



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

**ENEMIGOS NATURALES DE *Spodoptera frugiperda*
(LEPIDOPTERA:NOCTUIDAE) EN CAMPECHE Y YUCATÁN: UN
ANÁLISIS DESDE LAS COMUNIDADES HASTA SU RELACIÓN CON
ENTOMOPATÓGENOS**

TESIS

Que presenta:

Ricardo Josué Chan Canché

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Doctor en Ciencias en Agricultura Tropical

Directora de tesis:

Dra. Alejandra del Socorro González Moreno

Conkal, Yucatán, México

Junio, 2025



TecNM



Conkal, Yucatán, México, a 13 de junio de 2025

El comité de tesis del candidato a grado: Ricardo Josué Chan Canché, constituido por los CC. Dra. Alejandra Del Socorro González Moreno, Dr. Jairo Cristóbal Alejo, Dr. Esaú Ruiz Sánchez, Dr., Jorge Leirana Alcocer, Dr. José Manuel Rodríguez Vélez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: ENEMIGOS NATURALES DE *SPODOPTERA FRUGIPERDA* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) EN CAMPECHE Y YUCATÁN: UN ANÁLISIS DESDE LAS COMUNIDADES HASTA SU RELACIÓN CON ENTOMOPATÓGENOS, 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

Dra. Alejandra del Socorro
González Moreno
Directora de Tesis

Dr. Jairo Cristóbal Alejo
Co-director de Tesis

Dr. Esaú Ruiz Sánchez
Asesor de Tesis

Dr. Jorge Leirana Alcocer
Asesor de Tesis

Dr. José Manuel Rodríguez Vélez
Asesor de Tesis



Conkal, Yucatán, México a 13 de junio de 2025.

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.

Ricardo Josué Chan Canché

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico de Conkal, el cual siempre será mi segunda casa y alma mater, en la que he pasado los momentos más felices de mi vida y mis mayores logros. A la maestra Josefina Vidal Serrano, así como profesores del programa de División de Estudio de Posgrado e Investigación (DEPI), en especial al, Dr. Rene, Dr. Carlos Juan, Dr. Rubén y al Dr. Horacio, Dr. Arturo y al Dr. Piñeiro.

A la Dra. Alejandra González Moreno, por ser mi mentora y mi fuente de inspiración durante todos estos años. Por aceptarme como estudiante, como persona, inclusive como amigo, gracias por apoyarme con cada duda, consejo, tiempo, paciencia, y por supuesto gracias también por cada regaño. También te agradezco la gran confianza que me tienes y que me has regalado para poder aportar conocimiento a otras personas. Si tengo suerte en la vida espero haber aprendido lo suficiente de ti, para que en un futuro espero no muy lejano, ser al menos un poquito talentoso como tú lo eres en la vida.

Al Dr. Jairo Cristóbal Alejo por las aportaciones que realizó en este trabajo, así como en mi formación en los últimos años, por sus comentarios, revisiones, confianza, por la motivación y ayuda que me brindo en todo este tiempo.

Al. Dr. Esaú Ruiz Sánchez, por inculcarme y animarme a tener nuevos conocimientos que nunca pensé poder desarrollar, por fortalecer el cariño a la agricultura y poder potencializar mi trabajo técnico en el campo, gracias por cada aportación en este trabajo y el apoyo brindado,

Al Dr. Jorge Leirana Alcocer por todo el tiempo y conocimiento adquirido en los estadísticos de este trabajo, de igual manera agradezco las observaciones, correcciones, aportaciones y revisiones de cada capítulo escrito. Mas que nada por apoyo y las palabras brindadas que me animaron a seguir,

Agradezco al Centro Nacional de Referencia de Control Biológico (CNRCB) por aceptarme en el tiempo en el que realice mi estancia académica, en especial al departamento de insectos entomófagos y genética molecular donde realice mis identificaciones, técnica de montaje y nuevos conocimientos.

Al Dr. Josue Manuel Rodríguez Vélez, Dra. Beatriz Rodríguez Vélez, y a la Dra. Mariza Sarmiento Cordero, por sus atenciones durante mi estancia en departamento de insectos entomófagos, en la cual me lleve nuevas enseñanzas técnicas que aportan mi conocimiento en el ámbito de la taxonomía, por las revisiones, comentarios, y aportaciones que le dieron a esta investigación, más allá de todo esto, agradezco el hacerme apreciado y valorado en el tiempo que estuve fuera de casa, ya que nunca me sentí, eso siempre lo tendré presente.

A la secretaria de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por brindarme el apoyo económico durante el transcurso de mis estudios de Doctorado

Quiero también agradecer a Lic. Lina, y Yenny, que en todo momento me apoyaron, me ayudaron, y me salvaron de tantas cosas, tengo la inmensa suerte de poder haberlas conocido, nunca cambien, y más que nada muchas felicidades por el papel que tienen en el DEPI.

A todos mis compañeros/amigos que han estado conmigo a lo largo de mi etapa de estudiante como en lo personal, agradezco a; Dany, Roberto, Julio, Walter, Gaby, Clemente, Ángel, Arnoldo, Lalo, Mauro, Ursula, Sheila y Felipe. No quiero omitir a todas los estudiantes que me permitieron ayudarlas, Christian, Darly, Mirely, Brandon, José, Raydair y Nachito, que fueron parte de todo este trabajo, me alentaron demasiado y me hicieron creer en mí mismo, pero, sobre todo, que todos, lo lograron sus metas por lo que me hacen sentir muy feliz.

Para mis mejores amigos, para mi mejor amiga Maryjose, la que nunca me dejó, la que siempre me escucho y ánimo, gracias por tantos años de amistad y más que nada por soportarme. Es inevitable olvidarme de Mayra, Fátima, Fabiola, que son mis más grandes confidentes, son el aliento que a veces nos falta en los días malos y grises, las quiero tanto hoy y siempre. No puedo olvidarme de mis mejores amigos Heiner, Ariel, Boris, Deme, Robin, Fernando, Lyam, los cuales la vida los hizo mis hermanos, los admiro, y los voy querer toda mi vida.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis primeramente a Dios. Por estar conmigo en los mejores momentos de mi vida, así como en los más adversos, por cuidarme, protegerme, alentarme, guiarme, darme fuerzas cuando estaba en la lona, y de repente fortalecer mi corazón de amor e iluminar mi vida. Mas que nada te agradezco ponerme a las personas que ha puesto en mi vida. Gracias por ser mi mejor amigo.

Este trabajo, está dedicada a mi grande amor y mi aliento, mi motor, a la persona más buena del mundo que es mi madre, a la famosísima, Doña Carmita, más popular que yo, ella es la persona que más amo en todo el mundo, mi persona favorita, no podría hacer estas cosas sin ti, me gustaría que me duraras toda la vida, gracias por todo tu amor incondicional, noble, bonito, sincero, no te importa quien sea o lo que haga, yo sé que siempre me vas amar como yo te amo a ti.

No obstante, agradezco las primeras personas que me amaron y me enseñaron a amar, mi señor padre Antonino Chan, mi maestro de vida. A mis hermanos y hermanas Laura, Aurora, Edgar y Manuel. Quienes son mis mejores amigos, porque ellos me perdonan todo, a cada uno les agradezco su amor y tiempo que tienen por preocuparse por mí, gracias también por hacerme tío, no soy el mejor ejemplo, pero como quiero a mis niños; Mariana, Adriana, Emma, Leonardo y Eduardo. Porque la familia lo es todo.

Por último, no puedo no dedicarte este trabajo y mandarte un abrazo en donde quieras que estes Ing. José Andrés Trejo, siempre serás mi maestro favorito, siempre te pienso y jamás dejare hacerlo, espero estes contento como siempre, gracias por creer en mí y presumirme en todo momento, te quiero mucho chavi, un beso hasta el cielo.

*Si ignoras el nombre de las cosas,
desaparece también lo que sabes de ellas.*

Carlos Linneo

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	3
1.2.1 Control biológico	
1.2.2 Los parasitoides y entomófagos como agentes de control	
1.3 Hipótesis	6
1.4 Objetivos	6
1.4.1 General	6
1.4.2 Específicos	6
1.5 Procedimiento experimental	7
1.6 Literatura citada	8
CAPITULO II. DIVERSIDAD DE INSECTOS DEPRADADORES Y PARASITOIDES EN DOS CAMPOS DE MAÍZ DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN.....	13
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
2.2 INTRODUCCIÓN	15
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS	18
2.3.1 Análisis de datos	19
2.4 RESULTADOS Y DISCUSION	- 21
2.4.1 Riqueza de especies de depredadores	24
2.4.2 Abundancia de especies depredadores	27
2.4.3 Composición de comunidades de depredadores	30
2.4.4 Diversidad verdadera	36
2.4.5 Riqueza y abundancia temporal	38
2.4.6 Parasitismo	41
2.5 CONCLUSIONES	44
2.6 LITERATURA CITADA	46

111. CAPITULO 3. DIVERSIDAD DE INSECTOS DEPRADADORES Y PARASITOIDES EN DOS CAMPOS DE MAÍZ DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN.....	13
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
2.2 MATERIALES Y MÉTODOS	18
2.3.1 Análisis de datos	19
2.4 RESULTADOS Y DISCUSION	21
2.4.1 Riqueza de especies de depredadores	24
2.4.2 Abundancia de especies depredadores	27
2.4.3 Composición de comunidades de depredadores	30
2.4.4 Diversidad verdadera	36
2.4.5 Riqueza y abundancia temporal	38
2.4.6 Parasitismo	41
2.5 CONCLUSIONES	44
2.6 LITERATURA CITADA	46

IV. CAPÍTULO 4. CONTROL OF <i>SPODOPTERA FRUGIPERDA</i> WITH ENTOMOPATHOGENS IN CORN CROPS IN MEXICO: A SAFE BET FOR NON-TARGET PHYTOPHAGES AND BENEFICIAL FAUNA?	13
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
2.2 INTRODUCCIÓN	15
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS	18
2.3.1 Análisis de datos	19
2.4 RESULTADOS Y DISCUSION	21
2.4.1 Riqueza de especies de depredadores	24
2.4.2 Abundancia de especies depredadores	27
2.4.3 Composición de comunidades de depredadores	30
2.4.4 Diversidad verdadera	36
2.4.5 Riqueza y abundancia temporal	38
2.4.6 Parasitismo	41
2.5 CONCLUSIONES	44
2.6 LITERATURA CITADA	46

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO I . INTRODUCCIÓN GENERAL

Figura 1. Estrategia experimental para el desarrollo de la investigación.7

CAPITULO II . DIVERSIDAD DE INSECTOS DEPREDAADORES Y PARASITOIDES EN DOS CAMPOS DE MAÍZ DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Figura 1. Curva de acumulación de familias por semana acumulada de muestreo e intervalos de confianza del 95 % en campos de maíz de Bécál, Campeche y Muna, Yucatán.24

Figura 2. Fig. 2. Curvas de rango-abundancia de las familias de enemigos naturales de fitófagos presentes en campos de maíz de Bécál, Campeche y Muna, Yucatán.....25

Figura 3. Curvas de rango-abundancia de las familias de parasitoides y depredadores presente en cultivos de maíz de Muna, Yucatán y Becal, Campeche.....

CAPITULO III. PARASITOIDS OF *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) IN MAIZE CROP OF THE YUCATAN PENINSULA: NEW RECORDS AND UPDATE KNOWLEDGE IN MEXICO

Figura 1. Collection sites in two states of the Yucatan Peninsula; Conkal, Nolo and Tetíz, in Yucatan State, and Bécál, Campeche (Google Earth, 2024).....

CAPITULO VI. CONTROL OF *SPODOPTERA FRUGIPERDA* WITH ENTOMOPATHOGENS IN CORN CROPS IN MEXICO: A SAFE BET FOR NON-TARGET PHYTOPHAGES AND BENEFICIAL FAUNA?

Figura 1. Effect of treatments on the abundances of insects at Conkal, Mexico30

Figura 2. Effect of treatments on the abundances of phytophages at Conkal, Mexico.32

Figura 3. Effect of treatments on the abundances of parasitoids at Conkal, Mexico.33

Figura 4. Effect of treatments on the abundances of depredators at Bécál, Mexico38

Figura 5. Effect of treatments on the abundances of depredators at Conkal, Mexico39

ÍNDICE DE CUADROS

CAPITULO II . DIVERSIDAD DE INSECTOS DEPREDAADORES Y PARASITOIDES EN DOS CAMPOS DE MAÍZ DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

Cuadro 1. Abundancia de las familias de insectos parasitoides o depredadores capturados en campos de maíz de Bécál, Campeche y Muna, Yucatán..... **24**

Cuadro 2. Diversidad verdadera del orden 0, 1 y 2 (0D , 1D y 2D , respectivamente) de enemigos naturales de fitófagos en Bécál, Campeche y Muna, Yucatán. Entre paréntesis, los límites de confianza del 95% de Jackknife. **25** .

CAPITULO III. PARASITOIDS OF *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) IN MAIZE CROP OF THE YUCATAN PENINSULA: NEW RECORDS AND UPDATE KNOWLEDGE IN MEXICO

Cuadro 1. Parasitoids (Hymenoptera: Parasitica) of *S. frugiperda* in Mexico (N/L= No location)

CAPITULO VI. CONTROL OF *SPODOPTERA FRUGIPERDA* WITH ENTOMOPATHOGENS IN CORN CROPS IN MEXICO: A SAFE BET FOR NON-TARGET PHYTOPHAGES AND BENEFICIAL FAUNA?

Cuadro. 1. Treatments used for *Spodoptera frugiperda* control on *Zea mays* of Yucatan and Campeche, Mexico.**30**

Cuadro 2. Mean number $\pm$ S.E. of the damage caused by the fall armyworm *S. frugiperda* and its effectiveness in corn plants (*Z. mays*) under different treatments for pest control in two locations in the Yucatan Peninsula. Different letters in the same column indicate statistically significant differences (Bonferroni $p < 0.0$ **32**

Cuadro 3. Percentage of parasitoidism of larvae of fall armyworm in maize under different treatment for pest control in two locations at Yucatan Peninsula..... **33**

Cuadro 4. Table 4. ANOVA for repeated measures of the abundance insect by treatment and sampling week. Values of probabilities were significant at 0.05..... **38**

Cuadro 5. ANOVA for repeated measures of the abundance of functional groups by treatment and sampling week. Values of probabilities were significant at 0.05 Effect of treatments on the abundances of depredators at Conkal, Mexico..... **39**

RESUMEN

En México, el Maíz (*Zea mays*) es uno de los cultivos de mayor importancia con una superficie del 50% del territorio nacional. Una de las principales plagas es el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith); para su control, generalmente se utilizan insecticidas químicos, que producen efectos negativos en el ambiente y la salud humana, así como en la fauna benéfica. Una alternativa para el manejo de esta plaga, es el uso de agentes de control biológico, como entomopatógenos o parasitoides. En el presente estudio, se planteó como objetivo evaluar los enemigos naturales de *S. frugiperda*, así como la tasa de parasitoidismo con diferentes tipos de control en cultivo de maíz. El presente trabajo se integró de tres fases: en la fase uno se caracterizó la estructura de comunidades en dos campos de maíz, de los cuales las comunidades de Muna, donde se cultivó maíz criollo y con vegetación de selva alrededor, albergó comunidades más equitativas de parasitoides en comparación con cultivos de maíz híbrido de Bécál; con familias dominantes diferentes en cada sitio. En la fase dos, se determinó y se identificó el porcentaje de parasitoidismo de *S. frugiperda*, que fue mayor en Yucatán con 10% comparado con Campeche con 4.4%; se identificaron cinco especies de parasitoides, con nuevos registros para Campeche y Yucatán, siendo *Euplectrus plathypenae* y *Archytas marmoratus* las que exhibieron los porcentajes más altos. En la fase tres, se evaluó el daño de *S. frugiperda* en cultivos de maíz con tres diferentes tipos de manejo y el impacto de los entomopatógenos en el porcentaje de parasitoidismo y sobre tres grupos de insectos no objetivo; resultando *Bacillus thuringiensis* y *Metarhizium anisopliae*, controladores eficaces para el control de *S. frugiperda* logrando la misma efectividad que el producto químico, sin embargo, estos también afectaron la abundancia de insectos no objetivo, sin embargo, *M. anisopliae* fue más seguro para la fauna benéfica .

ABSTRACT

In Mexico, corn (*Zea mays*) is one of the most important crops, covering 50% of the country's territory. One of the main pests is the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith); its control generally involves the use of chemical insecticides, which produce negative effects on the environment and human health, as well as on beneficial fauna. An alternative for managing this pest is the use of biological control agents, such as entomopathogens or parasitoids. The present study aimed to evaluate the natural enemies of *S. frugiperda*, as well as the parasitoidism rate with different types of control in corn crops. This work consisted of three phases: in phase one, community structure was characterized in two maize fields. The Muna communities, where native maize was grown and surrounded by jungle vegetation, hosted more equitable communities of parasitoids compared to hybrid maize crops in Bécál, with different dominant families at each site. In phase two, the percentage of *S. frugiperda* parasitoidism was determined and identified, which was higher in Yucatán (10%) compared to Campeche (4.4%). Five parasitoid species were identified, with new records for Campeche and Yucatán, with *Euplectrus plathypenae* and *Archytas marmoratus* exhibiting the highest percentages. In phase three, *S. frugiperda* damage to corn crops was evaluated with three different types of management and the impact of entomopathogens on the percentage of parasitoidism and on three groups of non-target insects; resulting in *Bacillus thuringiensis* and *Metarhizium anisopliae*, effective controllers for the control of *S. frugiperda* achieving the same effectiveness as the chemical product, however, these also affected the abundance of non-target insects, however, *M. anisopliae* was safer for beneficial fauna.

I. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Introducción

México es un país que destaca por el carácter heterogéneo de sus regiones y estados agrícolas, el acrecentamiento en temas de producción, consumo y exportación de frutas y hortalizas lo que ha potencializado el desarrollo de la agricultura empresarial. Nuestro país cuenta con un territorio de 103 millones de hectáreas, de las cuales 29.8 millones de hectáreas se destinan al uso agrícola. (INEGI, 2022)

Uno de los principales cultivos de gran importancia en México es el maíz, este cultivo ocupa un papel fundamental en temas económicos, culturales y sociales, además de que representa una fuente de alimento muy importante, tanto en áreas rurales como urbanas con una extensión del 51.6% de la superficie nacional cultivada. Desde el 2016 se cuenta con una superficie cosechada de 5 millones 039 mil 934 ha (SIAP, 2022).

Sin embargo, al igual diversos cultivos, es atacada por diversas plagas de importancia económica (Ozores-Hampton *et al.*, 2014), de las cuales, el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) es una de las más dañinas y devastadoras (Nuessly *et al.*, 2007). Para su control existen al menos dos alternativas, el control biológico y el control químico, siendo este último el más utilizado, sin embargo, no siempre es el más recomendando debido a su baja eficacia y el precio elevados que implica un control demandante lo que genera grandes pérdidas económicas a los agricultores (Day *et al.*, 2017), además de los efectos adversos que puede causar el medio ambiente, salud humana y fauna benéfica.

El control biológico ha adquirido relevancia en los programas de manejo de plagas agrícolas, debido a la creciente necesidad de una agricultura sustentable; en los que sobresalen dos maneras de realizarse: (1) a través de la introducción de enemigos naturales específicos mediante la reproducción masiva o (2) por medio de la conservación de enemigos naturales que habitan en los ecosistemas circundantes (Vázquez *et al.*, 2008). Dentro de este control, destacan los entomopatógenos y los entomófagos, al causar una mortalidad significativa (Sisay, 2018). El uso de entomopatógenos para el control *S. frugiperda* se ha incrementado considerablemente durante los últimos años (Caballero

et al., 2009), debido a que son relativamente seguros para los insectos no objetivo (Thungrabeab y Tongma, 2007). En este contexto, los hongos entomopatógenos de la especie *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. y *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. son de gran importancia, y se ha demostrado su potencial contra el gusano cogollero (Lecuona, 1999; Carneiro *et al.*, 2008; Wraight *et al.*, 2010).

Entre los enemigos naturales entomófagos se encuentran los parasitoides, que representan otra opción importante debido a que en su etapa larval se desarrollan y alimentan de otros artrópodos, a los que matan al final del proceso (Godfray, 1994). Para el caso de *S. frugiperda* se han registrado más de 100 especies atacando a dicha plaga, de las cuales en México se registran 40 (Bahena *et al.*, 2002), lo que los convierte en una opción como controladores de las poblaciones de otros insectos, fundamentalmente fitófagos.

Los estudios relacionados con el control bioológico de *S. frugiperda* se centran en la relación hospedero-parasitoide (García-Gutiérrez *et al.*, 2013; González-Maldonado *et al.*, 2014; Gutiérrez-Ramírez *et al.*, 2015); algunos otros están relacionados al agrosistema (Meagher *et al.*, 2016; Rojas *et al.*, 2017; Orozco-Peón *et al.*, 2019) y otros han estudiado la eficacia de los entomopatógenos (Gonzalez *et al.*, 2015; (Ndakidemi *et al.*, 2016; Ngangambe y Mwatawala, 2020).

En la península de Yucatán, en especial el estado de Yucatán solamente se han reportado cuatro especies de parasitoides de *S. frugiperda* (Delfín-González *et al.*, 2007), así como el trabajo relacionado con las comunidades y gremios de parasitoides asociados al maíz de Orozco-Peón *et al.*, (2019). Esto vuelve prioritario generar información sobre los insectos benéficos que de manera natural se encuentran en los agroecosistemas de maíz, que pudieran ejercer un control sobre las poblaciones de *Spodoptera*, determinar la eficacia de este control natural a través del porcentaje de parasitoidismo, así como los efectos que las medidas de control convencionales utilizadas causan sobre dichas comunidades de insectos. Por lo que, el objetivo del presente trabajo fue identificar las especies de parasitoides del gusano cogollero y su tasa de parasitismo con diferentes tipos de control en cultivo de maíz.

1.2 Antecedentes

Los estados de la península de Yucatán, tienen un papel fundamental en temas de exportación en los mercados internacionales de Estados Unidos, Canadá y Europa, los estados cuentan con condiciones únicas para producir diferentes cultivos anuales y perenes todo el año en condiciones propicias para la agricultura, uno de los cultivos más importantes es el maíz con 64,697.90.88 toneladas, como algunas otras hortalizas con menor o mayor importancia (SIAP, 2018).

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales más trascendentales en la alimentación mundial. En la actualidad, es el cultivo más extendido a nivel global, con 170 países y más de 200 millones de hectáreas cosechadas en el 2018 (FAO, 2020) este es considerado como el producto de diversas domesticaciones independientes de su progenitor, teosinte, cuyo centro de origen radica en México, el cual presenta una gran diversidad en muchas partes del país (Matsuoka *et al.*, 2002; Orozco-Ramírez y Perales, 2017).

El consumo de maíz ha incrementado con los años, sin embargo, la demanda está lejos de ser suficiente debido a los bajos rendimientos obtenidos y a la problemática de su cultivo (Reséndiz *et al.*, 2016). Entre los principales problemas que influyen en la producción del mismo se pueden mencionar tanto factores abióticos como bióticos. Dentro de los factores bióticos de mayor influencia se encuentra la presencia de maleza, enfermedades y una extensa variedad de insectos plaga (Reséndiz *et al.*, 2016; Hernández-Trejo *et al.*, 2018).

Este último problema se debe a que desde que se implementa toda práctica agrícola ha sido inevitable lidiar con las plagas y los efectos que desencadenan sobre los cultivos agrícolas; uno de los principales es la pérdida de rendimientos en la cosecha y producción y por consecuencia la pérdida económica no solo en la agricultura nacional, sino en todo el mundo.

El insecto que causa mayor daño a este cultivo a nivel mundial es el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) (Montezano *et al.*, 2018; Assefa y Ayalew, 2019). Esta plaga ataca a la planta principalmente desde etapas tempranas de desarrollo, sin embargo, puede estar presente durante todo su ciclo biológico afectando su crecimiento y desarrollo (García *et al.*, 2013; Rangel *et al.*, 2014; Reséndiz *et al.*, 2016). El gusano cogollero se alimenta del tejido vegetal en las primeras etapas fenológicas del maíz, generando retraso en el desarrollo del cultivo y

disminución en el rendimiento de grano y forraje (Hernández-Trejo *et al.*, 2018). Sin importar la forma de alimentación del gusano cogollero provoca daños directos o indirectos en el cultivo, facilitando la propagación de virus, bacterias y hongos y disminuyendo la capacidad de producción del maíz (Reséndiz *et al.*, 2016).

Históricamente el control de *S. frugiperda*, ha sido principalmente mediante el uso de insecticidas, lo cual genera en este insecto resistencia a los organofosfatos, carbamatos y piretroides (Okuma *et al.* 2018; Zhao *et al.* 2020; Chavez *et al.* 2022). Esto ha llevado a desarrollar nuevos compuestos que puedan ser usados para el control de *S. frugiperda*, como son la metoxifenoazida, la quinoxalina, derivados de flavonoides, compuestos antagonistas del ácido gamma-aminobutírico, entre otros (Paredes-Sánchez *et al.* 2021). Sin embargo, el desarrollo de nuevos insecticidas, no siempre es lo más recomendando por los efectos desfavorables que pueden causar al medio ambiente, salud humana y fauna en general (Badii y Varela, 2008).

Una de las principales características de los plaguicidas, es el alto nivel tóxico y que la gran mayoría son de amplio espectro, los cuales actúan de forma negativa sobre las diferentes especies de organismos benéficos, entre los cuales figuran los enemigos naturales, como son los parasitoides, depredadores, entomopatógenos y polinizadores (García, 1997; Devine *et al.*, 2008; Gutiérrez-Ramírez *et al.*, 2013).

Con el fin de evitar o llegar a estas circunstancias lo indicado es implementar una estrategia de desarrollo agrícola sustentable en la que se tenga como objetivo ampliar herramientas para control de plagas y que este tenga una influencia benéfica sobre algunos de estos factores; por ejemplo, resguardar la biodiversidad, proporcionar mayores rendimientos en los cultivos, mejorar calidad; proteger el suelo, agua entre otros de nuestros recursos naturales (IAASTD, 2009). Por lo que estrategias como el control biológico han adquirido relevancia debido a la creciente necesidad de una agricultura sostenible.

1.2.1 Control biológico

Una posible solución a los problemas asociados con el uso de productos químicos es el control biológico, ya que es un control que no perjudica al medio ambiente y a la fauna en general entre los que se incluyen descomponedores, polinizadores y depredadores de plagas, así como

inducir la resistencia en la población de insectos plagas (Reséndiz *et al.*, 2016; Hernández-Trejo *et al.*, 2018) Dentro del control biológico, se encuentra el uso enemigos naturales que es considerado una alternativa para el control de plagas, permitiendo la reducción del uso de los pesticidas, el sustento de la calidad ambiental y la producción agrícola (Delfín *et al.*, 2007).

Por otro lado, el mecanismo de control biológico hace referencia a un fenómeno natural que involucra un conjunto de reacciones metabólicas, bioquímicas, mecánicas y/o físicas que desencadenan la inhibición parcial o total de un agente patógeno sin emplear agentes químicos que causen efectos adversos (Layton *et al.*, 2011). Existen varios tipos de control biológico: el control microbiológico, donde son utilizados entomopatógenos o patógenos de plagas y el control macrobiológico, representado por entomófagos (parasitoides y depredadores). A su vez, existen tres técnicas generales de control biológico; importación o control biológico clásico, donde los enemigos naturales son deliberadamente importados de una región a otra; incremento o aumentativo, donde la eficacia de los enemigos naturales es realzada por la liberación de individuos criados en insectarios y la técnica de conservación de entomófagos, la cual va dirigida preferentemente contra plagas endémicas (Ehler, 1998; Trujillo, 1991; Guédez *et al.*, 2008). En la actualidad, el control biológico en los cultivos o plantaciones está enfocado en la inoculación y/o conservación de especies depredadoras y parasitoides.

El uso de insectos benéficos como agentes de control biológico representan una ventaja como reguladores de poblaciones de los insectos plagas (Hernández-Trejo *et al.*, 2018), la primera estrategia recomendada consiste en conservar a los enemigos naturales de la región presentes en los cultivos, con el objetivo de concentrar y aumentar su impacto contra las plagas (García *et al.*, 2013). El interés en la última década por el control biológico y el conocimiento de la dinámica poblacional de plagas y enemigos naturales ha despertado el interés de investigar los parasitoides y depredadores del gusano cogollero (García *et al.*, 2013).

1.2.2 Los parasitoides y entomófagos como agentes de control

Entre los enemigos naturales se encuentran los himenópteros parasitoides que desempeñan una función fundamental en todos los ecosistemas terrestres por ser endoparasitoides y/o hiperparasitoides de otros artrópodos (Noyes, 1998). El papel que tienen en la naturaleza les da una gran importancia en las comunidades naturales, ya que regulan las poblaciones de muchas especies de artrópodos e insectos (Noyes, 1998); el éxito que tienen los parasitoides, los ha impulsado a ser los enemigos naturales más utilizados en el control biológico aplicado y ya que juegan un papel fundamental en el control biológico natural, asumiendo un rol importante en el control de plagas agrícolas. Su presencia es fundamental porque abarcan una parte importante en la riqueza global de especies (LaSalle y Gauld, 1993), ya que existen entre cinco a seis parasitoides por cada especie fitófaga (Hawkins y Lawton, 1987). A nivel mundial se han utilizado 150 casos documentados de especies de avispas parasíticas liberadas para el control biológico de plagas (LaSalle, 1993).

Existen diversos estudios de parasitoides que controlan un gran número de plagas y que han sido exitosos, uno de los grupos más importantes es la familia Ichneumonidae utilizadas con mayor éxito a nivel mundial en programas de control, principalmente contra lepidópteros en bosques y frutales de regiones templadas. En la República Mexicana se han reportado 59 especies de Ichneumonidae parasitando 33 especies plaga en cultivos y bosques de 22 estados (Ruiz-Cancino, 2010). Sin embargo, solamente cuatro especies se han utilizado en control biológico: *Bathyplectes curculionis* (Thomson), presente en Norteamérica, Europa y Asia, ataca picudos Curculionidae (Yu *et al.*, 2005); *Diadegma insulare* (Cresson), presente desde Canadá hasta Venezuela, y en la zona Mediterránea, ataca diversas palomillas-Lepidóptera (Yu *et al.*, 2005); *Mallochia pyralidis* Wharton, especie mexicana (Yu *et al.*, 2005), se colectó en Sinaloa parasitando a *Eoreuma loftini* Dyar, un barrenador del tallo del arroz y *Calliephialtes grapholita* (Cresson), especie norteamericana, ataca diversos barrenadores (Yu *et al.*, 2005).

En Estados Unidos, se han documentado diversas especies importantes como *Cotesia marginiventris* (Cresson) (Braconidae: Microgasterinae), un parasitoide que ataca el primer y segundo instar de *S. frugiperda* y *Chelonus insularis* (Cresson), (Meagher *et al.*, 2016; Block *et al.*, 2021).

En el centro-oeste y noreste de México (Michoacán, Jalisco, Colima y Tamaulipas) se han recolectado al menos once especies parasitoides himenópteros de maíz, representados por tres familias: Ichneumonidae, Braconidae y Eulophidae (Molina *et al.*, 2001). En la zona centro de México se ha reportado parasitoides de huevo-larva, de larvas en los primeros estadios de desarrollo, de los últimos estadios de desarrollo y también de larva-pupa, donde *Chelonus insularis* (Hymenoptera: Braconidae) y *Campoletis sonorensis* (Hymenoptera: Ichneumonidae) fueron los parasitoides más importantes, tanto por los porcentajes de parasitismo calculados como por la mayor distribución entre localidades (Bahena *et al.*, 2010). De igual forma, García *et al.*, (2013) reporta la identificación de tres familias parasitoides en diez localidades de Michoacán: (1) Braconidae, como *Chelonus insularis*, *Chelonus sonorensis*, *Meteorus* sp. y *Cotesia* sp; (2) Ichneumonidae: *Campoletis sonorensis* y *Pristomerus spinator* y; (3) Tachinidae. Al norte del estado de Sinaloa, México, se reportó la presencia natural de parasitoides colectados en maíz, destacando *Meteorus laphygmae* Viereck, *Chelonus insularis* (Cresson) y *Cotesia marginiventris* (Cresson) (López *et al.*, 2018).

En el estado de Yucatán se han registrado parasitoides asociados a los cultivos de maíz (Orozco-Peón *et al.*, 2019); y cuatro especies de parasitoides de *S. frugiperda* (Delfín-González *et al.*, 2007).

Para los insectos depredadores del gusano cogollero, estos pueden ser diversos dependiendo de su fase de vida de cada especie de depredador. Uno de los grupos más exitosos son las catarinas: (*Coleomegilla maculata*, *Cycloneda sanguinea*, *Hippodamia convergens*), el éxito de estas se debe al control temprano que tienen en los de huevecillos del gusano cogollero (Hoballah *et al.*, 2004). Otro grupo importante son las crisopas como la especie de (*Chrysoperla carnea*.), reportada como depredador de *S. frugiperda* en su etapa de huevo y larva (Soto y Iannacone, 2008).

Entre los microorganismos entomopatógenos los cuales son considerados como una alternativa en Programas de Manejo Integrado (Gardner *et al.*, 1984), se encuentran los hongos entomopatógenos (HE) los cuales que a diferencia de virus o bacterias no precisan de ser ingeridos por el insecto para ser efectivos, si no que actúan y matan a su hospedero al momento del contacto físico (Estrada, 1986). Tienen la capacidad de infectar una amplia diversidad de insectos; están ampliamente distribuidos en diferentes ecosistemas por lo que se pueden adaptar y utilizar para el control de plagas, siendo inofensivos para animales, plantas y especialmente para la fauna benéfica.

Los HE tienen la ventaja de infectar al hospedero por contacto y adhesión de las esporas a las paredes bucales, membranales, intersegmentales o a través de los espiráculos (Hajek y St Leger, 1994; Pucheta *et al.*, 2006). Hasta el momento se han descrito más de 750 especies de hongos entomopatógenos y el aislamiento de nuevas cepas está en aumento. Dentro de las especies con mayor éxito y las más utilizadas a nivel mundial se encuentran *Metarhizium anisopliae* con (33.9%), seguido de *Beauveria bassiana* (33.9%) y con una menor demanda, *Paecilomyces fumosoroseus* (5.8%) y *Beauveria brongniartii* (4.1%) (De Faria y Wraight, 2007).

El éxito de estas especies reside la amplia diversidad hospederos en los que se encuentran diferentes órdenes de insectos como: Lepidóptera, Coleoptera o Hemíptera. Un claro ejemplo es *B. bassiana* la cual afecta a grupos importantes (coleópteros, lepidópteros y dípteros) en estado de huevo, larva, pupa y donde generalmente son susceptibles a la micosis de este. Se han reportado cepas de *B. bassiana* con porcentajes de mortalidad de 67.2 y 90% en huevo, mientras que en larvas neonatas reporta mortalidades comprendidas entre 84.5 y 100% con un TL50 de 2.8 hasta 5.9 días (Lezama, 1993).

Por su parte Vázquez-Ramírez *et al.*, (2015), evaluaron y caracterizaron cinco cepas mexicanas de *Bacillus thuringiensis* con actividad hacia el gusano cogollero, donde al menos dos cepas poseen el potencial para ser utilizados como agentes de control biológico en México. Otros entomopatógenos, también utilizados como control biológico, son los baculovirus (miembros de la familia Baculoviridae), los cuales son aislados exclusivamente de artrópodos y mayoritariamente de insectos (Rangel *et al.*, 2014).

Sin embargo, pese a los numerosos ejemplos y casos de control biológico utilizando enemigos naturales y entomopatógenos, este tipo de control tiene muchas limitaciones que dificultan su implementación y que aún no se han estudiado como, el efecto que estos entomopatógenos puedan tener en la fauna benéfica, grupos funcionales y comunidades. Por lo que el objetivo de este trabajo es conocer la composición y diversidad de depredadores y parasitoides presentes en diferentes cultivos de maíz, su efecto que tienen en el control en una de sus principales plagas, así como la eficacia de los entomopatógenos, *B. thuringiensis* y *M. anisopliae*, en el control del gusano cogollero *S. frugiperda* y el efecto que pudiera tener sobre los insectos no objetivo (insectos fitófagos, insectos

depredadores y parasitoides) asociados con el cultivo de maíz en dos estados del sureste de la península de Yucatán.

1.3 Hipótesis

Las comunidades de enemigos naturales y la tasa de parasitoidismo de *Spodoptera frugiperda* serán mayores en cultivos donde no se apliquen productos químicos y entomopatógenos comparado con los cultivos donde se apliquen estos tipos de controles.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

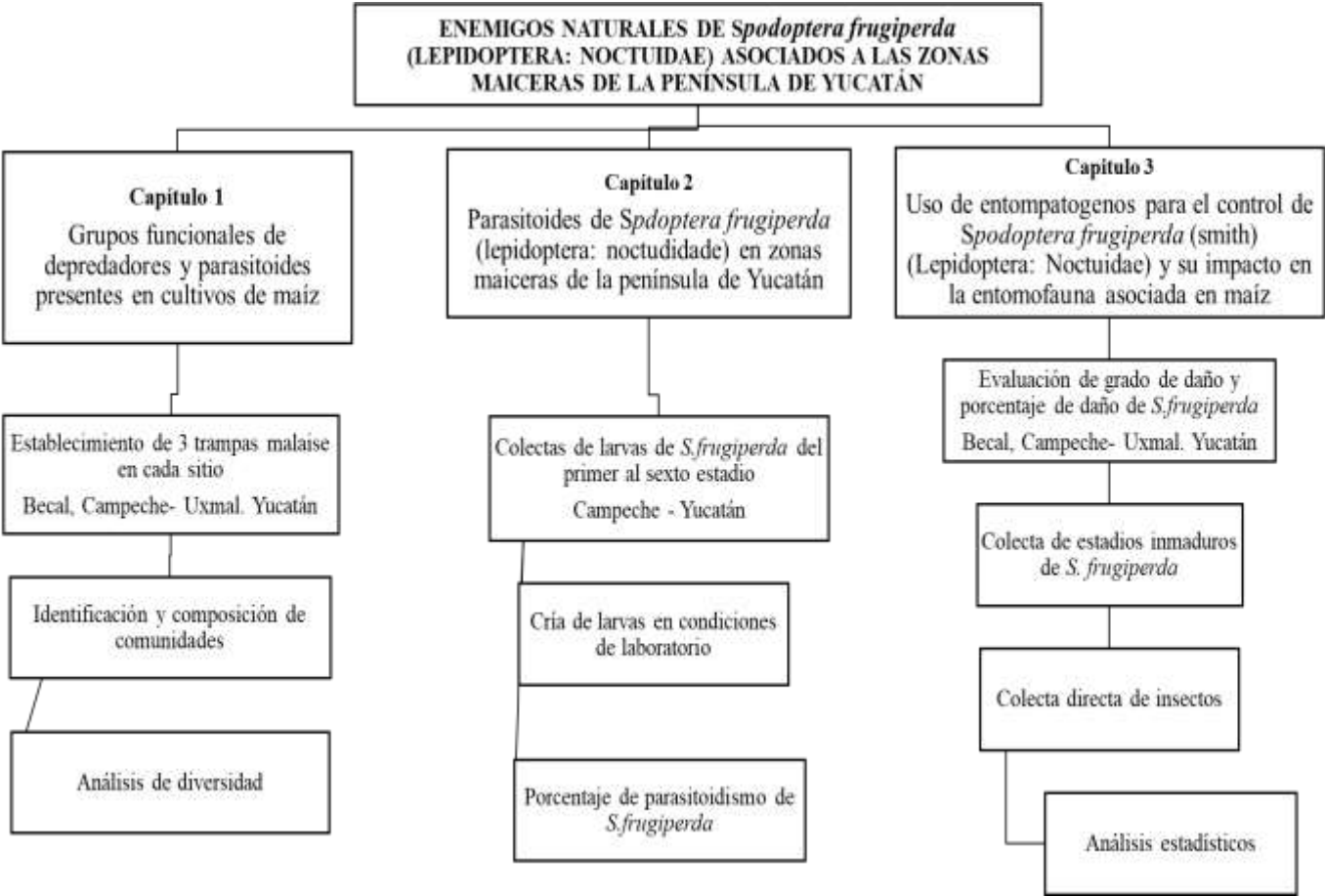
- Evaluar las especies de enemigos naturales de *Spodoptera frugiperda*, así como la tasa de parasitoidismo con diferentes tipos de control en cultivo de maíz.

1.4.2 Específicos

- Caracterizar la estructura de comunidades de enemigos naturales asociados a *Spodoptera frugiperda* en cultivos de maíz, identificando las especies dominantes de cada comunidad del cultivo.
- Determinar el porcentaje de emergencia de parasitoides de *Spodoptera frugiperda* presente en los cultivos de maíz de la península de Yucatán.
- Identificar las especies de parasitoides de *Spodoptera frugiperda* en cultivos de maíz.
- Evaluar el daño de *S. frugiperda* en cultivos de maíz entre los diferentes tipos de manejo en la comunidad en dos sitios de la península de Yucatán.
- Determinar el impacto de los entomopatógenos sobre los insectos beéficos en cultivos de maíz y en el porcentaje de parasitoidismo de *Spodoptera frugiperda*.

1.5 Procedimiento experimental

Figura 1. Estrategia experimental para el desarrollo de la investigación.



1.6 Literatura citada

Assefa, F. 2018. Status of Fall Armyworm (*Spodoptera Frugiperda*), Biology and Control Measures on Maize Crop in Ethiopia: A Review. 06 (02).

Badii, MH, & Varela, S. 2008. Insecticidas organofosforados: efectos sobre la salud y el ambiente. *CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica*, 5(28): 5-17.

Bahena, JF., BH.C Arredondo, MG Vázquez, HA González, y S M Miranda. 2002. Parasitoides del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en el occidente de México. *Entomol. Mex.* 1: 260-265.

Bahena-Juárez, FE de Lange, K Farnier, E Cortez-Mondaca, R Sánchez-Martínez, F García-Pérez and M Zacatepec. 2010. Parasitismo en gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en el centro de México. Proceedings: XXXIII Congreso Nacional de Control Biológico, Uruapan, Michoacan, México. 204-209.

Block, AK, Mendoza J, Rowley A, Stuhl, C, and Meagher RL. 2021. Approaches for assessing the impact of *Zea mays* (Poaceae) on the behavior of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its parasitoid *Cotesia marginiventris* (Hymenoptera: Braconidae). *Florida Entomologist*, 103(4): 505-513.

Caballero P, R Murillo, D Muñoz and T Williams. 2009. El nucleopoliedrovirus de *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae) como bioplaguicida: un análisis de avances recientes en España. *Revista Colombiana de Entomología* 35: 105-115.

Carneiro, A. A, Gomes, EA, Guimarães, CT, Fernandes, FT, Carneiro, NP, & Cruz I. 2008. Molecular characterization and pathogenicity of isolates of *Beauveria* spp. to fall armyworm. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(4): 513-520.

Day R, Abrahams P, Bateman, M, Beale, T, Clottey, V, Cock, M and Gomez, J.(2017. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. *Outlooks on Pest Management*, 28(5), 196-201.

De de Faria, MR, and Wraight, SP. 2007. Mycoinsecticides and mycoacaricides: a comprehensive list with worldwide coverage and international classification of formulation types. *Biological control*, 43(3): 237-256.

Delfin-González, H, M. Bojórquez-Acevedo and P Manrique-Saide. 2007. Parasitoids of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) from a traditional maize crop in the Mexican State of Yucatan. *Florida Entomologist*. 90(4): 759-761.

Devine, Gregor J, Eza Dominique, Ogusuku Elena and Furlong Michael J. 2008. Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. Vol. 1, Núm. 25, pp: 74-100.

Ehler, LE. 1990. Introduction Strategies in Biological Control of Insects. In: *Critical Issues in Biological Control*. Mackauer, M.; Ehler, L.E. and Roland, J. (eds). Intercept. Andover, Hants, 1990. Pp 111-134.

Estrada, VO, CJ Cambero, BA Robles, VC. Ríos, CC Carvajal, AN Isiordia and CE. Ruíz. 2013. Parasitoids and entomopathogens of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Nayarit, Mexico. *Southwestern Entomologist*. 38(2): 339-344.

FAO. 2020. FAOSTAT Statistical Database: Cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> . (consulta 5 febrero 2022).

García, Jaime E. 1997. Consecuencias indeseables de los plaguicidas en el ambiente. *Agronomía Mesoamericana*. Vol. 1, Núm. 8, pp: 119-135.

García-Gutiérrez, C, MB González-Maldonado and A González-Hernández. 2013. Natural parasitism of Braconidae and Ichneumonidae (Hymenoptera) on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Colombiana de Entomología*. 39(2): 211-215.

Gardner, WA. 1984. Learning characteristics of stochastic-gradient-descent algorithms: A general study, analysis, and critique. *Signal processing*, 6(2), 113-133.

González-Maldonado, MB, García-Gutiérrez C and González-Hernández A. 2014. Parasitismo y distribución de *Campoletis sonorensis* Cameron (Hymenoptera: Ichneumonidae) y *Chelonus insularis* Cresson (Hymenoptera: Braconidae), parasitoides del gusano cogollero en maíz en Durango, México. *Vedalia*, 15, 47-53.

González-Moreno A, Bordera S, Delfín-González H. 2015. Spatio-temporal diversity of Cryptinae (Hymenoptera, Ichneumonidae) assemblages in a protected area of southeast Mexico. *Journal of Insect Conservation* 19(6): 1153–1161.

Godfray, HCJ, and Godfray HC.J. 1994. *Parasitoids: behavioral and evolutionary ecology* (Vol. 67). Princeton University Press.

Guédez, C, Castillo C, Cañizales L, and Olivar R. 2008. Control biológico: una herramienta para el desarrollo sustentable y sostenible. *Academia*, 7(13): 50-74.

Gutiérrez-Ramírez A., A. Robles-Bermúdez, J. Cambero-Campos, C. Santillán-Ortega, M. OrtizCatón, JM Coronado-Blanco y M Campos-Figueroa. 2015. Parasitoides de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Encontrados en Nayarit, México. Source: *Southwestern Entomologist*, 40(3):555-564.

Hawkins BA, Lawton JH. 1987. Species richness for parasitoids of British phytophagous insects. *Nature* 326: 788-790.

Hajek, AE, and St Leger, RJ. 1994. Interactions between fungal pathogens and insect hosts. *Annual review of entomology*, 39(1): 293-322.

Hernández-Trejo A, Osorio-Hernández E, López-Santillán JA, Ríos-Velasco C, Varela Fuentes SE and 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.

Hoballah ME, Degen T, Bergvinson D, Savidan A, Tamó C, Turlings TCJ. 2004 Occurrence and direct control potential of parasitoids and predators of the fall armyworm (Lepidoptera: 33 Noctuidae) on maize in the subtropical lowlands of México. *Agricultural and Forest Entomology* 6:83-88.

INEGI. 2022. Censo agropecuario, resultado del censo agropecuario 2020. Consultado el 08 de enero del 2025. Disponible en: Censo Agropecuario 2022.

IAASTD. 2009. International assessment of agricultural knowledge, science and technology for development: synthesis report with executive summary: a synthesis of the global and subglobal IAASTD reports / Beverly D. McIntyre, Hans R. Herren, Judi Wakhungu y Robert T. Watson (ed). Island Press is a trademark of The Center for Resource Economics. United States of America.

LaSalle J. and Gauld, ID. 1993. Hymenoptera and Biodiversity. CAB International. The Natural History Museum Wallingford, EUA. 348p.

Layton C, Maldonado E, Monroy L, Corrales LC and Sánchez LC. 2011. *Bacillus* spp.; perspectiva de su efecto biocontrolador mediante antibiosis en cultivos afectados por fitopatógenos. *Revista NOVA Publicación Científica en Ciencias Biomédicas*. 9:177-187.

Lecuona RE. 1999. Microbial control with entomopathogenic fungi in argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 58(1-2).

Lezama R. 1993. Patogenicidad en laboratorio de hongos (Hyphomycetes) y del nematodo entomopatogeno *Heterorhabditis bacteriophora* Poinar sobre *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Tesis de doctorado. Universidad de Colima .Tecomán:159 pp.

López, MA, AM Martínez-Castillo, C García-Gutiérrez, Cortez-Mondaca and CM Escobedo-Bonilla. 2018. Parasitoids and entomopathogens associated with fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Northern Sinaloa. *Southwestern Entomologist*. 43(4): 867-881.

Matsuoka Y, Vigouroux Y, Goodman MM, Sanchez GJ, Buckler E, and Doebley J. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 99(9): 6080-6084.

Meagher RL, GS. Nuessly, RN. Nagoshi and MM Hay-Roe. 2016. Parasitoids attacking fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in sweet corn habitats. *Biological Control*. 95: 66-72.

Molina-Ochoa J, JJ, Hamm, R Lezama-Gutiérrez, M López-Edwards, M GonzálezRamírez and A. Pescador-Rubio. 2001. A survey of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) parasitoids in the Mexican states of Michoacan, Colima, Jalisco, and Tamaulipas. *Florida Entomologist*. 84(1): 31-36.
Montezano, DG, Specht, A, Sosa-gómez, DR, and Brasília U De. 2018. Host 914 Plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera : Noctuidae) in the Americas. 915 *African Entomology*, 26, 286–300.

Ndakidemi B, K, Mtei, and PA, Ndakidemi. 2016. Impacts of synthetic and botanical pesticides on beneficial insects. *Agricultural Sciences* 7(06): 364-372.

Ngangambe MH, and MW, Mwatawala. 2020. Effects of entomopathogenic fungi (EPFs) and cropping systems on parasitoids of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) on maize in eastern central, Tanzania. *Biocontrol science and technology* 30(5): 418-430.

Noyes JS. 1998. Catalogue of the Chalcidoidea of the World. Electronic publication (ED-ROM). Amsterdam, Netherlands; ETI.

Nuessly GS, Scully BT, Hentz, MG, Beiriger, R, Snook, ME, and Widstrom, NW. 2007. Resistance to *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Euxesta stigmatias* (Diptera: Ulidiidae) in

sweet corn derived from exogenous and endogenous genetic systems. *Journal of economic entomology*, 100(6), 1887-1895.

Orozco-Peón O, A González-Moreno, E Ruíz-Sánchez, JM Tun-Suárez. 2019. Comunidades y gremios de parasitoides (Hymenoptera: Ichneumonidae) en cultivo de maíz y selva baja caducifolia circundante. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. 6(17): 195-205.

Orozco-Ramírez Q, Perales H, and Hijmans, R J 2017. Geographical distribution and diversity of maize (*Zea mays* L. subsp. *mays*) races in Mexico. *Genetic resources and crop evolution*, 64, 855-865.

Ozores-Hampton, M, PJ Dittmar, EJ McAvoy, RN Raid, and SE Webb. 2014. Chapter 11. Sweet corn production. *Vegetable Production Handbook for Florida, 2014–2015*. UF/IFAS Extension Horticultural Sciences Department. HS737.

Paredes-Sánchez FA, G Rivera, V Bocanegra-García HY, Martínez-Padrón M, Berrones-Morales N, Niño-García V and Herrera-Mayorga. 2021. Advances in control strategies against *Spodoptera frugiperda*. A review. *Molecules* 26(18): 5587-5590.

Pucheta Díaz M, Flores Macías A, Rodríguez Navarro S and De la Torre M. 2006. Mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos. *Interciencia*, 31(12): 856-860.

Rangel-Núñez JC, Vázquez-Ramírez MF, Del Rincón-Castro MC 2014. Biological and molecular characterization of exotic baculovirus strains with activity to mexican population of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Interciencia* 39:320–326

Reséndiz RZ, López SJA, Osorio HE, Estrada DB, Pecina MJA, Mendoza CMC and Reyes MCA. 2016. Importancia de la resistencia del maíz nativo al ataque de larvas de lepidópteros. *Temas de Ciencia y Tecnología*. 20(59):3-14.

Ruiz-Cancino E. 2010. *Ichneumonidae (Hymenoptera) del Estado de Tamaulipas, México*. Universidad Autónoma de Tamaulipas, UAM Agronomía y Ciencias.

Rojas BY, Ipagrraguirre CM, Rodríguez D. 2017. Enemigos naturales en el cultivo de maíz en Ciego de Ávila. *Universidad & Ciencia* 6: 27-41

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2018. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-laproduccionagricola-por-cultivo/>. (Fecha de consulta: XVIII-V-2020).

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2022. Sistema de información agroalimentario y pesquero. Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.

Sisay B, ICIPE TTP, and EIAR, GAP. 2018. Evaluation of different management options of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and assessment of its parasitoids in some parts of Ethiopia. *Haramaya University, Dire Dawa*.

Soto J, Iannacone J. 2008. Efecto de dietas artificiales en la biología de adultos de *Chrysoperla externa* (Hagen, 1861) (Neuroptera: Chrysopidae). *Acta Zoológica Mexicana* 24:1-22.

Thungrabeab M and Tongma, S. 2007. Effect of entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* (Balsam) and *Metarhizium anisopliae* (Metsch) on non-target insects. *Current Applied Science and Technology*, 7(1-1), 8-12.

Trujillo J. 1991. Metodología del control biológico. pp. 43-46. In: L.A. Rodríguez del Bosque y R. Alatorre (eds.), *Memorias del II Curso de Control Biológico*, SMCB-UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coah, México. 7-9 Octubre, 1991.

Vázquez LL, Alfonso J, Matienzo Y, and Veitia M. 2008. *Conservación y manejo de enemigos naturales de insectos fitófagos en los sistemas agrícolas de Cuba* (p. 202).

Vázquez-Ramírez MF, Rangel-Núñez JC, Ibarra JE, and Del Rincón-Castro, MC. 2015. Evaluación como agentes de control biológico y caracterización de cepas mexicanas de *Bacillus thuringiensis*

contra el gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Interciencia*, 40(6), 397-402.

Wraight SP, Ramos, ME, Avery PB, Jaronski, ST, and Vandenberg JD. 2010. Comparative virulence of *Beauveria bassiana* isolates against lepidopteran pests of vegetable crops. *Journal of Invertebrate Pathology*, 103(3), 186-199.

Yu DS (2005). World Ichneumonoidea 2004-Taxonomy, biology, morphology and distribution. <http://www.taxapad.com>.

II. CAPÍTULO. DIVERSIDAD DE INSECTOS DEPRADADORES Y PARASITOIDES EN DOS CAMPOS DE MAÍZ DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

DIVERSITY OF PREDATOR AND PARASITOID INSECTS IN TWO CORN FIELDS FROM THE YUCATAN PENINSULA

Ricardo Josué Chan-Canché¹, Julio Ahuatzin-Hernández¹, Jorge Leirana-Alcocer², Ismael Tucuch-Hass³, Esaú Ruíz-Sánchez¹, Jairo Cristóbal Alejo¹, Alejandra González-Moreno^{1*}

RESUMEN

La diversidad de insectos asociada a cultivos dependerá de la intensidad del manejo, el paisaje que rodean las tierras agrícolas y el clima. El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo de mayor importancia económica y cultural en México, y entre la fauna asociada a él pueden encontrarse tanto plagas potenciales como insectos benéficos. El objetivo de este estudio fue determinar la diversidad de parasitoides y depredadores presentes en dos localidades de la Península de Yucatán. Los sitios fueron una plantación de maíz criollo en Muna, Yucatán, México y una de maíz híbrido en Bécal, Campeche. Se colocaron tres trampas Malaise por sitio, funcionando ininterrumpidamente durante todo el ciclo de septiembre a octubre de 2021. Se analizó la diversidad de familias mediante curvas de Whittaker y diversidad verdadera. Se recolectaron en total de 12 157 individuos, pertenecientes a 55 familias de insectos, de las cuales 27 tienen hábitos depredadores y 28 son parasitoides. El orden más representativo fue Hymenoptera; la familia de depredadores más abundante fue Syrphidae, y la familia de parasitoides más abundante fue Braconidae. No hubo diferencias significativas en la riqueza, pero sí en la equidad, siendo Muna más equitativo que Bécal. Esto podría explicarse por diferencias en el manejo agronómico, en la humedad y temperatura ambientales o los remanentes de vegetación circundante al sitio de Muna, que proveen de otros recursos como, refugio a los insectos.

Palabras clave: *Zea mays*, insectos benéficos, familias de insectos, control biológico, conservación.

ABSTRACT

The diversity of insects associated with crops is influenced by management intensity, the surrounding landscape, and climate conditions. Corn (*Zea mays* L.) holds significant economic and cultural importance in Mexico, and its associated fauna includes both potential pests and beneficial insects. This study aimed to determine the diversity of parasitoids and predators in two localities of the Yucatán Peninsula. The study sites included a native corn plantation in Muna, Yucatán, and a hybrid corn plantation in Bécal, Campeche. Three Malaise traps were deployed per site, operating continuously from September to October 2021. Family diversity was analyzed using Whittaker curves and true diversity indices. A total of 12,157 individuals were collected, representing 55 insect families, with 27 families exhibiting predatory habits and 28 families being parasitoids. Hymenoptera was the most representative order; Syrphidae was the most abundant predator family, and Braconidae was the most abundant parasitoid family. Although there were no significant differences in species richness, evenness differed, with Muna exhibiting greater evenness than Bécal. These differences may be attributed to variations in agronomic management, ambient humidity and temperature, or the surrounding vegetation remnants at the Muna site, which provide additional resources such as insect shelters.

Keywords: *Zea mays*, beneficial insects, insect families, biological control, conservation.

ACEPTADO EN ENTOMOLOGICAL NEWS

III. CAPÍTULO 3. PARASITIDS OF *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) IN MAIZE CROP OF THE YUCATAN PENINSULA: NEW RECORDS AND UPDATE KNOWLEDGE IN MEXICO

Ricardo Josué Chan-Canché ¹, Alejandra González-Moreno^{1*}, Beatriz Rodríguez-Vélez², Mariza Araceli Sarmiento-Cordero²

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Conkal, División de Estudios de Posgrado e Investigación. Avenida Tecnológico S/N, Conkal, Yucatán, México. C.P 97345.

²Centro Nacional de Referencia de Control Biológico; SENASICA, Carretera Tecomán-Estación FFCC km. 1.5, Col. Tepeyac; Tecomán, Colima, México. C.P. 28110

*Corresponding author email: alejandra.gonzalez@itconkal.edu.mx

Ricardo Chan-Canché 0000-0003-3982-7251

Alejandra González-Moreno 0000-0002-8395-9457

Beatriz Rodríguez Vélez 0000-0003-1950-3487

Mariza Sarmiento Cordero 0000-0003-4500-5406

Abstract

The fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) is one of the most important maize pests. Entomophagous insects, including parasitoids, have been used as a pest-control alternative. The objective of this study was to determine the species and percentage of parasitoid emergence from *S. frugiperda* larvae collected in maize crops in two states of the Yucatan Peninsula, Campeche and Yucatán. Larvae were collected directly from August 2020 to September 2022. Field-collected larvae were transported to laboratory and were reared using freshly cut maize leaves as food, until either parasitoid emergence or completion of *S. frugiperda* development. A total of 1173 *S. frugiperda* larvae were collected; of which, 163 were parasitized. Parasitoidism rates of 10 % and 4.4 % were observed in larvae collected from Yucatan and Campeche, respectively. The parasitoids found belong to three families: Braconidae (21 individuals), Tachinidae (77), and Eulophidae (134). The most abundant species were *Euplectrus plathypenae* Howard (Eulophidae) and *Archytas marmoratus* Townsed (Tachinidae). Both are new records, as well as *Chelonus* (*Microchelonus*) *cautus* and *Chelonus insularis*, for Yucatan and Campeche, respectively. Moreover, we updated and synthesize the available knowledge on parasitoids species associated with *S. frugiperda* in Mexico, based on a review of articles in English or Spanish from 2000 to the present, using academic search engines. In the last 15 years, 63 parasitoid species of *S. frugiperda* have been recorded in Mexico, but, *C. insularis* and *C. cautus* (Braconidae) are the most recorded parasitoids of fall armyworm across the country.

Keywords *Zea mays*, natural enemies, *Archytas*, *Chelonus*, Hymenoptera.

**IV. CAPÍTULO 4. CONTROL OF *SPODOPTERA FRUGIPERDA* WITH
ENTOMOPATHOGENS IN CORN CROPS IN MEXICO: A SAFE BET FOR NON-TARGET
PHYTOPHAGES AND BENEFICIAL FAUNA?**

Author details

Ricardo Chan-Canché¹, Esau Ruiz-Sanchez¹, Jorge Leirana-Alcocer², Jairo Cristobal-Alejo¹, Alejandra González-Moreno^{1*}

1 División de Estudios de Posgrado e Investigación, TecNM/Instituto Tecnológico de Conkal, Av. Tecnológico s/n, Conkal 97345, Mexico.

2 Departamento de Ecología, Universidad Autónoma de Yucatán. Carretera Mérida-Xmatkuil Km 15.5, Merida 97100, Mexico,

Correspondence: Alejandra González-Moreno, alejandra.gonzalez@itconkal.edu.mx; gonzalezmoreale@gmail.com,

ORCID

Ricardo Chan-Canché, 0000-0003-3982-7251

Esau Ruiz-Sanchez, 0000-0003-0245-3305

Jorge Leirana-Alcocer, 0000-0001-5763-2904

Jairo Cristobal-Alejo, 0000-0001-9354-1129

Alejandra González-Moreno* 0000-0002-8395-945

Abstract

The application of entomopathogens for the control of the *Spodoptera frugiperda* has become relevant recently. Studies have shown that entomopathogens are safe for beneficial fauna; however, other authors have shown otherwise. Therefore, this work aimed to evaluate the effectiveness of entomopathogens in controlling *S. frugiperda* and their effect on phytophagous and entomophagous insects in corn fields in two localities of the Yucatan Peninsula. Three treatments were evaluated from August to October 2021 and 2022: Spinetoram, *Metarhizium anisopliae*, and *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*. The variables measured were leaf damage by *S. frugiperda*, percentage of parasitoidism, and entomofauna diversity. All treatments suppressed the damage by *Spodoptera*. Relative to the control, the leaf damage decreased significantly in plants treated with Spinetoram. The highest percentage of parasitoidism was observed in the control and decreased by 50 % in all treatments. The diversity of non-target entomofauna, particularly phytophagous insects and parasitoids, was higher in the control than in the plants treated with entomopathogens.

Keywords: maize pest, parasitoids, predatory insects, *Zea mays*