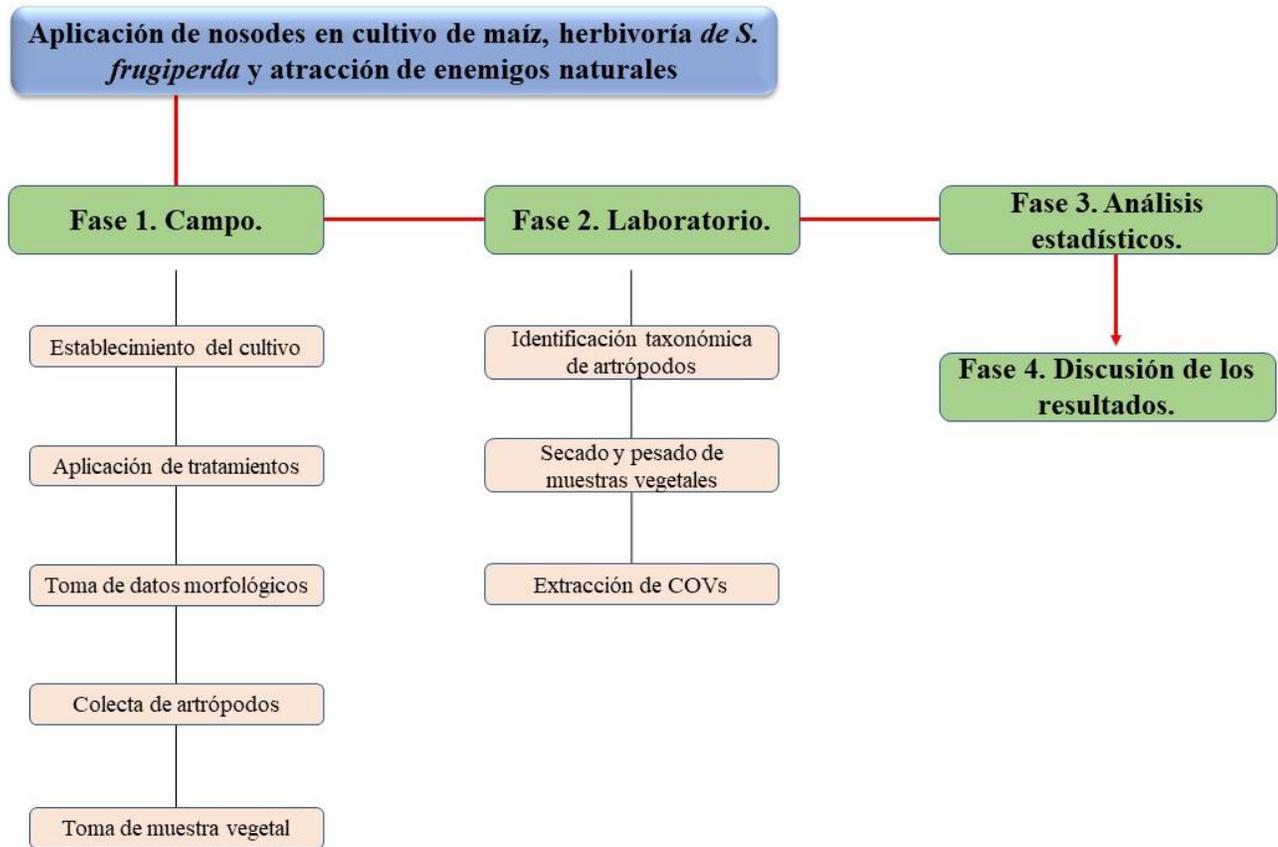
-Caracterizar los principales compuestos orgánicos del maíz relacionados con la repelencia a *S. frugiperda* y atracción de entomófagos en plantas de maíz tratadas con nosodes en diferentes diluciones.

-Evaluar el crecimiento vegetativo en maíz tratado con nosodes en diferentes diluciones.

-Evaluar la incidencia y grado de daño ocasionado por larvas de *S. frugiperda* en maíz tratado con nosodes en diferentes diluciones.

-Caracterizar las comunidades de entomófagos asociados al cultivo de maíz tratadas con nosodes en diferentes diluciones

## 1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



## 1.6 LITERATURA CITADA

- Abasolo-Pacheco, F., Bonilla-Montalván, B., Bermeo-Toledo, C., Ferrer-Sánchez, Y., Ramírez-Castillo, A. J., Mesa-Zavala, E., Llerena-Ramos, L., Mazón-Suástegui, J. M. 2020. Efecto de medicamentos homeopáticos en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Terra Latinoamericana, 38(1), 219-233. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.718>
- Abasolo-Pacheco, F., C. M. Ojeda-Silvera, V. García-Gallirgos, C. Melgar-Valdes, K. Nuñez-Cerezo y J. M. Mazón-Suástegui. 2020. Efecto de medicamentos homeopáticos durante la etapa inicial y desarrollo vegetativo de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.) Terra Latinoamericana Número Especial 38-1: 165-181. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.666>
- Abasolo-Pacheco, F., Ojeda-Silvera, C. M., Cervantes-Molina, J. E., Moran-Villacreses, E., Vera-Aviles, D., Ganchozo-Mendoza, E., Mazón-Suástegui, J. M. 2020. Respuesta agronómica del nabo (*Brassica napus* L.) a la aplicación de medicamentos homeopáticos. Terra Latinoamericana, 38(1), 183-198. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.66>
- Almeida, A. A., Galvão, J. C. C., Casali, V. W. D., Lima, E. R. L., Miranda, G. 2003. Tratamientos homeopáticos e densidade populacional de *Spodoptera frugiperda* em milho. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, 2(2), 1-8. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v2n2p1-8>
- Altieri, M. A., Trujillo, J., Campos, L., Klein-Koch, C., Gold, C. S., Quezada, J. R. 1989. El control biológico clásico en América Latina en su contexto histórico. Manejo Integrado de Plagas, 12, 82-107.
- Andrade, F. M. C., Casali, V. W. D., De Vita, B., Cecon, P. R. 2001. Efeito de homeopatas no crescimento e na produção de cumarina em chambá (*Justicia pectoralis* Jacq.). Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, 4, 19-28.
- Bernal, J. S. 2007. Biología, ecología y etología de parasitoides. En L. A. Rodríguez-del-Bosque H. C. Arredondo-Bernal (Eds.), Teoría y aplicación del control biológico (pp. 61-74).
- Bonato, C. M. 2007. Homeopathy in vegetal models. International Journal of High Dilution Research, 6(21), 24-28.

- Chen, S., Zhang, L., Cai, X., Li, X., Bian, L., Luo, Z., Li, Z., Chen, Z., Xin, Z. 2020. (E)-Nerolidol is a volatile signal that induces defenses against insects and pathogens in tea plants. *Horticulture Research*, 7, 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41438-020-0275-7>
- de Barros, G. P., Seugling, J., Bricarello, P. A. 2019. Effect of Homeopathic Medicines and a Nosode on Larvae of *Cochliomyia hominivorax* (Diptera: Calliphoridae). *Homeopathy: the Journal of the Faculty of Homeopathy*, 108(3), 177–182. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1677479>
- Deboni, T. C., Cargnelutti, D., Ghizzoni, J. C., de Melo Santiago, G., Garbin, E., Loregian, A. C., Petry, C. 2021. Actividad peroxidasa y concentración de proteínas en *Phaseolus vulgaris* l. tratado con preparaciones homeopáticas. *Research, Society and Development*, 10(9), e59110918457-e59110918457. <http://doi.org/10.33448/rsd-v10i9.18457>
- de Moraes, A. R. A., Lourenção, A. L., Paterniani, M. E. 2015. Resistance of conventional and isogenic transgenic maize hybrids to *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Bragantia*, 74, 50–57. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0367>
- DGSV-CNRF. 2020. Gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria Dirección General de Sanidad Vegetal- Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria-Grupo Especialista Fitosanitario. Ficha Técnica, Tecámac, México
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2010. FAOSTAT Producción agrícola. Disponible en: <https://www.fao.org/3/as435s/as435s.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2017. FAOSTAT Producción agrícola. Disponible en: <https://www.fao.org/publications/card/es/c/fc84eb0c-29df-475e-9d888a73957e9d1b/#:~:text=El%20gusano%20cogollero%20del%20ma%C3%ADz,tambi%C3%A9n%20las%20leguminosas%2C%20a>
- García, F. R., Ovruski, S. M., Suárez, L., Cancino, J., & Liburd, O. E. 2020. Biological control of tephritid fruit flies in the Americas and Hawaii: A review of the use of parasitoids and predators. *Insects*, 11 (10), 662.

- Giesel, A., Boff, M. I. C., Gonçalves, P. A. S., Boff, P. 2013. Activity of leaf-cutting ant *Atta sexdens* piriventris submitted to high dilution homeopathic preparations. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16, 25-33
- Gonçalves, P. A. S., Debarba, J. F., Keske, C. 2005. Incidência da mosca-das-frutas, *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae), em cultivares de ameixa conduzidas sob sistema orgânico. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 4(2), 101-108
- Hernández, C. R., Espinoza, F. J. R., Covarrubias, L. M. S., Cedillo, I. R. 2017. Inducción de resistencia en frijol contra conchuela *Epilachna varivestis* con nutrición y homeopatía. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, 6, 43-56
- Hernández-Trejo, A.; Osorio-Hernández, E.; López-Santillán, J. A.; Ríos-Velasco, C.; Varela-Fuentes, S. E.; Rodríguez-Herrera, R. 2018. Insectos benéficos asociados al control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Agroproductividad*, 11(1), 9-14
- Kumar, K. & Ramadevi, B. 2024. Usage of homeopathic treatments for plant pathogen control, an overview of the history and trends: a comprehensive review. *International Journal of Advanced Research*. 12. 174-188. 10.21474/IJAR01/18279
- Mapeli, N. C., Ferreira da Silva, G., Silva Santos, R. H., Cremon, C., Chamma, L., Ottoboni Luperini, B. C. 2022. Homeopathic solutions induce production of winged forms in aphid. *Comunicata Scientiae*, 13, e3908. <https://doi.org/10.14295/cs.v13.3908>
- Mapeli, N. C., Santos, R. H. S., Casali, V. W. D., Cremon, C., Silva, A. N. D., Mandarino, A. P. 2015. Deterrência alimentar em *Ascia monuste* orseis Godart (Lepidoptera: Pieridae) induzida por soluções homeopáticas. *Revista Ceres*, 62, 184-190
- Martínez-Tomás, S. H., Rodríguez-Hernández, C., Ramírez-Valverde, G. 2019. Aplicación homeopática de venenos, plantas y barrenillo, para obtención de frutos de *Capsicum annuum* sin *Anthonomus eugenii* Cano, 1894. *Entomología Mexicana*, 6, 292-298
- Mazón-Suástegui, J. M., García-Bernal, M., Ojeda-Silvera, C. M., Batista-Sánchez, D. y Ruiz-Espinoza, H. (2022). Índice de tolerancia al estrés salino y análisis de crecimiento de dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L. y *Vigna unguiculata* L., Walp.), cultivadas en un

- medio salino (NaCl) y tratadas con medicamentos homeopáticos. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-9. e1083. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.1083>
- Mazón-Suástegui, J. M., Ojeda-Silvera, C. M., García-Bernal, M., Batista-Sánchez, D., Abasolo-Pacheco, F. 2020. La homeopatía incrementa la tolerancia al estrés por NaCl en plantas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Quivicán. *Terra Latinoamericana*, 38(1), 37-51. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.584>
- Mazón-Suástegui, J. M., Ojeda-Silvera, C. M., García-Bernal, M., Avilés-Quevedo, M. A., Abasolo-Pacheco, F., Batista-Sánchez, D., Tovar-Ramírez, D., Arcos-Ortega, F., Murillo-Amador, B., Nieto-Garibay, A., Ferrer-Sánchez, Y., Morelos-Castro, R. M., Alvarado-Mendoza, A., Díaz-Díaz, M., Bonilla-Montalvan, B. 2019. Agricultural homeopathy: A new insight into organics. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.84482>
- Mazón-Suástegui, J. M., Ojeda-Silvera, C. M., Agüero Fernández, Y. M., Batista-Sánchez, D., Batista-Sánchez, D., García-Bernal, M., Abasolo-Pacheco, F. 2020. Efecto de medicamentos homeopáticos en la germinación y crecimiento inicial de *Salicornia bigelovii* (Torr.). *Terra Latinoamericana*, 38(1), 113-124. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.580>
- Meneses, M. N. 2017. Agrohomeopatía como alternativa a los agroquímicos. *Revista Médica Homeopática*, 10, 9-13. <https://doi.org/10.1016/j.homeo.2017.04.004>
- Modolon, T. A., Boff, P., Boff, M. I. C., Miquelluti, D. J. 2012. Homeopathic and high dilution preparations for pest management in tomato crop under organic production system. *Horticultura Brasileira*, 30, 51-57
- Modolon, T. A., Boff, P., Boff, M. I. C., de Souza Gonçalves, P. A., & Miquelluti, D. J. 2013. Ocorrência de insetos em plantas de tomateiro tratadas com preparados em altas diluições. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 12(2), 155-162
- Nájera Rincón, M. B., Souza, B. 2010. Insectos benéficos. Guía para su Identificación. DR Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México
- Narváez-Martínez, E.C., Toro, P.H.A., León-Guevara, J.A., Bacca, T. 2014. Evaluation of homeopathic *Neoleucinodes elegantalis* Guenée (Lepidoptera: Crambidae) growing lulo. *Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1), 115-123

- Ninkovic, V., Markovic, D., Dahlin, I. 2016. Decoding neighbour volatiles in preparation for future competition and implications for tritrophic interactions. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 23, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2016.09.005>
- Oliveira, H. W. G. dos S., Pereira, I. F., da Silva Neto, B. F., Arruda, T. R., Ribeiro, A. R. da S., Caminho, F. B., Soares, K. O., Oliveira, A. P. da S. 2023. Agrohomenopatía: "estado da arte". *Observatório de la Economía Latinoamericana*, 21(11), 22279-22301. <https://doi.org/10.55905/oelv21n11-199>
- Oliveira, J. S. B., Bonato, C. M., Carneiro, S. M. T. P. G., & Picoli, M. H. S. 2014. Activation of biochemical defense mechanisms in bean plants for homeopathic preparations. *African Journal of Agricultural Research*, 9(11), 971-981
- Prieto Méndez, J., Prieto García, F., Hernández Pérez, A. D., Quijada Morales, L. M., Aquino Torres, E., Acevedo Sandoval, O. A. 2021. Agrohomenopatía: New tool to improve soils, crops and plant protection against various stress conditions. Review. *Horticultura Argentina*, 40(101)
- Rezende-Teixeira, P., Dusi, R. G., Jimenez, P. C., Espindola, L. S., Costa-Lotufo, L. V. 2022. What can we learn from commercial insecticides? Efficacy, toxicity, environmental impacts, and future developments. *Environmental Pollution*, 306, 118983. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118983>
- Rodríguez-Hernández, C., Ramos-Reyes, S., Escamilla-Prado, E., Ruiz-Espinoza, F. D. J. 2019. Reducción del desarrollo de la roya anaranjada del café con mezcla de homeopáticos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1047-1056
- Rodríguez, R., Araceli, L. 2018. Utilización de agrohomenopáticos para el control del ácaro *Tetranychus urticae* en cultivo de fresa [Tesis de maestría en ciencias de producción agrícola sustentable, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio institucional. <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/25237>
- Rossi, F., Melo, P. C. T., Pascholati, S. F., Casali, V. W. D., Ambrosano, E. J., Guirado, N., Mendes, P. C. D., Ambrosano, G. M. B., Schammass, E. A., Toffano, L., Piero, R. M. 2007. Aplicação de bioterápico visando induzir resistência em tomateiro contra mancha bacteriana. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 2(1), 858-861

- Ruiz Espinosa, F. 2001. Agrohomeopatía: una opción ecológica para el campo mexicano. *La Homeopatía de México*, 70(613), 110-116
- Ruiz-Espinoza, F. de J., y Rivadeneira-Cruz, I. E. 2023. *Agrohomeopatía para la vida*. Texcoco, México: Universidad Autónoma Chapingo. pp. 34–53.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2023. Datos abiertos: Estadística de Producción Agrícola. <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Silva, G. F. D., Mapeli, N. C., Cremon, C., Chamma, L., Silva, G. F. D., Luperini, B. C. O., Putti, F. F. 2023. Homeopathic Solutions as a Tool for the Agroecological Management of Velvetbean Caterpillar. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 66, e23220046
- Stemmelen, A., Jactel, H., Brockerhoff, E., y Castagneyrol, B. 2022. Meta-analysis of tree diversity effects on the abundance, diversity, and activity of herbivores' enemies. *Basic and Applied Ecology*, 58, 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.12.003>
- Tichavsky, R. M. C. M. 2007. *Manual de agrohomeopatía*. Instituto Comenius en colaboración con la Secretaría de Desarrollo Social
- Tichavský, R. 2009. *Homeopatía para las plantas*. Fujimoto Promociones
- Villegas-Mendoza, J. M., Sánchez-Varela, A., Rosas-García, N. M. 2015. Caracterización de una especie de *Meteorus* (Hymenoptera: Braconidae) presente en larvas de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en el Norte de Tamaulipas, México. *Southwestern Entomologist*, 40(1), 161-169
- Wyss, E., Tamm, L., Siebenwirth, J., Baumgartner, S. 2010. Homeopathic preparations to control the rosy apple aphid (*Dysaphis plantaginea* Pass.). *The scientific world journal*, 10, 38-48. <https://doi.org/10.1100/tsw.2010.12>

## **CAPITULO II. EL USO DE NOSODES EN MAÍZ MEJORA SU CRECIMIENTO Y DEFENSAS QUÍMICAS CONTRA *Spodoptera frugiperda***

Julio Ahuatzin-Hernández<sup>1</sup>, René Garruña<sup>2</sup>, Emanuel Hernández-Núñez<sup>3</sup>, Honorio Martínez-Tomás<sup>4</sup>, Alejandra González-Moreno<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Conkal, Conkal C.P.97345, Yucatán, México.

<sup>2</sup>CONAHCYT-Instituto Tecnológico de Conkal, Conkal C.P.97345, Yucatán, México.

<sup>3</sup>Departamento de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico Superior de Calkiní. Av. Ah Canul S/N por Carretera Federal, 24930 Calkiní, Campeche, México.

<sup>4</sup>Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Oaxaca 71230, México.

Corresponding autor: [alejandra.gonzalez@itconkal.edu.mx](mailto:alejandra.gonzalez@itconkal.edu.mx)

### **2.1 RESUMEN**

Los nosodes son una alternativa novedosa que promete potenciar aspectos fisiológicos de los cultivos mediante tratamientos terapéuticos altamente diluidos elaborados a partir de las plagas que afectan al cultivo en cuestión, como es el caso del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en maíz, una de las principales plagas en este cultivo. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el uso de los nosodes como una alternativa amigable con el ambiente para el control de *S. frugiperda* en maíz. Se llevaron a cabo cinco tratamientos basados en diferentes diluciones de nosodes, los cuales fueron comparados con un tratamiento de control. Las mediciones incluyeron el desarrollo vegetativo del maíz, el nivel de daño causado por la plaga y el análisis de las comunidades de entomófagos, así como de los compuestos químicos presentes en las plantas. Los datos de crecimiento y daño fueron evaluados utilizando modelos lineales generalizados mixtos, aplicando la corrección de Bonferroni para los valores  $p$  ( $p \leq 0.05$ ). La caracterización de los entomófagos se llevó a cabo mediante los números de Hill  $qD$  y las curvas de rango-abundancia. Además, se realizaron análisis de componentes principales y discriminantes de mínimos cuadrados

parciales, empleando un gráfico VIP (Importancia de Variables en la Proyección) para definir el perfil metabolómico.

**Palabras clave:** agroecología; agrohomeopatía; entomófagos; plagas; *Zea mays*.

## ABSTRACT

Nosodes are a novel alternative that promises to enhance the physiological aspects of crops through highly diluted therapeutic treatments prepared from the pests that affect the target crop, such as the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in maize, one of the main pests in this crop. This study aimed to evaluate the use of nosodes as an environmentally friendly alternative for the control of *S. frugiperda* in maize. Five treatments based on different nosode dilutions were conducted and compared to a control treatment. Measurements included maize vegetative growth, pest damage levels, and the analysis of natural enemy communities, as well as the chemical compounds present in the plants. Growth and damage data were evaluated using generalized linear mixed models with Bonferroni p-value correction ( $p \leq 0.05$ ). The characterization of entomophagous species was carried out using Hill numbers (qD) and rank-abundance curves. Additionally, principal component analysis (PCA) and partial least squares discriminant analysis (PLS-DA) were performed, employing a VIP (Variable Importance in Projection) plot to define the metabolomic profile.

**Keywords:** agroecology; agrohomeopathy; entomophagous insects; pests; *Zea mays*.