



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

MAESTRIA EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

EVALUACIÓN DE LA EFICACIA BIOLÓGICA DE SINÉRGICOS
ALTERNATIVOS PARA EL CONTROL DEL GUSANO COGOLLERO
(*Spodoptera frugiperda*, Lepidoptera: Noctuidae).

Tesis

Que como requisito parcial para obtener el grado de Maestro En
Ciencias En Protección Vegetal

Presenta:

HELDER MARTÍNEZ LÓPEZ

Bajo la supervisión de:

Director: Dr. Samuel Ramírez Alarcón

Co-Director Dr. Manuel Alejandro Tejeda Reyes

Chapingo, Estado de México, Mayo de 2022



APROBADA



HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

EVALUACIÓN DE LA EFICACIA BIOLÓGICA DE SINÉRGICOS ALTERNATIVOS PARA EL CONTROL DEL GUSANO COGOLLERO (*Spodoptera frugiperda*, Lepidoptera: Noctuidae).

Tesis realizada por Helder Martínez López, bajo la supervisión del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

DIRECTOR:



DR. SAMUEL RAMÍREZ ALARCÓN

CODIRECTOR:



DR. MANUEL ALEJANDRO TEJEDA REYES

DIRECTOR:



DR. MATEO VARGAS HERNÁNDEZ

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
DEDICATORIAS.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DATOS BIOGRÁFICOS	viii
RESUMEN GENERAL	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	12
2. CAPITULO I. REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
2.1. Generalidades del cultivo de maíz.....	14
2.2. Descripción botánica.....	14
2.3. Principales insectos plaga en maíz.....	14
2.3.1. Gusano trozador <i>Agrotis ipsilon</i> (Hufnagel) (Lepidoptera: Noctuidae)	14
2.3.2. Gusano elotero <i>Helicoverpa zea</i> Boddie (Lepidoptera: Noctuidae)	15
2.3.3. Mosca de los estigmas <i>Euxesta stigmatias</i> Loew (Diptera: Otitidae).....	15
2.3.4. Gusano cogollero <i>Spodoptera frugiperda</i> (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)	16
2.4. Generalidades del gusano cogollero.....	16
2.4.1. Situación e importancia económica	16
2.4.2. Ciclo biológico.....	16
2.4.3. Métodos de control	17
2.4.3.1. Control biológico	17
2.4.3.2. Control cultural.....	18
2.4.3.3. Control químico.....	18
2.4.3.4. Control etológico	19
2.5. Los sinergistas.....	19
2.6. Literatura citada	21
3. CAPITULO II. EVALUACIÓN DE LA EFICACIA BIOLÓGICA DE SINERGICOS ALTERNATIVOS PARA EL CONTROL DEL GUSANO COGOLLERO (<i>Spodoptera frugiperda</i>, Lepidoptera: Noctuidae).....	27
3.1. RESUMEN	27
3.2. ABSTRACT.....	28
3.3. Introducción	29
3.4. Materiales y métodos.....	32
3.4.1. Cría de Gusano cogollero	32
3.4.1.1. Colecta.....	32
3.4.1.2. Reproducción.....	32
3.4.2. Fase de laboratorio.	33

3.4.2.1. Lugar del experimento.	33
3.4.2.2. Bioensayo.	33
3.4.2.3. Tratamientos evaluados.	34
3.4.2.4. Descripción de tratamientos evaluados	34
3.4.2.4. Parámetros de evaluación.	34
3.4.3. Fase de invernadero.	35
3.4.3.1. Lugar del experimento.	35
3.4.3.2. Tratamientos y dosis de aplicación.	36
3.4.3.3. Descripción de insecticidas utilizados	36
3.4.3.4. Momento, forma, número de aplicaciones e intervalo entre éstas.	37
3.4.3.5. Parámetros de evaluación.	37
3.4.4. Fase de campo	37
3.4.4.1. Lugar del experimento	37
3.4.4.2. Tratamientos y dosis de aplicación.	37
3.4.4.3. Momento, forma, número de aplicaciones e intervalo entre éstas.	37
3.4.4.4. Parámetros de evaluación.	38
3.4.4.5. Tipo, tamaño, método y frecuencia de muestreo.	38
3.4.4.6. Método de evaluación.	39
3.5. Resultados	40
3.5.1. Fase de laboratorio.	40
3.5.2. Fase de invernadero.	41
3.5.3. Fase de campo.	43
3.6. Discusión de resultados	47
3.6.1. Bioensayo laboratorio	47
3.6.2. Evaluación invernadero y campo	48
3.7. Conclusiones	50
3.8. Revisión de literatura	51

LISTA DE CUADROS

Tabla 1. Tratamientos evaluados en laboratorio.	33
Tabla 2. Arreglo y dosis de aplicación de los tratamientos evaluados en invernadero y campo.	35
Tabla 3. Comparación de medias de mortalidad y peso de dos ensayos combinados como uno solo.	39
Tabla 4. Datos de invernadero GLM Combinado a través de Evaluaciones para cada ensayo.....	41
Tabla 5. Contrastes de tratamientos de datos de invernadero GLM Combinado a través de evaluaciones del primer ensayo.	42
Tabla 6. Contrastes de tratamientos de datos de invernadero GLM Combinado a través de evaluaciones del segundo ensayo.	42
Tabla 7. Comparación de medias del número de individuos de Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) encontrados en campo, combinado a través de las cuatro evaluaciones.	43
Tabla 8. Comparación de medias del número de individuos de Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) encontrados en campo, combinado a través de las cuatro evaluaciones.	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cría de Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) para ser utilizados en las fases experimentales.	31
Figura 2. Evaluación de mortalidad y peso de Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>) en laboratorio.....	32
Figura 3. Evaluación de tratamientos en fase de invernadero.	34
Figura 4. Evaluación de tratamientos en la fase de campo.	37
Figura 5. Comparación de mortalidad y peso realizadas en laboratorio.	39
Figura 6. Medias de evaluación de los tratamientos en invernadero en los dos ensayos.	40
Figura 7. Número de larvas de Gusano cogollero (<i>Spodoptera frugiperda</i>). encontrados por semana en cada uno de los tratamientos, solos y en mezcla con insecticidas.....	44
Figura 8. Gráfica de análisis Combinados a través de las cuatro Evaluaciones realizadas en campo.....	44

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo de investigación a mi familia que, durante estos dos años de estudio, me apoyo en todo momento, siendo parte fundamental para que esta etapa de desarrollo profesional culmine satisfactoriamente y dándome la oportunidad de poder crecer profesional, académica y personalmente.

A los amigos de la generación 62 por los momentos de convivencia y el apoyo brindado dentro y fuera del salón de clases, siendo el inicio de amistades que perdurarán tanto en la vida profesional como personal.

AGRADECIMIENTOS

A Universidad Autónoma Chapingo por darme la oportunidad y apoyo de continuar con mis estudios de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por otorgarme el apoyo económico necesario para desarrollar mis estudios de posgrado.

A la Maestría en Ciencias de Protección Vegetal del Departamento de Parasitología Agrícola por el apoyo brindado en mi formación profesional.

A los miembros del comité Dr. Samuel Ramírez Alarcón, Dr. Manuel Alejandro Tejeda Reyes, Dr. Mateo Vargas Hernández por su disposición, apoyo incondicional, comentarios y enseñanzas en el desarrollo de esta investigación.

A los profesores de la Maestría en Ciencias en Protección Vegetal por su tiempo y paciencia brindada para compartir sus conocimientos en cada una de sus áreas y contribuir en mi formación profesional.

DATOS BIOGRÁFICOS

DATOS PERSONALES

Nombre: Helder Martínez López

Fecha de nacimiento: 16 de noviembre de 1988

Lugar de nacimiento: Oaxaca de Juárez, Oaxaca

No. Cartilla militar: C-9603704

CURP: MALH881116HOCRPL00

Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Parasitología Agrícola

Cédula profesional: 11564112



DESARROLLO ACADÉMICO

Bachillerato: Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo

Licenciatura: Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo

RESUMEN GENERAL

EVALUACIÓN DE LA EFICACIA BIOLÓGICA DE SINÉRGICOS ALTERNATIVOS PARA EL CONTROL DEL GUSANO COGOLLERO (*Spodoptera frugiperda*, Lepidoptera: Noctuidae).

En el control del gusano cogollero (GC), en el cultivo de maíz, se requiere un esquema de manejo integral de la plaga. Como parte de este esquema se involucra el manejo químico, pero debido a los problemas de resistencia y de la desaceleración de nuevas moléculas, se ha adoptado realizar mezclas entre insecticidas y otros componentes permitiendo incrementar las eficacias de control. Un tipo de mezcla utilizada es la combinación entre insecticidas y sinergistas, los cuales ayudan a incrementar la letalidad en larvas por encima del efecto esperado. El objetivo de este proyecto de investigación fue evaluar el efecto sinergista de los productos Barrier® y Potencior 2x® en combinación con los insecticidas Coragen®, Clavis® y Karate zeon® en el control del GC.

El proyecto se desarrolló en las instalaciones del Colegio de postgraduados (Campus Montecillo) en su fase de laboratorio e invernadero y en el municipio de Yautepec, Morelos en su fase de campo. Los parámetros medidos, en laboratorio, fueron la mortalidad y el peso de las larvas de GC en 4 tratamientos con 4 repeticiones y la cuantificación de larvas vivas en invernadero y campo fue realizada en 12 tratamientos con 4 repeticiones.

Los datos fueron procesados con análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($p=0.05$), además de pruebas de contrastes para invernadero y campo. Los resultados de laboratorio mostraron que Potencior 2x® incrementa significativamente la mortalidad de las larvas y repercute en su peso. En contraste, el efecto de Barrier® no fue significativo, mientras que los resultados obtenidos de invernadero y campo mostraron que las combinaciones Potencior 2x® + Clavis®, Barrier® + Clavis® y Barrier® + Coragen®, tienen un efecto en el control de GC, por tanto, se sugiere que estas combinaciones pueden ser usadas en un manejo integral de GC en el cultivo de maíz.

Palabras clave: manejo integral, sinergista, control biológico, resistencia, eficacia.

Tesis de Maestría en Ciencias, Programa de Protección vegetal,
Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Helder Martínez López
Director de Tesis: Samuel Ramírez Alarcón

ABSTRACT

EVALUATION OF THE BIOLOGICAL EFFICACY OF ALTERNATIVE SYNERGYCS FOR THE CONTROL OF FALL ARMYWORM (*Spodoptera frugiperda*, Lepidoptera: Noctuidae).

In the control of the fall armyworm (FAW), in the corn crop, a comprehensive pest management scheme is required. As part of this scheme, chemical management is involved. Due to the problems of resistance and the deceleration of the new molecules, a mixture of insecticides has been adopted to allow to increase control efficiencies. One type of mixture used is the combination of insecticides and synergists, which help to increase the lethality in larvae above the expected effect. The objective of this research project was to evaluate the synergistic effect of the products Barrier® and Potencior® in combination with the insecticides Coragen®, Clavis®, and Karate zeon® in the control of FAW. The project was developed in the facilities of the Postgraduate College (Campus Montecillo) in its laboratory and greenhouse phase and in the municipality of Yautepec, Morelos in its field phase. The parameters measured in the laboratory were mortality and weight of the FAW larvae in 4 treatments with 4 repetitions, and the quantification of live larvae in the greenhouse and field was carried out in 12 treatments with 4 repetitions.

The results were processed with analysis of variance and Tukey's comparison of means ($p=0.05$), in addition to contrast tests for greenhouse and field. The results of the laboratory showed that Potencior 2x® significantly increases the mortality of the larvae and affects their weight. In contrast, the effect of Barrier® was not significant, while the results obtained from greenhouse and field showed that the combinations Potencior 2x® + Clavis®, Barrier® + Clavis®, and Barrier® + Coragen®, have an effect on the control of FAW, therefore, it is suggested that these combinations can be used in the integral management of FAW in corn cultivation.

Keywords: integral management, synergistic, biological control, resistance, efficacy

Thesis Master of Science in Plant Protection
Universidad Autónoma Chapingo
Author: Helder Martínez López
Advisor: Samuel Ramírez Alarcón

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El cultivo de maíz en México es muy importante, ya que además de poseer un fuerte contenido sociocultural, es el alimento básico, en nuestro país se consume como grano y elote (Massie y Lechuga, 2002; Reséndiz *et al.*, 2016). Serna y Amaya (2008) mencionan que el consumo *per capita* del cultivo en México es aproximadamente 10 veces más que el de Estados Unidos de América. De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera en el año 2020 se sembró 7,472,356.82 ha., cosechando un total de 7,156,391.29 ha (SIAP, 2020). Este cereal se produce principalmente en las zonas sub-húmeda tropical, templada húmeda y sub-húmeda (Mera-Ovando y Mapes-Sánchez, 2009).

El maíz es originario de México y el centro primario de diversidad genética, lo que lo hace muy especial por el papel que ha desempeñado en el desarrollo de las variedades, cuyo objetivo principal es el incremento de producción, siendo de gran interés en la ingeniería genética y la industria agrobiotecnológica (Massieu y Lechuga, 2002).

El manejo del cultivo es realizado a través de distintos métodos agronómicos que van desde el establecimiento de la siembra hasta su comercialización. Estas actividades son integradas por preparación del suelo, uso de variedades, método y densidad de siembra, control de plagas y enfermedades, fertilización, riegos, prácticas culturales, cosecha y comercialización, etc., (INIFAP, 1997; Sánchez, 2004).

El maíz, así como los demás cultivos es afectado por problemas de plagas como los son: Gusano trozador (*Agrotis ipsilon*), gusano elotero (*Helicoverpa zea*), mosca de los estigmas (*Euxesta stigmatias*) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*).

Una de las plagas considerada de las más importantes para el cultivo es el gusano cogollero (GC), que ocasiona daños en las primeras etapas. Entre las estrategias para el manejo de la plaga se tiene el método químico, pero con el tiempo ha ocasionado la resistencia de poblaciones a los insecticidas, por lo que se ha optado

la combinación de insecticidas para incrementar el control. En la combinación de productos se han utilizado también sinergistas que pueden proporcionar otra opción importante para enfrentar los problemas en aplicaciones, como la disminución de las dosis de ingrediente activo y niveles de resistencia (Bao *et al.*, 2016).

El objetivo de este proyecto de investigación fue evaluar el efecto sinergista de los productos Barrier® y Potencior 2x® en combinación con los insecticidas Coragen®, Clavis® y Karate zeon® en el control del GC, los objetivos específicos fueron i) Evaluar en laboratorio el efecto de mortalidad y peso en la alimentación con dieta artificial de larvas de gusano cogollero impregnada con dosis de los productos Barrier® y Potencior 2x®. ii) Evaluar en invernadero y campo abierto la eficacia de los productos Barrier® y Potencior 2x® aplicados solos y en mezcla para el control de gusano cogollero en el cultivo de maíz.

2. CAPITULO I. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del cultivo de maíz.

El maíz es un cultivo que tiene una gran capacidad adaptativa debido a que se produce bajo condiciones de clima y suelo diferentes, se puede cultivar en temporal y bajo riegos controlados (Glanze, 1980).

Con el tiempo se han introducido variedades mejoradas para incrementar el rendimiento y soportar el ataque de las plagas y enfermedades, las cuales han sido muy bien aceptadas por la industria (Parsons, 1988); Delorit, *et. al.*, 1987, mencionan que la densidad de siembra está dada por factores como: a) la fertilidad del suelo; b) la cantidad disponible de humedad en el suelo; c) el objetivo para el que se siembra; d) la variedad que se cultive, y e) el porcentaje de germinación.

2.2. Descripción botánica

La raíz de la planta es robusta y fasciculada, que además de ser una de las vías para la adquisición de agua y nutrientes, sirve de anclaje de la planta junto con sus raíces adventicias, el tallo es un eje formado por nudos y entrenudos, la parte inferior es de entrenudos cortos, mientras que en la superior son cilíndricos; las hojas están constituidas de vaina, cuello y lamina, el nervio central está bien desarrollado, es prominente en el envés de la hoja y cóncavo en el lado superior; la flor masculina tiene forma de panícula y está situada en la parte superior de la planta y la flor femenina, la fruta, se sitúa a media altura de la planta. La flor está compuesta en realidad por numerosas flores dispuestas en una ramificación lateral, cilíndrica y envuelta por falsas hojas llamadas brácteas (Ortigoza *et al.*, 2019).

2.3. Principales insectos plaga en maíz

2.3.1. Gusano trozador *Agrotis ipsilon* (Hufnagel) (Lepidoptera: Noctuidae)

También son hospedantes de sorgo y algodón, las larvas son activas únicamente en la noche, el nombre de gusano trozador es porque corta la planta al nivel del

suelo, defolia las hojas jóvenes y al terminar de comer una planta se trasladan a la planta más cercana (Bautista, 2006; García *et al.*, 2012).

Los caracteres morfológicos distintivos de la larva es el color castaño rojizo en cabeza, la cutícula gris oscuro brillante y la franja clara en la línea media dorsal, llegan a medir hasta 5 cm. Los adultos llegan a medir aproximadamente 3.5-5 cm con dos manchas en las alas anteriores una como punto y la otra en forma de “C” (Bautista, 2006).

2.3.2. Gusano elotero *Helicoverpa zea* Boddie (Lepidoptera: Noctuidae)

El daño ocasionado por la larva es hacia el ápice del elote propiciando la llegada de otros insectos plaga, las características distintivas es una franja oscura que presenta microespinas dividida por una línea clara, el pináculo setífero del VIII no presenta microespinas y las mandíbulas no presentan retináculo. El adulto es de un color amarillo pajizo y presenta en el centro de las alas anteriores una mancha oscura (Bautista, 2006; García *et al.*, 2012).

2.3.3. Mosca de los estigmas *Euxesta stigmatias* Loew (Diptera: Otitidae)

Una plaga de importancia en el maíz, una vez que las larvas eclosionan se alimentan de la base del estigma para después penetrar al pericarpio, alimentándose del endospermo del grano, provoca áreas sin grano al alimentarse de la punta del elote (Cortez y Macías, 2006).

La larva alcanza una longitud de 0.6 cm, de un color blanco amarillento, cilíndrico en forma de cuña, la parte apical es más ancha que la parte posterior (García *et al.*, 2012). Los adultos miden aproximadamente 0.5 cm de longitud, la hembra es de mayor longitud que el macho; de color verde oscuro con brillo metálico, ojos color café rojizos (Nuessly *et al.*, 1999; Nuessly y Capinera, 2006).

2.3.4. Gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)

Las plagas consideradas de mayor importancia son los lepidópteros, debido a la afectación del desarrollo y crecimiento del cultivo, entre este grupo se encuentra el GC (Reséndiz *et al.*, 2016; Rangel *et al.*, 2014), se presenta en la mayor parte del desarrollo del cultivo causando daños en el cogollo y también actuando como barrenador del tallo, estigmas, espiga y elote (García *et al.*, 2012). Los climas tropicales y subtropicales con una temperatura de 30° C son ideales para presentarse daños más severos. La larva es quien hace el daño a la planta cuyos caracteres distintivos para su identificación son cuatro puntos negros en forma de cuadrado en el octavo segmento abdominal que corresponden a los pináculos setíferos dorsales, en la cabeza se observa una especie de “Y” invertida de color blanco-amarillo (Bautista, 2006).

2.4. Generalidades del gusano cogollero

2.4.1. Situación e importancia económica

Este lepidóptero está presente en toda la República Mexicana, pero se ha observado con mayores incidencias en las regiones tropicales y subtropicales (Bautista, 2006).

El daño ocasiona pérdidas que van desde un 10% hasta la pérdida total del cultivo si no se tiene las medidas de control necesarias para bajar la incidencia de la plaga. El porcentaje alto de daño es ocasionado cuando la planta se encuentra en las primeras etapas de crecimiento (Banda *et al.*, 1981).

2.4.2. Ciclo biológico

La larva una vez que eclosiona del huevo presenta de 6-7 estadios larvarios, en maíz suele ser de 6, después pasan a la fase de prepupa que regularmente es de 2 días. La fase de pupa lo realizan en el suelo dejándose caer de la planta, permaneciendo de 10 a 15 días dependiendo de los factores de humedad,

temperatura y textura del suelo, tiempo en el cual emerge la polilla (Hardke *et al.*, 2015). Las hembras viven entre los 9-16 días, depositando la mayor cantidad de huevos durante la primera semana de vida (Mena, 2008).

2.4.3. Métodos de control

El GC es una de las plagas que ataca uno de los cultivos de importancia económica, en el continente americano (Jourdie *et al.* 2010). Para controlar las poblaciones, se requiere un esquema integrado de manejo de plagas para una gestión eficiente cuidando los aspectos importantes: la salud, el ambiente y el cultivo.

2.4.3.1. Control biológico

Se ha demostrado en diferentes investigaciones que existen parasitoides que regulan a las poblaciones de GC, se tienen registradas más de 40 especies en México dentro de los cuales destacan *Trichogramma spp*; *Chelonus spp* (Hymenoptera: Braconidae), *Apanteles spp* (Hymenoptera: Braconidae), *Cotesia marginiventris* (Hymenoptera: Braconidae) y *Meteorus laphygmae* (Hymenoptera: Braconidae); *Euplectrus spp* (Hymenoptera: Eulophidae); *Ophion spp* (Hymenoptera: Ichneumonidae), *Pristomerus spinator* (Hymenoptera: Ichneumonidae), *Campoletis spp* (Hymenoptera: Ichneumonidae), *Archytas marmoratus* (Diptera: Tachinidae) y *Lespesia archippivora* (Diptera: Tachinidae) (Bahena *et al.*, 2002 y 2010; Carrillo, 1993; Carrillo, 1980; García *et al.*, 2010; León y López, 1994; Montoya, 1980; Ruiz, 1984; Molina *et al.*, 2001 y 2003; Zapata, 1983).

Para el caso de los depredadores la catarina *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae) son conocidos por depredar huevecillos de GC, *Cycloneda sanguínea* (Coleoptera: Coccinellidae) se considera como una de las más utilizadas al igual que *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae), (Camacho-Báez *et al.*, 2012), *Chrysoperla spp* (Neuroptera: Chrysopidae), se ha reportado que depreda a los huevecillos y larvas de GC (Soto y Lannacone, 2008). Los sírfidos del

género *Metasyrphus* sp. (Diptera: Syrphidae), también son depredadores, aunque menos utilizados (García-Gutiérrez *et al.*, 2012).

De igual forma existen bacterias como *Bacillus thuringiensis* (Bt) que posee potencial como agentes de control, inclusive muy utilizados y formulados como bioinsecticidas, Bt provoca una parálisis como primer paso, causando posteriormente una septicemia y la muerte de la larva (Schnepf *et al.*, 1998).

Castruita *et al.*, 2017, determinaron que el nematodo *Steinernema westeri* combinándolo con aceite de oliva es una alternativa de control biológico contra GC debido a que son muy susceptibles a la infección.

2.4.3.2. Control cultural

Este tipo de control se basa en las prácticas de campo como método preventivo o que proporcione ventajas de control, haciendo menos favorable el ambiente requerido para su reproducción, sobrevivencia y dispersión; dentro de los cuales puede ser la remoción del suelo, fechas de siembra y riegos controlados (Santana *et al.*, 2017), así también se debe evitar establecer el cultivo en terrenos con alta población de malezas, sobre todo aquellas perennes que sean hospedantes del GC (Cortez y Rodríguez, 2012).

2.4.3.3. Control químico

Desde que se impulsó el uso de paquetes tecnológicos de fertilizantes y plaguicidas se ha mejorado la productividad, sin embargo, hay evidencias de que su uso daña seriamente al ambiente y la salud de los aplicadores, si no se tiene un buen uso y manejo de estos (Bernardino *et al.*, 2019). Los plaguicidas son sustancias que en su mayoría son químicos empleados por el hombre para el control de plagas agrícolas y su aplicación correcta es la medida más aceptada y efectiva para lograr la máxima producción y mejor calidad de los cultivos (Van Hemmen, 1993).

Hoy en día existen muchos ingredientes activos registrados, frecuentemente los más utilizados son organofosforados y piretroides, que mayormente se dirigen

principalmente contra las etapas larvales (Tejeda *et al.*, 2016; Usmani y Knowles., 2001). Investigaciones realizadas han demostrado que los ingredientes activos de benzoato de emamectina, spinoteram, permetrina, ciflutrina, cipermetrina, clorpirifos, carbofuran, deltametrina, spinosad, lambda cialotrina, clorantraniliprol, tiodicarb, triflumuron, entre otros, tienen una buena efectividad en el control de la plaga (Cortez y Valenzuela, 2011; SENASICA, 2021).

2.4.3.4. Control etológico

El uso de trampas es una alternativa dentro del manejo integral de plagas, siendo una herramienta que ayuda a estimar las poblaciones existentes mediante el monitoreo. El uso de estos en combinación con feromonas atrae a los adultos y los captura debido a la atracción por la liberación de compuestos volátiles (señales químicas sexuales). La trampa más utilizada consiste en un recipiente de plástico de tamaño grande, de 2-3 ventanas laterales, colocando agua jabonosa al fondo del recipiente (Salazar *et al.*, 2020).

2.5. Los sinergistas

Un sinergista es definido como un compuesto que, combinado con otros, aumenta la letalidad en los insectos por encima del efecto aditivo esperado (Fazolin *et al.*, 2017). Estos productos pueden proporcionar otra opción importante para enfrentar los problemas en aplicaciones, como la disminución de las dosis de ingrediente activo y como se ha dicho anteriormente, los niveles de resistencia (Bao *et al.*, 2016).

El modo de acción de la mayoría de los sinergistas es bloquear los sistemas metabólicos que de otro modo degradarían las moléculas de insecticida, interfieren con la desintoxicación de insecticidas a través de su acción sobre las monoxigenasas polistrato (PSMO) y otros sistemas enzimáticos (B-Bernard *et al.*, 1993).

El butóxido de piperonilo (PBO) es el sinergista más común de insecticidas desarrollado, se utiliza en insecticidas que contienen principios activos piretroides, ruteno, organofosforados y carbamatos como bendiocarb y carbaril (Ahmad, 2004).

Así como sinergistas químicos, existen también de origen vegetal como el dillapiol que es casi tan eficaz como PBO en piretrina. (Joffe *et al.*, 2012). Bullangpoti *et al.*, (2012), utilizaron los extractos de *Jatropha gossypifolia* y *Melia azedarach* como sinergistas en cipermetrina y los estudios revelaron que presentaron una actividad sinérgica.

A pesar de existir investigaciones de sinergistas evaluados, pocos son de importancia comercial, varios de ellos, en particular son inhibidores metabólicos, se han convertido en herramientas útiles en manejo de la resistencia e investigación metabólica (Brattsten *et al.*, 1986; Raffa y Priester, 1985).

El considerado como sinergista por la inhibición del metabolismo de un insecticida no necesariamente resulta en sinergismo, como el paration metílico se activa a través del sistema monoxigenasas polistrato dependientes del citocromo P-450 siendo más toxico y actuando como antagonista (Brattsten, 1988).

En el caso de que un sinergista pueda tener efectos, hay información limitada sobre los efectos a largo plazo del uso constante de sinergistas con los diferentes grupos de insecticidas. Un estudio con moscas domésticas expuestas a carbaril y PB exhibieron solo una resistencia de 3 veces durante 20 generaciones, en comparación con un aumento de 25 veces con carbaril solo (Wilkinson, 1983). Sin embargo, el estudio fue realizado en laboratorio lo que puede ser diferente en la evaluación en campo.

Sumado a lo anterior y la desaceleración del número de registros de nuevos ingredientes activos en el país y una nueva tendencia hacia un manejo integral de plagas, ha presionado a la sociedad a un renovado interés en la identificación y desarrollo de alternativas de control como son los sinergistas.

2.6. Literatura citada

Ahmad M., Hollingworth R.M. (2004) Synergism of insecticides provides evidence of metabolic mechanisms of resistance in the obliquebanded leafroller *Choristoneura rosaceana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Pest Manag Sci*; 60(5): 465-473.

Bahena, J., Arredondo, H. C., Vázquez, M., González, H., Miranda, M. A. (2002). Parasitoides del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en el occidente de México. *Entomología Mexicana*. Vol. 1: 260 – 265.

Bahena, J., Cortes-Mondaca, E., Sánchez, R. (2010). Parasitoids of Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* Smith in Michoacán, México. *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Southwestern Branch of the Entomol. Soc. Ame.* p. 36.

Banda J.F., Enkerlin, D., De Alba, G., Garza, L. (1981). Importancia de *Heliothis zea* (Boddie) y determinación del umbral económico, distribución matemática y muestreo secuencial de *Spodoptera frugiperda* (Smith) en maíz criollo. *Fitófilo*, 85:101-118.

Bao, H., Shao, X., Zhang, Y., Deng, Y., Xu, X., Liu, Z. y Li, Z. (2016). Sinergista específico para insecticidas neonicotinoides: IPPA08, un compuesto cis-neonicotinoide con una subestructura única de puente de oxígeno. *Revista de química agrícola y alimentaria*, 64 (25).

Bautista, N. (2006). Insectos plaga una guía ilustrada para su identificación. Colegio de postgraduados. Montecillo, Estado de México. 113 pp.

Bernard, C. B. & Philogène, B. J. Insecticide synergists: role, importance, and perspectives. *J. Toxicol. Environ. Health* 38, 199–223 (1993).

Bernardino, E.U., Honorio Torres, A., Sánchez, G. (2019). Uso de plaguicidas en el cultivo de maíz en zonas rurales del Estado de Oaxaca, México. *Rev. salud ambiente*. 2019; 19(1):23-31.

Brattsten, L. B. (1988). Potential role of plant allelochemicals in the development of insecticide resistance. In *Novel Aspects of Insect-Plant Interactions*, eds. pp. 313-348.

Bullangpoti, V., Wajnberg, E., Audant, P. Feyereisen R. (2012). Antifeedant activity of *Jatropha gossypifolia* and *Melia azedarach* senescent leaf extracts on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and their potential use as synergists. *Pest Management Science*, 68(9): 1255–1264.

Camacho, B.J.R., García, C., Mundo, M., Armenta, B.A.D., Nava, E., Valenzuel, J.I., González U. (2012). Enemigos naturales de las moscas de los estigmas del maíz: *Euxesta stigmatias* (Loew), *Chaetopsis massyla* (Walker) y *Eumecosommyia nubila* (Wiedemann) en Guasave Sinaloa, México. *Ra Ximhai* 8:71-77.

Carrillo, J. L. 1993. Síntesis del control biológico de *Heliothis spp* y *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en México. *Folia Entomol. Méx.* 87: 85 – 93.

Carrillo, R. H. (1980). Determinación del parasitismo natural del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* Smith en Quintana Roo. *Fol. Entomol. Mex.*, 45: 111-112.

Castruita, G., Aquino, T., Ruiz, J. (2017). Nematodos entomopatógenos, un control biológico para el manejo del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* j. e. smith) (lepidotera: noctuidae en maíz, en los valles de oaxaca, México. *Entomología mexicana*, 4: 132–137 (2017).

Cortez, E., Rodríguez, F.G. (2012). Manejo integrado de gusano cogollero basado en el aprovechamiento de enemigos naturales en Maíz, en Sinaloa, México. Centro de Investigación Regional del Noroeste. INIFAP. Folleto técnico Núm. 36. Juan José Ríos. 26 p.

Cortez, E., Valenzuela, F. (2011). Efectividad de insecticidas novedosos al 100% y 50% de la dosis sobre gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (j.e. smith) en maíz. INIFAP-Campo Experimental Valle del Fuerte. Escuela Superior de Agricultura del Valle del Fuerte.

Cortez, M. E., Macías, J. (2006). Recomendaciones para el manejo de las plagas insectiles del maíz en Sinaloa. INIFAP-CIRNO. Campo Experimental Valle del Fuerte. Folleto técnico No. 26. Los Mochis, Sinaloa, México. pp 24-25.

Delorit, R. J. Y H. L. Ahlgren. (1987). Biblioteca de Agricultura. Continental. pp: 61 – 84.

Fazolin, M., Vidal, J.L., Medeiros, A.F., Silva, D., Paiva, L. (2017). Alternative synergistic for acetylcholinesterase inhibitors insecticide. *Agro@mbiente On-Line*, 11, 232–240.

García, P. F., Bahena, F., Cortes, E. (2010). Parasitismo natural sobre Gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en el estado de Morelos. *Entomología Mexicana*, Vol. 9: 99 - 103.

García-Gutiérrez, C., González-Maldonado y Cortez-Mondaca, E. (2012). Uso de enemigos naturales y biorracionales para el control de plagas de maíz Ra Ximhai, septiembre - diciembre, año/Vol. 8, Número 3 Universidad Autónoma Indígena de México Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. pp. 57-70.

García-Gutiérrez, C., González-Maldonado, M.B., Cortez-Mondaca, E. (2012). Uso de enemigos naturales y biorracionales para el control de plagas de maíz. Ra Ximhai 8:57-70.

Glanze, P. (1980). El maíz de grano, producción mecanizada de maíz y granos en las regiones tropicales y subtropicales. Ediciones Euroamericanas. Klaus Thiele. México, 125p.

Hardke, J.T., Lorenz, G.M., Leonard, R. (2015). Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) ecology in Southeastern cotton. *Journal of Integrated Pest Management*, 6(1): 10.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (1997). Guía para la asistencia técnica agrícola en el área de influencia del Campo Experimental, Tecamachalco. INIFAP-PRODUCE. Tecamachalco, Puebla, México. 374 p.

Joffe, T., R. V. Gunning, G. R. Allen, M. Kristensen, S. Alptekin, L. M. Field, and G. D. Moores. (2012). Investigating the potential of selected natural compounds to increase the potency of pyrethrum against houseflies *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). *Pest Manag. Sci.* 68: 178–184.

José Daniel Salazar, J.D., Cadet, E., González, F. (2020). Monitoreo de *Spodoptera* spp. en caña de azúcar: uso de trampas con feromonas sexuales. *Agron. Mesoam.* 31(2):445-459.

Jourdie, V., Virla, E., Murillo, H., Bento, J. M. S., Turling, T. C. J., Alvarez, N. (2010). Phylogeography of *Chelonus insularis* (Hymenoptera: Braconidae) and *Campoletis sonorensis* (Hymenoptera: Ichneumonidae), two primary neotropical parasitoids of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Annals of the Entomological Society of América* 103(5): 742-749.

León-Reyes, A. y E. López-Barbosa. (1994). Parasitismo de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en el municipio de Tarimbaro, Michoacán. *Esc. de Biología. Resumen del XXIX Cong. Nal. Entomol. Monterrey, N. L.* p. 89.

Massieu-Trigo, Y., Lechuga-Montenegro, J. (2002). El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. *Análisis Económico*, vol. XVII, núm. 36, segundo semestre, 2002, pp. 281-303.

Mena, J. (2008). Una estrategia de manejo para el gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda*. Centro de Investigación Regional Norte Centro, INIFAP.

Molina, O., Carpenter J. E., Heinrichs, E. A., Foster, J. E. (2003). Parasitoids and parasites of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas and Caribbean basin: an inventory. *Florida Entomol.*, 86 (3): 254 – 289.

Molina, O., Hamm, J. J., Lezama, R., López, M., González, M., Pescador, A. (2001). A survey of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) parasitoids in the Mexican states of Michoacán, Colima, Jalisco, and Tamaulipas. *Florida Entomol.*, 84 (1): 31 – 36.

Montoya B., J. A. (1980). Estudio preliminar del ectoparásito del género *Euplectrus* del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* en Xalapa, Veracruz, México. *Rev. Apil. Entomol. Series A*, Vol. 68 (3): 212.

Nuessly, G., Pernezny, K., Stansly, P., Sprenkel, R., and Lentini, R. (1999). *Florida Corn Insect Identification Guide*. <http://fciig.ifas.ufl.edu/frcsilk.htm>. 03 de abril de 2009.

Nuessly, G.S., Capinera, J.L. (2006). Cornsilk fly *Euxesta stigmatias*. Publication Number: EENY-224. University of Florida- USDA, ARS.

Ortigoza, J., López, C., González, J. (2019). Cultivo de Maíz. –San Lorenzo, Paraguay: FCA, UNA.

Parsons, D. (1988). Manuales para educación agropecuaria: maíz. Editorial Trillas. México, pp. 9 – 12.

Raffa, K. F., Priester, T. M. (1985). Synergists as research tools and control agents in agriculture. J.mAgric. Entomol. 2:27-45.

Rangel, N.J.C., Vázquez, R.M.F., Rincón, C.M.C. (2014). Caracterización biológica y molecular de cepas exóticas de baculovirus SfNPV, con actividad bioinsecticida hacia una población mexicana del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Interciencia 39:320-326.

Reséndiz R.Z., López S.J.A., Osorio H.E., Estrada D.B, Pecina M.J.A., Mendoza C.M.C., Reyes M.A. (2016). Importancia de la resistencia del maíz nativo al ataque de larvas de lepidópteros. Temas de Ciencia y Tecnología 20:3-14.

Ruíz N., R. E. (1984). Insectos parásitos de larvas de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), de los municipios del estado de Chiapas, México. Resumen XX Cong. Nal. Entomol. Cd. Victoria, Tamaulipas. p 55.

Sánchez, H. (2004). Manual tecnológico del maíz amarillo duro y de buenas prácticas agrícolas en Huaura. IICA. ISBN: 92-90-39-617-2. Lima, Perú. 139 p.

Santana, S., Flores, E., Domínguez, P. (2017). Recomendaciones para el control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz. Centro de Investigación Regional Norte Centro Campo Experimental Valle del Guadiana Durango, Dgo. Folleto Técnico Núm. 97.

SENASICA. (2021). Gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), Ficha técnica. Dirección General de Sanidad Vegetal Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria.

Schnepf, E.N., Crickmore, J., Van-Ries, L., Lereclu, J., Baum, J., Feitelson, J., Zeigler, D.R., Dean, D.H., (1998). *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal crystal proteins. Microbiology and Molecular Biology Reviews, 62: 775-806.

Serna-Saldívar S. O., Amaya-Guerra, C.A. (2008). El papel de la tortilla nixtamalizada en la nutrición y la alimentación. In: Nixtamalización del Maíz a la

Tortilla. Aspectos Nutrimientales y Toxicológicos. Universidad Autónoma de Querétaro. Querétaro, México. pp:105-151.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2020). Anuario Estadístico de la producción agrícola. Disponible en <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Consultado en abril de 2022).

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

Tejeda, M.A., Solís, J.F., Díaz, J.F., Peláez, A., Ayvar, S., Mena, A. (2016). Evaluación de insecticidas en el control de gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera: noctuidae) en maíz en Cocula, Guerrero. Posgrado en Entomología y Acarología. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. C. P. 56230, Texcoco, estado de México.

Usmani, K.A., Knowles, C.O., (2001). Toxicidad de los piretroides y efecto de los sinergistas en las larvas y adultos de *Helicoverpa zea*, *Spodoptera frugiperda* y *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Economic Entomology, 94 (4), 868–873. doi: 10.1603 / 0022-0493-94.4.868.

Van Hemmen, J. J. (1993). Predictive exposure modeling for pesticide registration purposes. Ann Occup Hyg. 37: 541-564.

Wilkinson, C. F. (1983). Role of mixed function oxidases in insecticide resistance. In Pest Resistance to Pesticides, eds. G. P. Georgiou and T. Saito, pp. 175-205. New York: Plenum Press.

Zapata, M., R. (1983). Enemigos naturales de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), *Mocis latiper* y *Diatraea* spp. en el cultivo del maíz. Resumen XIX Cong. Nal. Entomol. p 56.

3. CAPITULO II. EVALUACIÓN DE LA EFICACIA BIOLÓGICA DE SINERGICOS ALTERNATIVOS PARA EL CONTROL DEL GUSANO COGOLLERO (*Spodoptera frugiperda*, Lepidoptera: Noctuidae).

3.1. RESUMEN

En el control del gusano cogollero (GC), en el cultivo de maíz, se requiere un esquema de manejo integral de la plaga. Como parte de este esquema se involucra el manejo químico, pero debido a los problemas de resistencia y de la desaceleración de nuevas moléculas, se ha adoptado realizar mezclas entre insecticidas y otros componentes permitiendo incrementar las eficacias de control. Un tipo de mezcla utilizada es la combinación entre insecticidas y sinergistas, los cuales ayudan a incrementar la letalidad en larvas por encima del efecto esperado. El objetivo de este proyecto de investigación fue evaluar el efecto sinergista de los productos Barrier® y Potencior 2x® en combinación con los insecticidas Coragen®, Clavis® y Karate zeon® en el control del GC.

El proyecto se desarrolló en las instalaciones del Colegio de postgraduados (Campus Montecillo) en su fase de laboratorio e invernadero y en el municipio de Yautepec, Morelos en su fase de campo. Los parámetros medidos, en laboratorio, fueron la mortalidad y el peso de las larvas de GC en 4 tratamientos con 4 repeticiones y la cuantificación de larvas vivas en invernadero y campo fue realizada en 12 tratamientos con 4 repeticiones.

Los datos fueron procesados con análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($p=0.05$), además de pruebas de contrastes para invernadero y campo. Los resultados de laboratorio mostraron que Potencior 2x® incrementa significativamente la mortalidad de las larvas y repercute en su peso. En contraste, el efecto de Barrier® no fue significativo, mientras que los resultados obtenidos de invernadero y campo mostraron que las combinaciones Potencior 2x® + Clavis®, Barrier® + Clavis® y Barrier® + Coragen®, tienen un efecto en el control de GC, por tanto, se sugiere que estas combinaciones pueden ser usadas en un manejo integral de GC en el cultivo de maíz.

Palabras clave: manejo integral, sinergista, control biológico, resistencia, eficacia.

3.2. ABSTRACT

In the control of the fall armyworm (FAW), in the corn crop, a comprehensive pest management scheme is required. As part of this scheme, chemical management is involved. Due to the problems of resistance and the deceleration of the new molecules, a mixture of insecticides has been adopted to allow to increase control efficiencies. One type of mixture used is the combination of insecticides and synergists, which help to increase the lethality in larvae above the expected effect. The objective of this research project was to evaluate the synergistic effect of the products Barrier® and Potencior® in combination with the insecticides Coragen®, Clavis®, and Karate zeon® in the control of FAW. The project was developed in the facilities of the Postgraduate College (Campus Montecillo) in its laboratory and greenhouse phase and in the municipality of Yautepec, Morelos in its field phase. The parameters measured in the laboratory were mortality and weight of the FAW larvae in 4 treatments with 4 repetitions, and the quantification of live larvae in the greenhouse and field was carried out in 12 treatments with 4 repetitions.

The results were processed with analysis of variance and Tukey's comparison of means ($p=0.05$), in addition to contrast tests for greenhouse and field. The results of the laboratory showed that Potencior 2x® significantly increases the mortality of the larvae and affects their weight. In contrast, the effect of Barrier® was not significant, while the results obtained from greenhouse and field showed that the combinations Potencior 2x® + Clavis®, Barrier® + Clavis®, and Barrier® + Coragen®, have an effect on the control of FAW, therefore, it is suggested that these combinations can be used in the integral management of FAW in corn cultivation.

Keywords: integral management, synergistic, biological control, resistance, efficacy

3.3. Introducción

El maíz es considerado un cultivo biodiverso debido a que es fuente de alimento y utilizado para la generación de biocombustibles, plásticos y medicamentos etc., México ocupa el cuarto lugar en su producción además de ser uno de los países con más consumo, tiene un gran potencial de producir distintas variedades vegetales. Es centro de origen y diversificación, tiene una trascendente relevancia en la historia de la cultura, la economía y la alimentación (González *et al.*, 2014).

El gusano cogollero (GC) es considerado como una de las plagas más importantes del maíz en las regiones tropicales y subtropicales de América, dentro del cual se encuentra México, en diversas entidades del país se han registrado pérdidas causadas por este insecto, los daños más serios como se ha dicho se dan en las zonas temporaleras de regiones tropicales y subtropicales.

Su distribución es muy amplia, ocurre en todas las zonas productoras de maíz, este lepidóptero puede afectar otras gramíneas como sorgo, arroz, pastos, algunas leguminosas como frijol, soya y cacahuete y cultivos hortícolas como papa, cebolla, pepino, col y camote (Yáñez, 2007). El daño lo causa la larva e inicia con pequeñas raspaduras que se ven traslucidas y cuando tiene más desarrollo larval defolia la planta, atacando el cogollo donde es muy común observar excremento de la larva.

Para el control de la plaga se implementan distintos métodos de control como métodos culturales, biológicos, etológicos, químicos etc. Pero de los más utilizados es el manejo químico. Los ingredientes químicos utilizados son la permetrina, ciflutrina, cipermetrina, clorpirifos, carbofuran, deltametrina, spinosad, lambda cialotrina, clorantraniliprol, tiodicarb, triflumuron (SENASICA, 2021), todos estos ingredientes deben estar autorizados por la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), autoridad gubernamental encargada de emitir los registros de uso.

El GC al alimentarse de una amplia gama de cultivos hospedantes, es expuesta a las aplicaciones realizadas, ingiriendo distintos ingredientes activos obteniendo así,

una fuerte presión de selección de plaguicidas, lo anterior y sumado a los factores ambientales y desconocimiento del buen uso y manejo de plaguicidas ha llevado al incremento de las dosis de productos plaguicidas y mezcla de distintos ingredientes activos.

Como se sabe, para un buen control de GC se requiere un esquema integrado de manejo para una gestión eficiente, cuidando los aspectos importantes: la salud, el ambiente y el cultivo, entre las estrategias para el manejo de la plaga como se ha mencionado se tiene el método químico, pero con el tiempo ha ocasionado la resistencia de poblaciones a los insecticidas, por lo que se ha optado la combinación de distintos ingredientes activos con modos de acción diferentes para incrementar el control. En la combinación de productos existen también sinergistas que pueden proporcionar otra opción importante para enfrentar los problemas en aplicaciones, como la disminución de las dosis de ingrediente activo y niveles resistentes (Bao *et al.*, 2016).

Diversos factores como ambientales, de resistencia y la desaceleración del número de registros de nuevos ingredientes activos en el país y una nueva tendencia hacia un manejo integral de plagas, ha presionado a la sociedad a un renovado interés en la identificación y desarrollo de alternativas de control como son los sinergistas (Snoeck *et al.*, 2017). Como se ha dicho, estos productos ayudan a aumentar la letalidad en los insectos por encima del efecto aditivo esperado proporcionar otra opción importante para enfrentar los problemas en aplicaciones (Bao *et al.*, 2016; Fazolin *et al.*, 2017).

El objetivo de este proyecto de investigación fue evaluar el efecto sinergista de los productos Barrier® y Potencior 2x® en combinación con los insecticidas Coragen®, Clavis® y Karate zeon® en el control del GC, los objetivos específicos fueron i) Evaluar en laboratorio el efecto de mortalidad y peso en la alimentación con dieta artificial de larvas de gusano cogollero impregnada con dosis de los productos Barrier® y Potencior 2x®. ii) Evaluar en invernadero y campo abierto la eficacia de

los productos Barrier® y Potencior 2x® aplicados solos y en mezcla para el control de gusano cogollero en el cultivo de maíz.

3.4. Materiales y métodos

3.4.1. Cría de Gusano cogollero

3.4.1.1. Colecta. Para la reproducción se recolectaron (Figura 1a) larvas de gusano cogollero en sembradíos de maíz de la Universidad Autónoma Chapingo.



Figura 1. Cría de Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) para ser utilizados en las fases experimentales.

3.4.1.2. Reproducción. Las larvas se separaron en recipientes de plástico donde se les colocó hojas tiernas de maíz como dieta, hasta alcanzar el estado de pupa (Figura 1b). Se prepararon jaulas de apareamiento con recipientes de plástico de un litro donde se les colocó papel estraza alrededor de estos, para traspasar las pupas primero se sexaron para asegurar colocar un macho y una hembra en cada recipiente (Figura 1 c, d), cuando la pupa cambiaba a una tonalidad oscura se colocaba un poco de algodón y la jaula era sellada para evitar que los adultos

escaparan después de la eclosión. Una vez emergidos los adultos fueron alimentados con agua azucarada empapando el algodón con una jeringa. Los huevos eran colectados todos los días una vez que la hembra iniciaba la oviposición (Figura 1 e, f).

El estudio fue realizado en tres fases: laboratorio, invernadero y campo.

3.4.2. Fase de laboratorio.

3.4.2.1. Lugar del experimento. El experimento se realizó en el laboratorio de usos múltiples del Colegio de Postgraduados Campus Montecillos, Estado de México.

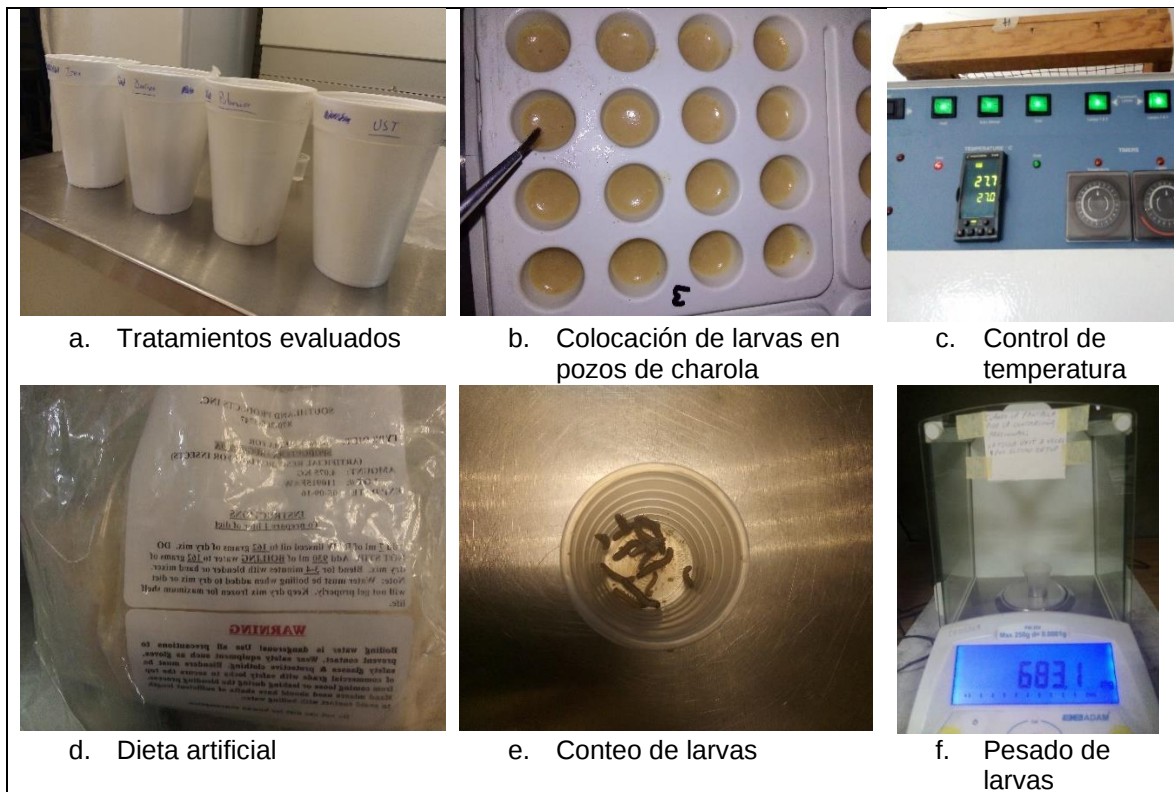


Figura 2. Evaluación de mortalidad y peso de Gusano cogollero (Spodoptera frugiperda) en laboratorio.

3.4.2.2. Bioensayo. Para la evaluación se utilizaron charolas entomológicas de 128 cavidades, donde se colocó 1 ml de dieta artificial (Fall Armyworm, Southland Products Incorporated) preparada (50 g de dieta + 287 ml de

agua destilada), en cada pozo se colocó 50 µl de cada tratamiento (Figura 2a), se dejó secar a temperatura ambiente por un tiempo aproximado de 2 horas. Finalmente, en cada pozo se colocó con ayuda de un pincel, 1 larva neonata de gusano cogollero (Figura 2b), se selló y se mantuvo a temperatura controlada de 27°C (Figura 2c) para su evaluación a los 7 días (Figura 5).

3.4.2.3. Tratamientos evaluados. Se evaluaron 4 tratamientos alojados en un diseño completamente al azar, con 4 repeticiones, el experimento se realizó en dos ocasiones (Tabla 1).

3.4.2.4. Descripción de tratamientos evaluados

Barrier: Producto para aplicación al follaje y raíz cuyo objetivo es aumentar la tolerancia del cultivo en la entrada de plagas, también incrementa la resistencia de la planta a los daños físicos y su vida de anaquel (Tacsá, 2022).

Potencior 2x: Producto coadyuvante cuyos ingredientes activos son metabolitos secundarios de extractos vegetales (Velsimex, 2022).

Inex: Producto coadyuvante que aumenta la penetración de los agroquímicos mejorando su eficiencia ((Tacsá, 2022).

Tabla 1. Tratamientos evaluados en laboratorio.

No	Tratamientos
1	Control (Agua destilada)
2	Barrier® (Calcio 10% + Silicio 24%)
3	Potencior (<i>Liliaceae liliun</i> 3% + <i>Capsicum annuum</i> 2% + <i>Allium fistulosum</i> 1% + <i>Euphorbiaceae hevea</i> 4%)
4	Inex® (Surfactante no iónico)

3.4.2.4. Parámetros de evaluación. El efecto de la aplicación y alimentación de la larva se evaluó contabilizando las larvas vivas de cada tratamiento y el peso con ayuda de una balanza analítica (Figura 2e, f). Para el análisis

estadístico se le aplicó un análisis combinado como uno solo de los dos ensayos y una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) con el programa SAS.

3.4.3. Fase de invernadero.

3.4.3.1. Lugar del experimento. El experimento se realizó en un invernadero del Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Estado de México. Para la evaluación se utilizó semilla de maíz sin tratar de la variedad A-7573, las semillas fueron sembradas en recipientes de unicel de 1 L con sustrato (Figura 3a). Una vez que alcanzó una altura aproximada de 15 cm, se le colocó a cada planta una larva recién emergida (neonatos) de GC, infestando un total de 480 plantas (Figura 3b,c).

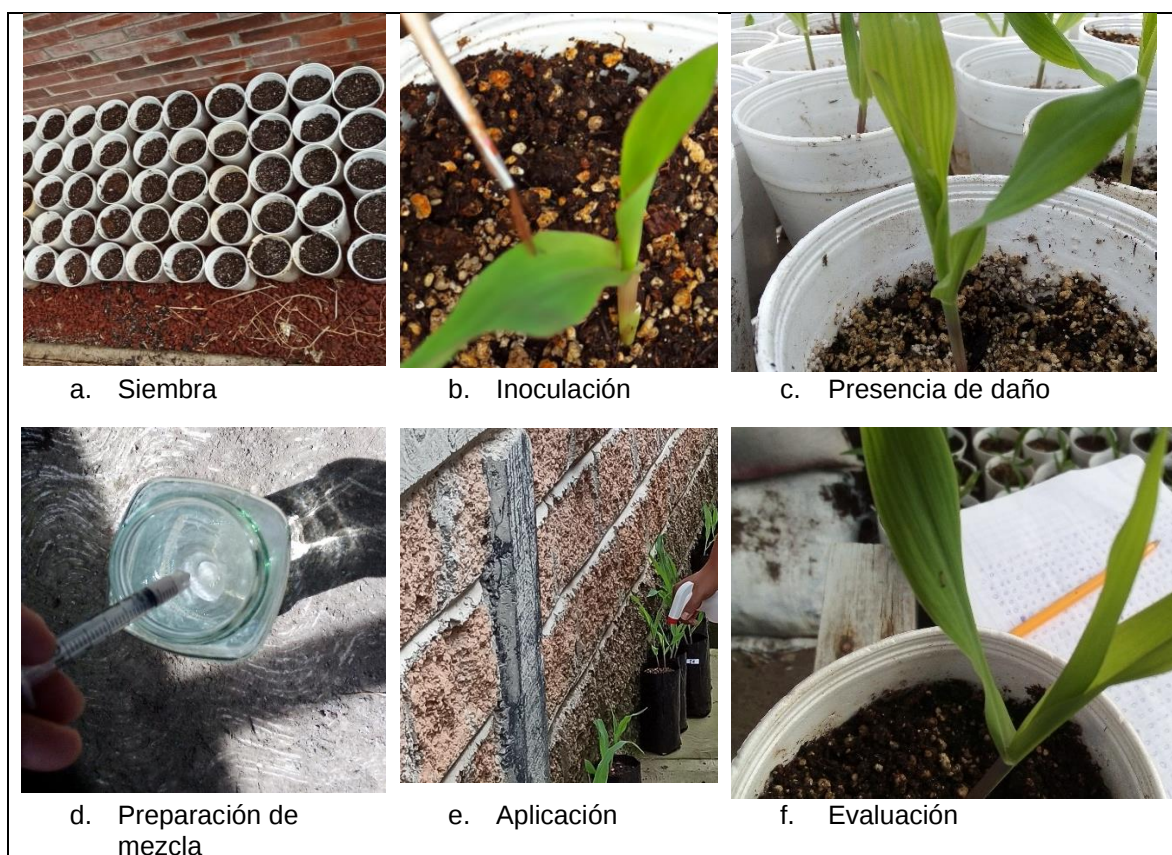


Figura 3. Evaluación de tratamientos en fase de invernadero.

3.4.3.2. Tratamientos y dosis de aplicación. Se instalaron 12 tratamientos (Tabla 2) que fueron alojados en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones, utilizando 10 plantas por tratamiento, 480 para todo el estudio.

Tabla 2. Arreglo y dosis de aplicación de los tratamientos evaluados en invernadero y campo.

No.	Tratamientos	Ingrediente activo	Dosis L ⁻¹ ha
1	Control	-	-
2	Barrier®	Calcio 10% + Silicio 24%	2 L
3	Potencior 2x®	<i>Liliaceae lilium</i> 3% + <i>Capsicum annuum</i> 2% + <i>Allium fistulosum</i> 1% + <i>Euphorbiaceae hevea</i> 4%	150 mL
4	Coragen®	Clorantraniliprol 200 g. de i.a. / L	100 mL
5	Clavis®	Tiodicarb 360 g de i.a./L + Triflumurón 120 g de i.a./L	350 mL
6	Karate zeon®	Lambda cialotrin 50 g de i.a. /L	300 mL
7	Coragen® + Barrier®	Clorantraniliprol 200 g. de i.a. / L + (Calcio 10% + Silicio 24%)	100 mL + 2 L
8	Clavis® + Barrier®	(Tiodicarb 360 g de i.a./L + Triflumurón 120 g de i.a./L) + (Calcio 10% + Silicio 24%)	350 mL + 2 L
9	Karate zeon® + Barrier®	Lambda cialotrin 50 g de i.a. /L + (Calcio 10% + Silicio 24%)	300 mL + 2 L
10	Coragen® + Potencior 2x®	Clorantraniliprol 200 g. de i.a. / L + (<i>Liliaceae lilium</i> 3% + <i>Capsicum annuum</i> 2% + <i>Allium fistulosum</i> 1% + <i>Euphorbiaceae hevea</i> 4%)	100 mL + 150 mL
11	Clavis® + Potencior 2x®	(Tiodicarb 360 g de i.a./L + Triflumurón 120 g de i.a./L) + (<i>Liliaceae lilium</i> 3% + <i>Capsicum annuum</i> 2% + <i>Allium fistulosum</i> 1% + <i>Euphorbiaceae hevea</i> 4%)	350 mL + 150 mL
12	Karate zeon® + Potencior 2x®	Lambda cialotrin 50 g de i.a. /L + (<i>Liliaceae lilium</i> 3% + <i>Capsicum annuum</i> 2% + <i>Allium fistulosum</i> 1% + <i>Euphorbiaceae hevea</i> 4%)	300 mL + 150 mL

3.4.3.3. Descripción de insecticidas utilizados

Clavis®: De contacto e ingestión, actúa sobre huevos y larvas de GC (Agrisover, 2019).

Coragen®: De actividad sistémica cuando se aplica en drench y traslaminar al follaje, siendo más eficaz a través de la ingestión de material tratado (FMC, 2017).

Karate zeon®: Producto de contacto e ingestión produce en pocos minutos la desorientación y el cese de alimentación del insecto, seguido de la parálisis y muerte (Syngenta, 2022).

3.4.3.4. Momento, forma, número de aplicaciones e intervalo entre éstas. La aplicación de tratamientos se realizó 48 horas después de la infestación de larvas, para la preparación de la mezcla se utilizó agua potable (Figura 3c), la forma de aplicación fue vía foliar con ayuda de un atomizador (Figura 3d). Se realizaron 4 evaluaciones, las primeras 3 cada 24 horas y la cuarta a las 48 horas después de la tercera evaluación (Figura 3e).

3.4.3.5. Parámetros de evaluación. El efecto de la aplicación se evaluó a través de larvas vivas de GC por tratamiento. Para el análisis estadístico se le aplicó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) por medio de un análisis combinado a través de los dos ensayos con el programa SAS. Así también una prueba de contrastes para conocer si los tratamientos tienen un efecto diferente en comparación con el testigo, y aplicados solos o en mezcla.

3.4.4. Fase de campo

3.4.4.1. Lugar del experimento. El experimento en campo se realizó en el municipio de Yautepec, Morelos, en un cultivo de maíz comercial variedad A-7573 en desarrollo vegetativo con presencia de GC, bajo condiciones de temporal.

3.4.4.2. Tratamientos y dosis de aplicación. Se instalaron 12 tratamientos (tabla 2) que fueron alojados en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, cada unidad experimental constó de 5 surcos distanciados a 80 cm, con unidades experimentales de un ancho de 4 × 5 m de largo para un total de 20 m² por tratamiento y 80 m² para las cuatro repeticiones, dando un total de 960 m² para todo el estudio (Figura 4a).

3.4.4.3. Momento, forma, número de aplicaciones e intervalo entre éstas. Las aplicaciones fueron foliares e iniciaron cuando se detectaron los primeros individuos y daños en las hojas ocasionadas por las larvas de GC, se

utilizó una mochila motorizada equipada con boquilla de cono hueco calibrada para aplicar un gasto de 400 L/ha., se realizaron 2 aplicaciones a intervalo de 7 días (Figura 4b, c).

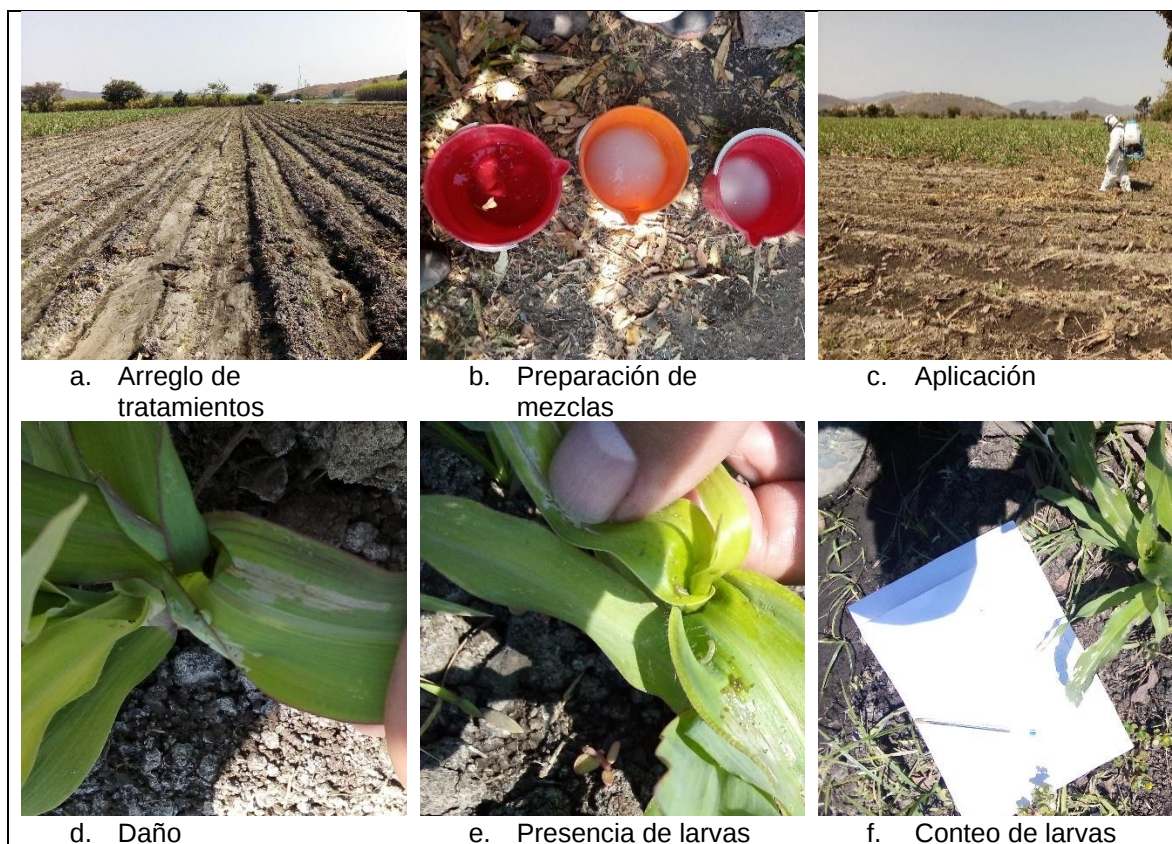


Figura 4. Evaluación de tratamientos en la fase de campo.

3.4.4.4. Parámetros de evaluación. De cada unidad experimental se tomaron al azar 10 plantas, donde se contabilizó el número de larvas vivas por planta (Figura 4 d,e,f).

3.4.4.5. Tipo, tamaño, método y frecuencia de muestreo. El muestreo fue tomando 10 plantas del surco medio de cada unidad experimental, dejando dos surcos entre tratamientos y un metro de distancia entre unidad experimental, la evaluación se realizó desenrollando las hojas de maíz cuidadosamente para contabilizar el número de larvas vivas por

planta. Se realizaron cuatro evaluaciones a intervalo de 7 días iniciando después de la segunda aplicación.

3.4.4.6. Método de evaluación. Para el análisis estadístico se le aplicó un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) por medio de un análisis combinado a través de las 4 evaluaciones, con el programa SAS. Así también una prueba de contrastes para conocer si los tratamientos tienen un efecto diferente en comparación con el testigo, y aplicados solos o en mezcla.

3.5. Resultados

3.5.3. Fase de laboratorio.

En la evaluación de laboratorio se observa (Figura 5) que el tratamiento control tuvo el menor porcentaje de mortalidad, al igual que los tratamientos de Barrier® e inex® que fueron similares, el tratamiento con mayor mortalidad fue Potencior 2x® con una media de 5.5 (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación de medias de mortalidad y peso de dos ensayos combinados como uno solo.

Tratamientos	Mortalidad (%)	Tukey (P= 0.05)	Peso (mg)	Tukey (P= 0.05)
Control	1	B*	740.91	A
Inex®	1.87	B	452.04	BC
Barrier®	1.5	B	605.56	AB
Potencior 2x®	5.5	A	312.88	C

*: Medias por columna con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey, P=0.05).

Por otro lado, en el peso promedio se observa que el tratamiento control presentó el mayor peso de larvas, seguido de Barrier® e inex® respectivamente, mientras que el tratamiento con menor peso fue Potencior 2x® (Tabla 3).

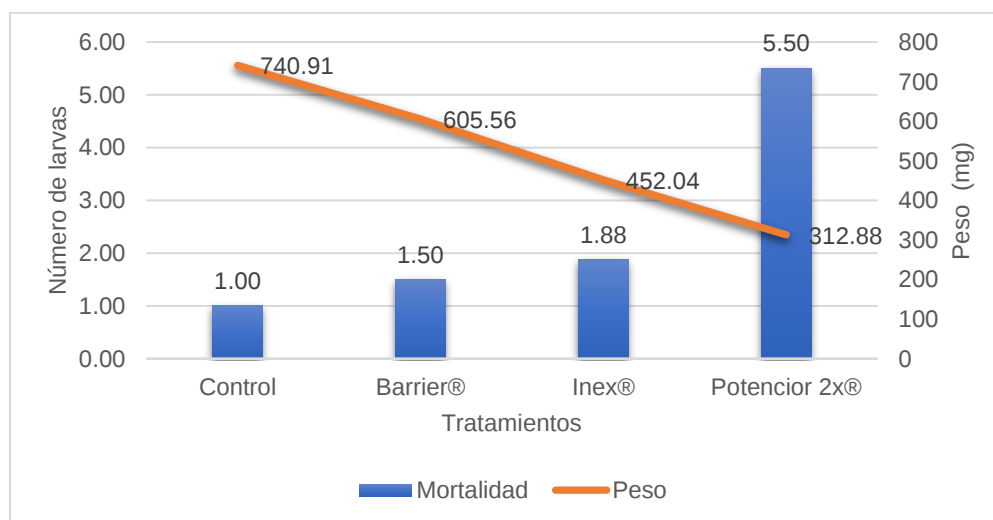


Figura 5. Comparación de mortalidad y peso realizadas en laboratorio.

3.5.4. Fase de invernadero.

Para el primer ensayo, el control presentó el mayor número de individuos encontrados con una media de 9.75, le siguen Barrier® con 9.18 y Potencior 2x® con 9 individuos encontrados por tratamiento, estos tres no presentaron diferencia significativa entre sí, en las diferencias de la prueba de contrastes (Tabla 5) de medias se obtuvo que fue mejor Potencior 2x® que Barrier®, al igual que las aplicaciones en mezcla en relación a aplicarse en forma individual, en la comparación de medias los tratamientos aplicados en mezcla con insecticidas para ambos productos (Barrier® y Potencior 2x®) y los tratamientos evaluados únicamente con insecticidas no se obtuvo diferencia significativa obteniendo medias de 0.25 a 1.25 individuos de GC por tratamiento evaluado (Tabla 4), sin embargo, se puede apreciar en la Figura 6 que el tratamiento con menor número de individuos encontrados es Coragen® + Barrier® .

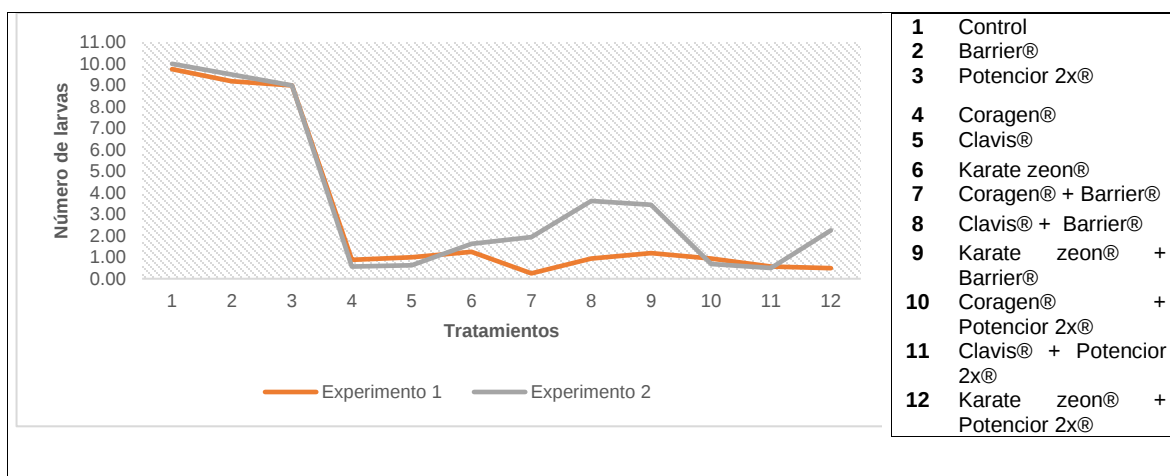


Figura 6. Medias de evaluación de los tratamientos en invernadero en los dos ensayos.

En el segundo ensayo del experimento el tratamiento control presentó el 100% de individuos vivos. Para Barrier®, en la evaluación sin mezcla, fue el segundo tratamiento con mayor cantidad de individuos presentes con una media de 9.5 individuos. Potencior 2x®, presentó una media de 9 larvas y en base a la prueba de contrastes fue mejor tratamiento que Barrier® (Tabla 6), mientras que en la

evaluación en mezcla con los insecticidas comerciales para el caso con Karate zeon® resultó de 2.25 individuos por tratamiento, Clavis® con 0.68 individuos y Coragen® con 0.5 individuos siendo este el mejor tratamiento. Los insecticidas evaluados solos, fueron de 1.62 para Karate zeon®, 0.62 con Clavis® y 0.56 con Coragen® (Tabla 6). En la prueba de contrastes se obtuvo que los tratamientos en mezcla tienen un efecto diferente a ser aplicados solos, siendo mejor aplicarlos de esta forma (Tabla 6).

Tabla 4. Datos de invernadero GLM Combinado a través de Evaluaciones para cada ensayo

N°	Tratamientos	Primer ensayo		Segundo ensayo	
		Número de individuos	Significancia Tukey 5%	Número de individuos	Significancia Tukey 5%
1	Control	9.75	A*	10	A*
2	Barrier®	9.18	A	9.5	A
3	Potencior 2x®	9	A	9	A
4	Coragen®	0.87	B	0.56	D
5	Clavis®	1	B	0.62	D
6	Karate zeon®	1.25	B	1.62	D
7	Coragen® + Barrier®	0.25	B	1.93	C
8	Clavis® + Barrier®	0.93	B	3.62	B
9	Karate zeon® + Barrier®	1.18	B	3.43	B
10	Coragen® + Potencior 2x®	0.56	B	2.25	D
11	Clavis® + Potencior 2x®	0.93	B	0.68	D
12	Karate zeon® + Potencior 2x®	0.5	B	2.25	C

*: Medias por columna con la misma letra, no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P=0.05$)

En la Figura 6 se muestran las dos evaluaciones donde se observa que, para el caso del testigo, Barrier® y Potencior 2x® presentaron resultados similares con diferencia no significativa en el análisis estadístico. De igual forma los insecticidas aplicados solos, Karate zeon®, Clavis® y Coragen® obtuvieron resultados similares.

Los tratamientos en mezcla presentaron diferencias de control para el caso de los tratamientos de Barrier® con Karate zeon®, Clavis® y Coragen® ya que en el segundo ensayo se observa un menor control de larvas de GC. Para los dos

ensayos, la mezcla de Barrier® con Karate zeon® no hubo mejora en el control de la plaga. Para el caso de Potencior 2x® se observan diferencias de control en los ensayos y una leve mejoría en mezcla con Clavis® y Coragen® para los dos ensayos del experimento, al presentar igual o mayor control en la evaluación de los tratamientos en invernadero.

Tabla 5. Contrastes de tratamientos de datos de invernadero GLM Combinado a través de evaluaciones del primer ensayo.

Contrastes	DF	Contraste SS	Cuadrado medio	Valor de F	Pr	Diferencia
Solos vs Mezcla	1	949.6302	949.6302083	846.85	<.0001	26.6875
Barrier® vs Potencior 2x®	1	0.3750	0.375	0.33	0.5641	0.375
Corangen® solo vs Corangen® en mezcla	1	2.3438	2.34375	2.09	0.1506	0.9375
Clavis® solo vs Clavis® Mezcla	1	0.0410	0.0416667	0.04	0.8474	0.125
Karate zeon® solo vs Karate zeon® Mezcla	1	1.7604167	1.7604167	1.57	0.2124	0.8125

Tabla 6. Contrastes de tratamientos de datos de invernadero GLM Combinado a través de evaluaciones del segundo ensayo.

Contrastes	DF	Contraste SS	Cuadrado medio	Valor de F	Pr	Diferencia
Solos vs Mezcla	1	475.0208	475.0208333	476.68	<.0001	18.875
Barrier® vs Potencior 2x®	1	82.5104	82.5104167	82.80	<.0001	5.5625
Corangen® solo vs Corangen® en mezcla	1	4.5938	4.59375	4.61	0.0336	-1.3125
Clavis® solo vs Clavis® Mezcla	1	25.0104	25.0104167	25.10	<.0001	-3.0625
Karate zeon® solo vs Karate zeon® Mezcla	1	15.8438	15.84375	15.90	0.0001	-2.4375

3.5.5. Fase de campo.

Para la evaluación en campo se realizó un análisis combinado con las cuatro evaluaciones donde Barrier® y el tratamiento control no presentaron diferencia significativa en todas las evaluaciones, mientras que Potencior 2x® si presentó diferencias al encontrarse menores cantidades de individuos después de las aplicaciones, aunque de forma general en la prueba de contrastes Barrier® resultó ser mejor que Potencior 2x® (tabla 8).

Para los tratamientos con insecticidas el mejor control lo presentó Coragen® al presentar poblaciones de 2.25, seguido de Clavis® con 2.75 y en tercer lugar Coragen® con 2.5 individuos durante las cuatro evaluaciones.

Tabla 7. Comparación de medias del número de individuos de Gusano cogollero (Spodoptera frugiperda) encontrados en campo, combinado a través de las cuatro evaluaciones.

Nº	Tratamientos	Número de individuos	Significancia Tukey (P= 0.05)
1	Control	6.31	A*
2	Barrier®	6.18	A
3	Potencior 2x®	5.25	AB
4	Coragen®	2.25	CD
5	Clavis®	2.75	CD
6	Karate zeon®	2.5	CD
7	Coragen® + Barrier®	1.37	D
8	Clavis® + Barrier®	1.56	D
9	Karate zeon® + Barrier®	2.37	CD
10	Coragen® + Potencior 2x®	1.81	CD
11	Clavis® + Potencior 2x®	1.56	D
12	Karate zeon® + Potencior 2x®	3.68	BC

*: Medias por columna con la misma letra, no son estadísticamente diferentes (Tukey, P=0.05)

Para el caso de Barrier® evaluado en mezcla los mejores tratamientos fueron con Coragen® con medias poblacionales de 1.56 y Clavis® con 1.37 individuos el cual también se potencializa en la prueba de contraste debido a que Clavis® en mezcla tiene un efecto diferente que aplicarlo solo (Tabla 8), para el tratamiento en mezcla con Karate zeon® si presentó diferencia significativa con media de 2.37 individuos.

Para Potencior 2x® evaluado en mezcla, el mejor tratamiento fue con Clavis® con media de 1.56 individuos y que al igual que con Barrier® tiene un efecto diferente que aplicarlo solo (Tabla 8), para los tratamientos evaluados con Karate zeon® y Coragen® presentaron diferencias significativas con 3.68 y 1.81, respectivamente.

En la Figura 7 se observa que durante las cuatro semanas de evaluación Potencior® + Clavis® presentó el menor número de individuos a los 28 días, al realizar la combinación de evaluaciones se muestra que los tratamientos Clavis® + Potencior 2x®, Clavis® + Barrier® y Coragen® + Barrier® fueron mejores en toda la evaluación al presentar menor población de GC.

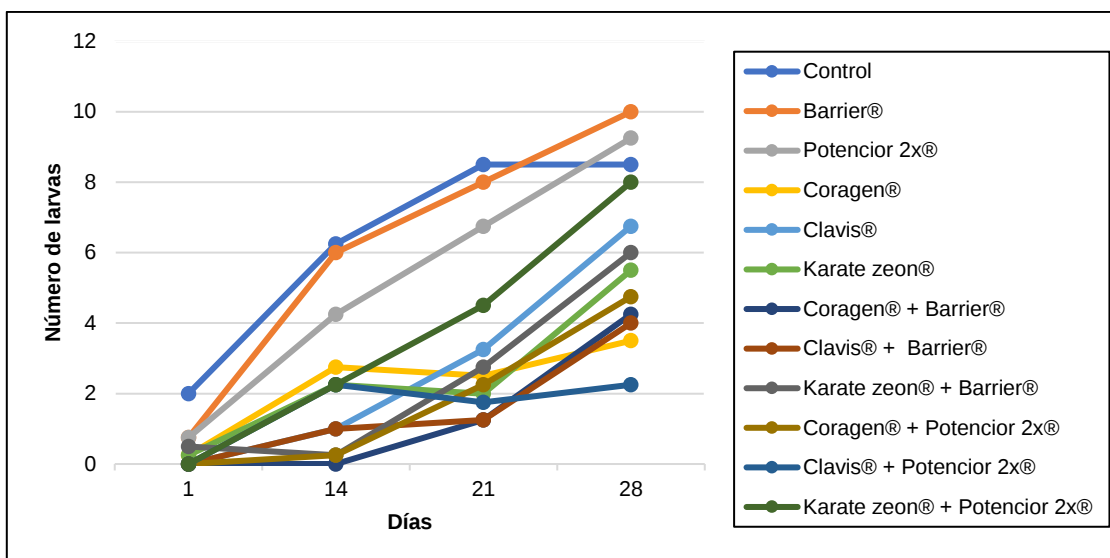


Figura 7. Número de larvas de Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) encontrados por semana en cada uno de los tratamientos, solos y en mezcla con insecticidas.

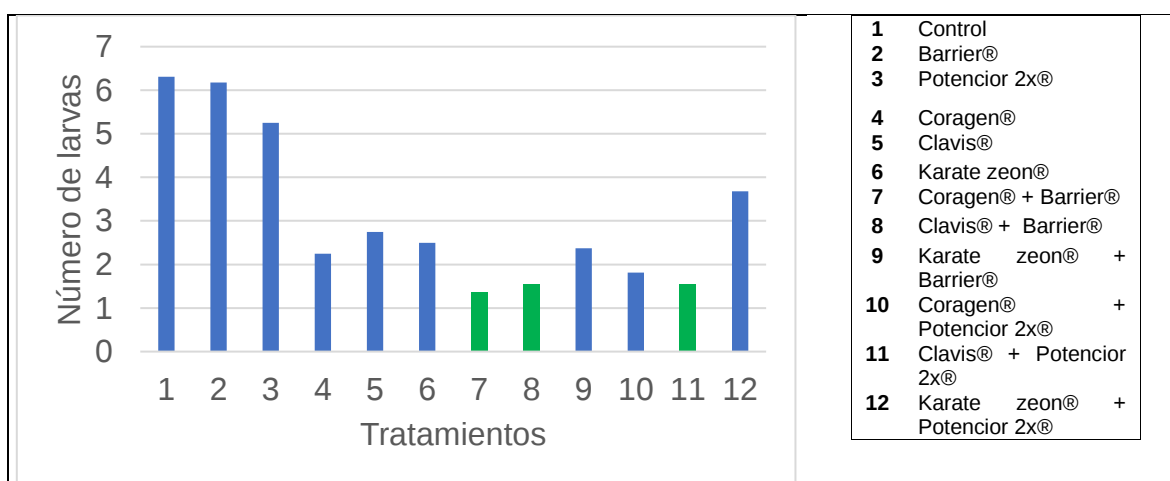


Figura 8. Gráfica de análisis Combinados a través de las cuatro Evaluaciones realizadas en campo.

Tabla 8. Comparación de medias del número de individuos de Gusano cogollero (Spodoptera frugiperda) encontrados en campo, combinado a través de las cuatro evaluaciones.

Contrastes	DF	Contraste SS	Cuadrado medio	Valor de F	Pr > F	Diferencia
Solos vs Mezcla	1	221.0208	221.0208	85.05	<.0001	12.875
Barrier® vs Potencior 2x®	1	8.1667	8.1667	3.14	0.0786	-1.750
Corangen® solo vs Corangen® en mezcla	1	4.5938	4.5938	1.77	0.186	1.312
Clavis® solo vs Clavis® Mezcla	1	15.0417	15.0417	5.79	0.0175	2.375
Karate zeon® solo vs Karate zeon® Mezcla	1	3.0104	3.0104	1.16	0.2838	-1.062

3.6. Discusión de resultados

3.6.3. Bioensayo laboratorio

En la evaluación de laboratorio, el producto Potencior 2x® expresó la mayor mortalidad y bajo peso, esto debido a que dentro de su formulación, se encuentran extractos que contienen metabolitos con efecto sobre plagas, este beneficio ha levantado interés para el desarrollo de productos de control (Bittner et al 2001), dentro de la formulación se encuentran metabolitos del género *Allium* el cual aparte del efecto antimicrobiano (contra bacterias y hongos), se sabe que también cuenta con efecto repelente al tener un olor característico o efecto irritante (Corrales y Reyes, 2014; Silva et al., 2002). El otro extracto pertenece a la familia Euphorbiaceae compuesto de diterpenos, los cuales tienen propiedades insecticidas que ejerce inanición de la alimentación, dentro de esta familia se ha tenido más interés en el género *Euphorbia* (Cutler y Schmutterer, 1999; Pérez et al., 2008), un estudio realizado por Pérez et al., (2008) encontró que *E. cotinifolia* tuvo un control de 56.7% contra lepidópteros encontrados en la palma aceitera. Un tercer ingrediente del producto son los extractos de chile (*Capsicum annuum*), cuyo compuestos de interés son los capsaicinoides debido a que presentan efectos tóxicos sobre plagas existiendo productos comerciales como insecticidas (Eich, 2008)., Navarro, (2013) estudió el control de GC con el uso de extractos de *Capsicum annuum* concluyendo que es efectiva, mostrando una disminución en la incidencia y con una efectividad de 70%, lo anterior nos da la pauta que la composición de Potencior 2x® puede influir en mejorar eficacias en mezcla con insecticidas, al sumar el efecto que tienen los extractos contra las plagas y para este caso, para el control de GC.

Otra de las variables evaluadas fue el peso que tuvo relación con respecto al número de individuos muertos, el cual se puede explicar por la adaptación y aceptación de la dieta mezclada con los productos, se puede asumir que una larva con mayor peso refiere a una larva que tendrá un mayor tiempo de vida en el ambiente (Arévalo et al., 2009). El tratamiento control que fue solo agua destilada

vertida en los pozos, tuvo el mayor promedio de peso, al no tener un activo con efecto sobre las larvas, Barrier® e inex® expresaron un peso menor al control, el cual puede deberse a que la mezcla con la dieta artificial no fuera agradable, incitando a disuadir la alimentación y ocasionando un bajo peso, por otro lado los extractos naturales de Potencior 2x® al contener extractos naturales como se explicó anteriormente, tiene efecto de repelencia contra insectos haciendo que se deje de alimentar, tenga bajo peso y muera por inanición.

3.6.4. Evaluación invernadero y campo

La fase de invernadero para los dos experimentos se presentaron diferencias en la población de larvas con los tratamientos en mezcla de Barrier® con los insecticidas al igual que Potencior 2x® con Karate zeon®, Bohmont, (1990), menciona que para mezclar productos es preciso tomar en cuenta ciertos factores que pueden influir de forma importante en la efectividad biológica del insecticida, estos son: compatibilidad física, que refiere a observar una mezcla homogénea, no existir una ruptura, ni una disociación por diferencia de pesos, o una separación aislada que termina depositándose al final del tanque, a veces es difícil observar la incompatibilidad debido a que la mezcla se vuelve opaca, para el caso de la compatibilidad química existen mezclas que merman el desempeño de otros ingredientes de tal manera que se degradan entre ellos o forman nuevas sustancias. Barrier® es un producto formulado en suspensión soluble, lo que indica que contiene partículas pequeñas en un medio líquido, lo que obliga a la agitación constante para no precipitar al final del recipiente. Un tercer factor se da por la intensidad de energía luminosa, cuando es mayor hay ruptura de enlaces químicos que hace que el producto no sea tan efectivo, en las recomendaciones de etiqueta de los insecticidas como de Karate zeon® se menciona que no han encontrado incompatibilidad en agroquímicos usados comúnmente, pero recomiendan no aplicar en horas de calor intenso.

Como se ha mencionado para el caso de Potencior 2x®, esta formulado con extractos vegetales que, de acuerdo con los resultados de la fase de laboratorio,

tiene efecto de mortalidad, esto se pudo observar también en invernadero y campo al presentar bajas en la población de GC en relación al control y de acuerdo con Liu y Lin, (2003), los extractos también pueden actuar como sinergistas con insecticidas sintéticos, aunado de que también en la prueba de contrastes fue mejor producto; en la fase de campo, en mezcla con el insecticida Clavis® mejoró su eficacia teniendo efecto de control por al menos 28 días con dos aplicaciones a intervalos de 7 días, en la fase de invernadero se observó controles casi similares en los dos experimentos ya que la media poblacional estuvo entre 0.68-0.93, utilizando la dosis baja 0.35 L/ha de acuerdo con la recomendada en su etiqueta comercial, esta combinación también nos permite no incrementar la dosis de producto.

Para el caso de Barrier®, en la fase de campo en mezcla con Clavis® y Coragen® en la comparación de medias presentó un mejor control en relación con la evaluación de los insecticidas solos, en la formulación se encuentra el calcio y el silicio, para el caso del primer ingrediente se ha identificado a los iones como posibles mensajeros celulares frente a la respuesta a estreses bióticos y abióticos, como la deshidratación y el daño por insectos, estos iones se acumulan dentro de las células dañadas y activan moléculas de calmodulina y otras proteínas sensibles al calcio, induciendo la activación de pasos metabólicos y la transcripción de genes relacionados con las defensas (Zavala, 2010). Así también se ha estudiado que los nutrientes minerales pueden aumentar o disminuir la resistencia de las plantas ante las plagas (Castellanos *et al.*, 2015), el segundo ingrediente, el silicio, contribuye a la reducción de la intensidad del ataque de plagas formando una barrera mecánica, y por su acción como inductor del proceso de resistencia (Goussain *et al.*, 2002; Fawe *et al.*, 2015). En un estudio para evaluar los efectos del silicio aplicados al follaje y al suelo en interacción con el regulador del crecimiento de insectos lufenurón en el manejo de *S. frugiperda* en el maíz, fueron realizados ensayos en condiciones de laboratorio e invernadero donde se determinó que la interacción de silicio y lufenurón en el manejo de *S. frugiperda* fue positiva en relación a la aplicación del insecticida solo, lo que se atribuyó a la resistencia mecánica conferida a la hoja por las láminas de silicio depositadas en estas (Neri *et al.*, 2005; Neri *et al.*, 2009). Massey y Hartley (2006), mencionan que el silicio aumenta la dureza del

follaje, disminuyendo la digestibilidad y la patabilidad, otro efecto es el desgaste de las piezas bucales reduciendo su alimentación y por ende su crecimiento y peso. En las evaluaciones de invernadero y campo no se evaluó los parámetros de daño en la planta o peso de las larvas como en laboratorio, siendo que fuese probable que, aunque estuviesen en planta el nivel de daño de la planta fuese menor. Los estudios anteriores demuestran que los ingredientes de calcio y silicio presentes activan defensas de la planta y mejoran la actividad de los ingredientes activos, por lo que se le puede atribuir que la mezcla con Barrier ayuda en el control de GC, al menos en los tratamientos de Clavis® + Potencior 2x®, Clavis® + Barrier® y Coragen® + Barrier®.

3.7. Conclusiones

El producto Potencior 2x® si tiene un efecto significativo en la mortalidad y peso de larvas de Gusano cogollero al ingerir alimento impregnado con dicho producto en condiciones de laboratorio.

El producto Barrier® mejora la eficacia de los insecticidas Clavis® y Coragen® en campo a dosis de 350 y 100 mL⁻¹ ha.

El producto Potencior 2x® en campo mejora la eficacia del insectida Clavis® en dosis de 350 mL⁻¹ ha.

La mezcla de Potencior 2x® + Clavis®, Barrier® + Clavis® y Barrier® + Coragen® pueden tener un efecto de sinergismo y puede ser utilizado en un manejo integral de plagas, aunque se requiere de más estudios para afirmar dicho efecto.

3.8. Revisión de literatura

Agrisolver. (2019). Productos para control. Disponible en: <https://www.agrisolver.com/>. (Consultado en marzo de 2022).

Arévalo, H., Zenner, A. (2009). Evaluación de dietas merídicas para la cría en laboratorio de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica 12 (1): 79-90.

Bao, H., Shao, X., Zhang, Y., Deng, Y., Xu, X., Liu, Z. y Li, Z. (2016). Sinergista específico para insecticidas neonicotinoides: IPPA08, un compuesto cis-neonicotinoide con una subestructura única de puente de oxígeno. Revista de química agrícola y alimentaria, 64 (25).

Bittner, M., Alarcón, J., Aqueveque, P., Becerra, J., Hernández, V., Hoeneisen, M., & Silva, M. (2001). Estudio químico de especies de la familia euphorbiaceae en Chile. *Boletín de la Sociedad Chilena de Química*, 46(4), 419-431. <https://dx.doi.org/10.4067/S0366-16442001000400006>.

Bohmont, L. (1990). The standard pesticide Users Guide. Prentice- Hall, Inc. A simon & schuster company Englewood cliffs, New Jersey. Printed E. U. Pag. 498.

Bullangpoti, V., Wajnberg, E., Audant, P., Feyereisen, R. (2012). Actividad antialimentadora de extractos de hojas senescentes de *Jatropha gossypifolia* y *Melia azedarach* en *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) y su uso potencial como sinergistas. *Pest Management Science*, 68 (9), 1255–1264. doi: 10.1002 / ps.3291.

Castellanos, L., De Mello, R., Silva, C. N. (2015). El silicio en la resistencia de los cultivos a las plagas agrícolas. *Cultivos Tropicales*, 2015, vol. 36, no. especial, pp. 16-24.

Corrales, I.E., Reyes, J.J. (2014). Actividad antimicrobiana y antifúngica de *allium sativum* en estomatología. Universidad Católica Argentina. Revista 16 de abril. 2014; (254):59-68.

Cuttler, P. y H. Schmutters. 1999. Natural pesticides from the Neem seed and other plants. *J. Ethnopharmacology* 333, 11-19.

Eich, E. (2008). Solanaceae and Convolvulaceae: Secondary Metabolites. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany. 637 p.

Fawe, A., Menzies, J. G., Chérif, M., Bélanger, R. R. (2001) "Silicon and disease resistance in dicotyledons" [en línea]. En: ed. L.E. Datnoff G. H. S. and G. H. K., Studies in Plant Science, edit. Elsevier, 2001, pp. 159-169.

Fazolin, M., Vidal, J.L., Medeiros, A.F., Silva, D., Paiva, L. (2017). Alternative synergistic for acetylcholinesterase inhibitors insecticide. Agro@mbiente On-Line, 11, 232–240.

FMC. (2019). Productos insecticidas. Disponible en <https://www.fmcagroquimica.com.mx/>. (Consultado en marzo de 2022).

González, A., Ávila, J. F. (2014). El maíz en Estados Unidos y en México: Hegemonía en la producción de un cultivo. Argumentos (México, D.F.), 27(75), 215-237.

Goussain, M. M., Moraes, J. C., Carvalho, J. G., Nogueira, N. L. y Rossi, M. L. (2002) "Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)". Neotropical Entomology, vol. 31, no. 2., pp. 305-310.

Liu, X.; Lin, Y. (2003). Biological activity of capsaicin and its joint action with other pesticides. Chinese Journal of Pesticide Science 5:94–96. doi:cnki:ISSN:1008-7303.0.2003-02-013.

Massey, F. P., Hartley, S. E. (2006). Experimental demonstration of the antiherbivore effects of silica in grasses: Impacts on foliage digestibility and vole growth rates. Proceedings of the Royal Society B, 273(1599), 2299-2304. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3586>.

Navarro, M.A. (2013). Control de *Spodoptera frugiperda* en cultivos de maíz (*Zea mays* L) usando extractos de ají (*Capsicum annum*). Departamento de Ciencias Básicas, Facultad de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad de los Llanos. Momentos de Ciencia 10:(2).

Neri, D. K. P., Gomes, F. B., Moraes, J. C., Góes, G. B., Marrocos, S. (2009). "Influência do silício na suscetibilidade de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith)

(Lepidoptera: Noctuidae) ao inseticida lufenuron e no desenvolvimento de plantas de milho”. *Ciência Rural*, vol. 39, no. 6, septiembre de 2009, pp. 1633-1638.

Neri, D. K. P., Moraes, J. C., Gavino, M. A. (2005). “Interação silício com inseticida regulador de crescimento no manejo da lagartado-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em milho”. *Ciência e Agrotecnologia*, vol. 29, no. 6, diciembre de 2005, pp. 1167-1174.

Pérez, D., Lannacone, J. (2008). Mortalidad y repelencia en *Eupalamides cyparissias* (Lepidoptera: Casteniidae) plaga de la palma aceitera *Elaeis guineensis*, por efecto de diez extractos botánicos. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 67: 41-48.

SENASICA. (2021). Gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), Ficha técnica. Dirección General de Sanidad Vegetal Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria.

Silva, G., Lagunes, A., Rodríguez, J. C., Rodríguez, D. (2002). Insecticidas vegetales: Vieja-nueva alternativa en el control de plagas. *Manejo Integrado de Plagas (CATIE)* 61 :25-29.

Snoeck, S., Greenhalgh, R., Tirry, L. (2017). The effect of insecticide synergist treatment on genome-wide gene expression in a polyphagous pest. *Sci Rep* 7, 13440.

Syngenta. (2022). Productos Syngenta. Disponible en <https://www.syngenta.com.mx/>. (Consultado en marzo de 2022).

Tacsa. (2022). Diccionario de Especialidades Agroquímicas. Disponible en https://tacsa.mx/DEAQ/src/productos/260_58.htm. (Consultado en marzo de 2022).

Velsimex, (2022). Productos Velsimex. Disponible en: <https://www.velsimex.com/>. (Consultado en marzo de 2022).

Yáñez, G. 2007. Manual de producción de maíz para pequeños agricultores. FAO, INAMHI, MAG. Quito, Ecuador. 23 p.

Zavala, J. (2010). Respuestas inmunológicas de las plantas frente al ataque de insectos. Universidad Católica Argentina. Vol. 20 (117).