



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSGRADO DE FITOSANIDAD

ENTOMOLOGÍA Y ACAROLOGÍA

**MORTALIDAD DE ESTADOS
INMADUROS DE *Spodoptera
frugiperda* (LEPIDOPTERA:
NOCTUIDAE) EN CAMPO**

ERENDIRA ORTIZ ANDRADE

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: “**MORTALIDAD DE ESTADOS INMADUROS DE *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) EN CAMPO**” realizada por el (la) estudiante: “**Erendira Ortiz Andrade**” bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
FITOSANIDAD
Entomología y Acarología.

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO


Dr. J. Refugio Lomeli Flores

ASESOR


Dr. Esteban Rodríguez Leyva

ASESOR


Dr. Fernando Tamayo Mejía

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, Junio de 2022

**MORTALIDAD DE ESTADOS INMADUROS DE *Spodoptera frugiperda*
(LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) EN CAMPO**

Erendira Ortiz Andrade, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022

RESUMEN

Spodoptera frugiperda es la plaga más importante de maíz en el mundo; sin embargo, en ciertas localidades de México, donde no se aplican insecticidas, no siempre se tienen daños y disminución en rendimiento del cultivo por esta plaga. Una hipótesis para tratar de explicar esto es el papel del control natural en algunos agroecosistemas. Los objetivos de este trabajo fueron: determinar los principales factores de mortalidad en campo de los estados inmaduros de *S. frugiperda*, y determinar el daño que ocasiona la plaga en plantas de maíz sin factores de control natural. Los experimentos se desarrollaron en campo e invernadero y se utilizó la escala de Davis para determinar el daño en plantas. La mortalidad de huevos en campo fue de 38.7% a 44%, y se atribuyó a depredadores, viento y humedad relativa (desprendimiento de masas). La supervivencia de larvas en plantas en invernadero fue 49.7%; mientras que en campo fue 6%, y se registró parasitismo de 9.5% por *Campoletis sonorensis* y 3% por *Winthemia occidentis*. La mortalidad en pupas fluctuó de 31% a 63%, y se atribuyó a hormigas depredadoras del género *Solenopsis*. En relación con el daño en plantas en invernadero (larvas sin factores de control natural), el 100% presentaron daños con nivel de 4 a 7, en campo menos del 10% de las plantas registraron daño y éste fue menor a 7. Los factores bióticos y abióticos tuvieron un impacto relevante en la mortalidad de *S. frugiperda* en un agroecosistema sin aplicación de insecticidas, lo que destaca el papel del control natural en las poblaciones plaga en algunas localidades y la necesidad de su consideración en propuestas de manejo.

Palabras claves: Gusano cogollero, maíz, control natural, daño en follaje.

MORTALITY OF IMMATURE STATES OF *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) IN THE FIELD

Erendira Ortiz Andrade M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022

ABSTRACT

Spodoptera frugiperda is the most important pest in maize worldwide; however, in certain locations in Mexico, where insecticides are not applied, damages and yield reduction due to this pest are not always significant. One hypothesis that explains this is the role of natural control, so the objectives of this work were: to determine the main mortality factors in immature stages of *S. frugiperda* under field conditions. Field and greenhouse experiments were carried out in Texcoco, State of Mexico in 2021, and the Davis scale was used to determine *S. frugiperda* damage on plants. In field conditions, egg mortality was from 38% to 44% due to predators and mass detachment by the wind. Larval survival was around 6% in the field, and we recorded 12.5% parasitism; 9.5% by *Camponotus pennsylvanicus*, and 3% by *Winthemia occidentis*; while larval survival on greenhouse maize reached 49.7%. Under field conditions, pupal mortality ranged from 31% to 63%, caused by predatory ants of the genus *Solenopsis*. About the damage to plants, under greenhouse conditions, when 100 *S. frugiperda* larvae were released in 25 plants, 100% presented damage reaching levels of 4 to 7, meanwhile in the field only 5% to 9% of the plants registered damage and it was minor than 7. The biotic and abiotic factors had a relevant role in the mortality of *S. frugiperda* in an agroecosystem without the application of insecticides, which highlights the role that natural control plays in pest populations.

Keywords: fall armyworm, *Zea mays*, natural control, foliage damage.

DEDICATORIA:

A mi abuelo **Luis Pascual Martínez** y a mi abuela **Rosa Campos García** por el amor y apoyo incondicional.

A mi padre **Juan Ortiz Campos** por estar siempre atento de mí.

A mi pequeño hijo **A. Xicotencatl Alberto Ortiz** por ser mi mayor motivación.

AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por la beca completa para realizar mis estudios de maestría.

Al **Colegio de Postgraduados**, por la oportunidad que se me ofreció para continuar con mi formación profesional y realizar mis estudios de maestría.

Al **Campus Montecillo** y al **Posgrado de Fitosanidad Entomología y Acarología**, por brindarme todos los recursos y las herramientas necesarias para llevar a cabo el proceso de investigación.

Al **Dr. J. Refugio Lomeli Flores**, por ser mi consejero y ayudarme en mi formación académica. Gracias por su paciencia, guía en el trabajo experimental y de escritura.

Al **Dr. Esteban Rodríguez Leyva**, por ser parte de mi consejo. Por su apoyo en la revisión de la redacción de mi trabajo de investigación además de resolver mis dudas.

Al **Dr. Fernando Tamayo Mejía**, por ser parte de mi consejo y ayudarme con la revisión del manuscrito.

Al **Dr. Lauro Soto Rojas**, por su apoyo con el análisis estadístico de este trabajo.

Al **M.C. Jorge M. Valdez Carrasco**, por su ayuda en la toma de fotografías para la investigación.

A la **Dra. Dulce Azucena Hernández Zetina**, del Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria (SADER-SENASICA), por el apoyo en la identificación de los taquínidos.

A las **M.C. Susana E. Rodríguez Rodríguez** y **Adriana Acevedo Alcalá**, por la ayuda en el cuidado de las crías de insectos, por su amistad y los consejos brindados.

A los estudiantes de servicio social **Betsabé Martínez Salas** y **Jesús Ramírez Rubio** por su apoyo en los experimentos de campo.

Al **M. C. Daniel Ramírez Cerón**, por el apoyo en la producción de plantas en el invernadero.

A mi familia **Pascual Campos** y **Ortiz**, por su apoyo en todos mis proyectos y este no fue la excepción.

A mis amigas **Erica**, **Eduarda**, **Adriana A.** y **Gelacia**, gracias por el apoyo a pesar de la distancia, estoy feliz de haber coincidido con ustedes en esta vida.

A los amigos que hice durante mi estancia en el Colegio: **Mario**, **Reyna**, **Sandra** y **Susana**.

A las chicas que me ayudaron a cuidar a mi hijo: **Nere**, **Yus** e **Irma**.

Al personal administrativo **Silvia**, **Deniss** y **Tania** por la ayuda en mis trámites durante mi formación.

A todas las personas que de alguna manera contribuyeron con la realización de este trabajo.

Al pueblo de México...

¡Muchas gracias!

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
2.1 Objetivos	3
2.2. Hipótesis.....	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA	4
3.1 Origen y hospedantes de <i>Spodoptera frugiperda</i>	4
3.2 Daños e importancia.....	4
3.3 Biología y comportamiento.....	4
3.4 Morfología.....	5
3.4.1 Huevo	5
3.4.2 Larva.....	5
3.4.3 Pupa	6
3.4.4 Adulto.....	6
3.5 Control de <i>Spodoptera frugiperda</i>	6
3.6 Control cultural	7
3.7 Control químico	7
3.8 Control biológico	8
4. MATERIALES Y MÉTODOS	10
4.1 Plantas y cría de insectos.....	10
4.2 Huevos centinelas para experimentos en campo.....	10
4.3 Exposición de centinelas en campo.....	11
4.4 Porcentaje de mortalidad en centinelas	11
4.5 Análisis de datos	12
4.6 Exposición de larvas en campo	12

4.7	Análisis de datos	13
4.8	Exposición de pupas en campo	13
4.9	Análisis de datos	14
4.10	Daño de <i>S. frugiperda</i> en maíz excluyendo factores de mortalidad natural (experimento en invernadero)	14
4.11	Análisis de datos	15
5.	RESULTADOS	16
5.1	Factores de mortalidad en huevos centinelas en campo.....	17
5.2	Factores de mortalidad de larvas en campo	18
5.3	Factores de mortalidad de pupas en campo.....	19
5.4	Daño de <i>S. frugiperda</i> en maíz excluyendo factores de mortalidad natural (experimento en invernadero)	20
6.	DISCUSIÓN	23
7.	CONCLUSIONES	27
8.	LITERATURA CITADA	28

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Frecuencia del número de capas y huevos de <i>Spodoptera frugiperda</i> en maíz en etapa vegetativa V4 en invernadero.	16
Cuadro 2. Porcentajes de daño en plantas y factores de mortalidad (media \pm EE) de las larvas de <i>Spodoptera frugiperda</i> por etapa fenológica del maíz.	19
Cuadro 3. Factores de mortalidad (media \pm EE) de las pupas de <i>Spodoptera frugiperda</i> por etapa fenológica del maíz.	20

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Relación entre el área ajustada de la masa de huevos de *Spodoptera frugiperda* y el número de huevos en cada masa. 17
- Figura 2.** Masas centinelas de *Spodoptera frugiperda* expuestas en campo; a y b masa de huevos protegidos con escama abundante (a = antes b = después de la exposición); c y d) masa de huevos con pocas escamas (c = antes d = después de la exposición). 18
- Figura 3.** Relación del número de huevos y el porcentaje de daño ponderado de *Spodoptera frugiperda* en plantas de maíz, de acuerdo con la escala de Davis (Davis et al., 1992)..... 21
- Figura 4.** Distribución de frecuencia por nivel de daño de *Spodoptera frugiperda* en maíz en invernadero, escala de Davis (Davis et al., 1992), sin factores naturales de mortalidad. 21

1. INTRODUCCION

Spodoptera frugiperda (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), o gusano cogollero, es nativo del trópico y neotrópico americano (Liao *et al.*, 2019 y Dan-Dan *et al.*, 2021), y es la plaga más importante del maíz por las pérdidas que ocasiona en todas las etapas de crecimiento de éste (Hruska, 2019; Jaramillo-Barrios *et al.*, 2020): también se alimenta de otras mono y dicotiledóneas de importancia económica como arroz y algodónero (Adjaoke *et al.*, 2021). Aunque es de reciente introducción en África, se estima que *S. frugiperda* puede reducir la producción de maíz entre 21 y 53%, aun cuando se realicen actividades de control (Day *et al.*, 2017; Adjaoke *et al.*, 2021). Tambo *et al.* (2021) documentan en Zimbabue que el impacto del gusano cogollero, en un nivel severo de infestación, reduce el ingreso familiar per cápita en 44% y aumenta la probabilidad de que un hogar experimente hambre en 17%. La tasa de infestación y las pérdidas económicas que causa esta plaga han ocasionado que los productores utilicen piretroides y organofosforados sintéticos como la táctica de control químico más frecuente; sin embargo, *S. frugiperda* tiene alta capacidad para generar resistencia a muchos de los productos utilizados para su control (Yu, 1992; Morillo y Notz, 2001; León-García *et al.*, 2012). El uso indiscriminado de los insecticidas aumenta la selección de poblaciones resistentes, además de provocar otras consecuencias indeseables como la eliminación de sus enemigos naturales (Albert *et al.*, 2005), y efectos negativos en la salud humana (Devine *et al.*, 2008). Los enemigos naturales son la primera defensa contra las especies de plagas invasoras (Firake *et al.*, 2020). En diversos trabajos se ha demostrado que *S. frugiperda* presenta un nivel de mortalidad natural elevado debido a parasitoides y depredadores (Jaraleño-Teniente *et al.*, 2020; González-Maldonado *et al.*, 2020; Caniço *et al.*, 2020; Serrano-Domínguez *et al.*, 2021; Abang *et al.*, 2021) y cuando esto ocurre no es necesario aplicar productos químicos para su control (Carrillo-Sanchez, 1993), por lo que deberían aprovecharse estos organismos como una alternativa ecológica (control natural), la cual es más segura, económica y sustentable (Arredondo-Bernal *et al.*, 2020). En Venezuela y Colombia, para el control biológico de *S. frugiperda*, se han utilizado parasitoides de huevos como *Telenomus remus* Nixon (Hernandez *et al.*, 1989; Cave, 1999; Ferrer, 2001; Van Lenteren, 2003). Por otro lado, *Trichogramma pretiosum* Riley se usa en Colombia, Cuba y México para controlar a varios lepidópteros incluyendo a *S. frugiperda* (Van Lenteren, 2003). México ocupa el cuarto lugar a nivel mundial en producción masiva de especies del género *Trichogramma* (Gómez *et al.*, 2006), y la liberación de estos parasitoides se ha

dirigido principalmente para el control de los barrenadores de tallo en caña de azúcar (Arredondo-Bernal, 1994). Hasta ahora el impacto de *Trichogramma* sobre la mortalidad de *S. frugiperda* a nivel de campo parece ser insignificante (Jaraleño-Teniente *et al.*, 2020, 2021); Carneiro y Fernandes (2012) señalan que, en Brasil, las liberaciones de *T. remus* por sí solo no tuvo éxito sobre el control del *S. frugiperda*. En campo no solo actúan los parasitoides de huevo, ya que se han registrado más de 390 enemigos naturales de esta plaga (Bahena y Cortez, 2015) y su mortalidad natural puede ser muy alta (Hruska, 2019). En estudios de campo *S. frugiperda* causó una pérdida en el rendimiento del grano de maíz de 54.5% cuando no se permitió la acción de sus enemigos naturales Figueiredo *et al.* (2006).

Hoballah *et al.* (2004) registraron 34% y 80% de mortalidad natural en larvas pequeñas del gusano cogollero durante dos años en México. Para determinar el impacto de los enemigos naturales en condiciones de campo se pueden realizar diversos estudios; por ejemplo, la exclusión química o física de los enemigos naturales, la comparación de lotes con y sin liberación de agentes de control biológico o tablas de vida planificados que permitan determinar la contribución de los factores bióticos y abióticos en la supresión de los diferentes estados de desarrollo de una especie (Bellows *et al.*, 1992). Por ejemplo, en Brasil se realizaron tabla de vida para determinar cuáles eran las fuentes de mortalidad en huevo y larvas pequeñas de *S. frugiperda*; se registró 73% y 83% mortalidad de huevos y se asumió que fue por inviabilidad, desplazamiento y depredación (Varella *et al.*, 2015). En larvas pequeñas la mortalidad fue > 95% debido a la depredación, ahogamiento y daño mecánico por lluvia (Varella *et al.*, 2015). En México es frecuente que, a pesar de la presencia de la plaga en campo, se logre cosecha de maíz sin la aplicación de insecticidas sintéticos en algunos agroecosistemas (Carrillo-Sanchez, 1993). Esto se atribuye a diferentes factores de mortalidad, tanto bióticos como abióticos, pero no hay datos cuantitativos que apoyen esta hipótesis; en el presente trabajo se establecieron los objetivos siguientes:

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

Determinar los principales factores de mortalidad en los estados inmaduros de *S. frugiperda* en campo.

Determinar el daño que ocasiona la plaga en plantas de maíz sin factores de control natural.

2.2. Hipótesis

Existen factores naturales de mortalidad que disminuyen la población de *S. frugiperda* en condiciones de campo y estos varían de acuerdo al estado fenológico del cultivo.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Origen y hospedantes de *Spodoptera frugiperda*

Spodoptera frugiperda es una plaga polífaga originaria del trópico y subtropico americano, y se conocen al menos 186 plantas hospedantes de ésta; los hospedantes pertenecen a 42 familias, entre las más importantes están Poaceae 35%, Fabaceae 11.3% y Solanaceae y Asteraceae 4.3% (Montezano *et al.*, 2018). Su hospedante preferencial es el maíz, al que ataca en niveles variables en las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Casmuz *et al.*, 2010). Una vez que el gusano cogollero encuentra condiciones favorables para la reproducción, se establece sin posibilidad de erradicación, se alimenta y se reproduce tanto de los cultivos de importancia agrícola como de plantas silvestres (FAO, 2020).

3.2 Daños e importancia

El gusano cogollero representa una amenaza para la seguridad alimentaria en muchos países por su alta capacidad reproductiva, polifagia, y ciclo de vida corto. No presenta diapausa, migra a otros lugares y ocasiona daños en varios cultivos (Guo *et al.*, 2020; Matova *et al.*, 2020). El nivel de daño que ocasiona depende de su densidad poblacional, el estado fenológico de la planta y del agroecosistema (FAO, 2020). Lezaun (2014) menciona que las larvas trozan los tallos de las plantas cuando recién emergen, unas semanas después, en etapas avanzadas, defolian la planta; también dañan a la flor masculina e interrumpen los procesos normales de la polinización, también puede atacar la mazorca.

3.3 Biología y comportamiento

La duración de los diferentes estadios del gusano cogollero depende de la temperatura, el ciclo completo dura aproximadamente entre 24 y 40 días (Villareal-Mera, 2018). La hembra coloca los huevos en masa en la parte baja de la planta de maíz y en el envés de la hoja, las masas de huevos son más abundantes en la etapa V4 y V6 de la planta (Murúa *et al.*, 2009). Cuando los huevos eclosionan, al salir las larvas permanecen agrupadas por tres días aproximadamente, refugiadas en la base de las hojas que se encuentran en la parte baja de la planta. Las neonatas se alimentan del corion de los huevos, si el hospedero no es el adecuado, se desplazan a otros lugares en busca de alimento, con un hilo de seda que las mismas producen. En

los primeros estadios, las larvas son de hábito diurno y pueden convivir más de una en una misma planta; mientras que en los últimos estadios son más activas de noche. Presentan hábitos canibalísticos por lo que es frecuente que solo se presente una larva por cogollo (Lezaun, 2014), al pupar se entierran en el suelo entre 3 y 5 cm de profundidad, donde forman una cámara pupal, allí permanecen por 7-13 días, luego emergen los adultos de coloración oscura grisácea, y son de hábitos crepusculares o nocturnos, por lo que son atraídas por la luz. Los adultos se desplazan a grandes distancias (Lezaun, 2014).

3.4 Morfología

3.4.1 Huevo

Una hembra llega a poner de 1500-2000 huevos durante toda su vida y 100-200 huevos en una puesta (Luginbill, 1928; Sparks, 1979; Huerta-Valdovinos *et al.*, 2016). El huevo mide de 0.3 a 0.4 mm de diámetro, tiene forma de cúpula, en la base es plana y arriba es plana formando un ápice redondeado (Lira-Gómez, 2016), y son puestos por la hembra en dos a cuatro capas, cubriéndolos con escamas (CABI, 2020). Los huevos tienen un periodo de incubación que de 2-4 días (Murúa y Virla, 2004a).

3.4.2 Larva

Spodoptera frugiperda presenta seis ínstaes, los primeros ínstaes son verdes con la cabeza oscura con un tamaño de 1.68 mm de longitud, en el segundo ínstar se tornan anaranjados con 3.5 mm de longitud, mientras que el tercer ínstar se forman líneas blancas laterales, el dorso a color marrón claro y miden 6.35 mm de longitud, en el cuarto a sexto ínstar se define la cápsula cefálica, cambia a marrón rojiza y el cuerpo de color marrón oscuro, en el quinto ínstar su dorso es de color marrón grisáceo con la cabeza marrón oscuro y mide 17.2 mm de longitud; mientras que en el último ínstar el dorso sigue siendo de color marrón grisáceo y la cabeza marrón rojizo moteado con manchas blancas (Luginbill, 1928; Capinera, 2017; Igyuve *et al.*, 2018). Las larvas del gusano cogollero se identifican por las tres franjas amarillas dorsalmente y presenta cuatro manchas oscuras que forman un cuadro en el penúltimo segmento (FAO, 2018b). Esta especie presenta cuatro pares de propatas y un par al final el cuerpo (Bessin, 2019).

3.4.3 Pupa

La pupación ocurre cuando las larvas del sexto ínstar bajan al suelo y se entierran de 2 a 5 cm de profundidad, también pueden pupar en la mazorca, en los restos de hojas, o en otros materiales disponibles en la superficie del suelo (CABI, 2020). En ocasiones antes de pupar forman un capullo suelto, ovalado de 20-30 mm de longitud, dentro del cual reside una pupa de color marrón rojizo que mide de 14 a 18 mm de largo y 4.5 mm de ancho (Luginbill, 1928; Sparks, 1979; Igyuve *et al.*, 2018). El periodo de pupación depende de la textura del suelo, la humedad y la temperatura, va de 8 a 9 días en verano y de 20 a 30 días en invierno (Luginbill, 1928; Sparks, 1979; CABI, 2020). En las pupas se puede diferenciar el sexo observando entre la abertura genital y la ranura anal, se busca un punto negro en la parte caudal ventral de la pupa; si la pupa presenta dicho punto corresponde a un macho, de lo contrario es hembra (Sharanabasappa *et al.*, 2018).

3.4.4 Adulto

Los adultos son de hábitos nocturnos por lo que generalmente son activos en las tardes cálidas y húmedas, las hembras tienen un periodo de pre-oviposición de 3-4 días, las puestas de huevos ocurren al 4 a 5 días de vida y en algunos casos hasta tres semanas, los adultos viven de 7 a 21 días (Prasanna *et al.*, 2018). El macho es más pequeño que la hembra, este mide 1.6 cm de longitud corporal con la envergadura de 3.7 cm, se puede distinguir con el ala delantera, ésta es de coloración pálida y posee una mancha elíptica blanquecina cerca del centro, a un lado hay manchas blancas que van desde el margen costal al centro del ala, y presenta manchas blanquecinas triangulares en la punta del ala (CABI, 2020). La hembra presenta una longitud de 1.7 cm y una envergadura de 3.8 cm, sus alas anteriores son menos marcadas y van desde un color marrón grisáceo uniforme a moteado fino de gris y marrón (Igyuve *et al.*, 2018; CABI, 2020).

3.5 Control de *Spodoptera frugiperda*

Para el manejo de las poblaciones del gusano cogollero en maíz es necesario llevar registros permanentes sobre la época de la llegada del insecto al cultivo, el incremento poblacional durante el desarrollo de las plantas, el grado de infestación y actividad de la fauna benéfica (García-Roa, 1999). Romero (2004) señala que es fundamental conocer los parámetros

poblacionales de una plaga, su dispersión, su disposición en el cultivo y para esto se requiere muestrear. Se recomienda una exploración semanal para conocer la variabilidad de las condiciones del campo, antes de tomar alguna decisión de control para una mayor producción, y no desperdiciar recursos (FAO, 2018a). Se recomienda muestrear y monitorear todo el ciclo del cultivo porque *S. frugiperda* causa daño en cualquier etapa (Programa Manejo de Resistencia de Insectos MRI e IRAC Argentina, 2019). El muestreo y monitoreo constante, y un umbral económico verdadero, contribuirán al momento oportuno para un control eficiente de esta plaga y evitar aplicaciones innecesarias de los insecticidas (Valarezo *et al.*, 2011). El método más usado para el monitoreo de los adultos de *S. frugiperda*, es a través de trampas de luz o feromonas (Programa Manejo de Resistencia de Insectos (MRI) e IRAC Argentina, 2019). Para *S. frugiperda* el daño depende del nivel de infestación y el estado fenológico del cultivo, por lo que el umbral económico oscila entre 10 y 50% de plantas infestadas (Lezaun, 2014).

3.6 Control cultural

La siembra temprana y el uso de las variedades de ciclo corto, y cosechas tempranas, permiten escapar las densidades más altas del gusano cogollero (Mitchell, 1978). La labranza reducida parece tener poco efecto sobre las poblaciones de gusano cogollero (All, 1988). Diferente a lo que reporta Bolaños-Espinoza *et al.* (2001), en maíz con labranza convencional se alcanzó 20% de daño por gusano cogollero, y en labranza de conservación sólo llegó a 4%.

3.7 Control químico

Zamora *et al.* (2008) determinaron que el spinosad y azadiractina pueden usarse en la etapa inicial de ataque por *S. frugiperda*, así como el spinosad y metoxifenocid en larvas de tercer estadio; además, también mencionaron compatibilidad de estos productos con los objetivos no blancos. Muñoz-Conforme *et al.* (2017) mencionan que la aplicación de lambda cialotrina + tiametoxan a los 21 días después de la siembra redujo un 89.03% el daño por esta plaga. Tejeda-Reyes *et al.* (2016) señalan la efectividad biológica de clorpirifos, benzoato de emamectina, spinoteram, novaluron, deltametrina y zeta cipertrina contra *S. frugiperda*, 21 días de su aplicación disminuyó el daño en un 45% a 56% y el número de larvas disminuyó del 86% al 95%. Aunque los estudios anteriores se reportaron resultados positivos de los insecticidas, García-Gutiérrez *et al.* (2012) y Ondarza-Beneitez (2017) señalan que los plaguicidas de amplio

espectro, como oxymatrine, spinosad y bifentrina, al no usarlos adecuadamente podrían tener efectos colaterales no favorables tales como la eliminación de los enemigos naturales que contribuyen en el control de la plaga, daños a la salud humana e incrementan el costo de producción.

3.8 Control biológico

El gusano cogollero tiene una gran diversidad de enemigos naturales que lo atacan en sus diferentes fases de desarrollo, dentro de los cuales se reportan 263 parasitoides, 88 depredadores y 39 entomopatógenos (Bahena y Cortéz, 2015). Los parasitoides por su alta capacidad de búsqueda y su especificidad son considerados como los mejores agentes de control biológico (Salas y Salazar-Solís, 2003). Las especies de parasitoides más comunes que atacan a *S. frugiperda* son *Chelonus insularis* Cresson (Hymenoptera: Braconidae) (Molina-Ochoa *et al.*, 2003; Ruíz-Najera *et al.*, 2007; Cortez-Mondaca *et al.*, 2012; Ordóñez-García *et al.*, 2015; Jaraleño-Teniente *et al.*, 2020), *Chelonus sonorensis* Cameron (Hymenoptera: Ichneumonidae), *Chelonus texanus* Cresson (Hymenoptera: Braconidae) y *Cotesia marginiventris* Cresson (Hymenoptera: Braconidae) (Cortez-Mondaca *et al.*, 2012), *Campoletis sonorensis* Cameron (Hymenoptera: Ichneumonidae) (Hoballah *et al.*, 2004; Murúa *et al.*, 2006; Ordóñez-García *et al.*, 2015), *Campoletis flavicincta* Ashmead (Hymenoptera: Ichneumonidae), *Pristomerus* sp. (Hymenoptera: Ichneumonidae) (Ordóñez-García *et al.*, 2015), *Campoletis grioti* Blan-Chard (Hymenoptera: Ichneumonidae), *Ophion* sp. (Hymenoptera: Ichneumonidae) y *Archytas* spp. (Diptera: Tachinidae) (Múrua *et al.*, 2006; Ruíz-Najera *et al.*, 2007; Ríos-Velasco *et al.*, 2011; Cortez-Mondaca *et al.*, 2012), y *Euplectrus platyhypenae* Howard (Hymenoptera: Eulophidae) (Murúa y Virla, 2004b; Ruíz-Nájera *et al.*, 2007; Ordóñez-García *et al.*, 2015), *Megaselia scalaris* (Diptera: Phoridae) (Ruíz-Nájera *et al.*, 2007).

También se ha realizado liberación de *T. remus* con buenos resultados en Venezuela, allá redujo el 80% del número de aplicaciones de insecticida (Ferrer, 2001). Así mismo, varias especies del género *Trichogramma* son reproducidas masivamente para su liberación en el control biológico por aumento contra plagas de lepidópteros incluyendo *S. frugiperda* (Clausen, 1940; Van Driesche *et al.*, 2007). Por otra parte, el gusano cogollero tiene reportado muchos depredadores que lo atacan en diferentes estadios: (Coleoptera: Carabidae), *Podisus maculiventris* Say (Pentatomidae: Hemiptera), *Orius insidiosus* Say (Hemiptera: Anthocoridae) y

Labidura riparia Palla (Dermaptera: Labiduridae) (Cortez-Mondaca *et al.*, 2012). Sueldo y Virla (2009) reportaron al género *Doru* sp. con alto potencial como depredador de huevos y larvas pequeñas. Andrews (1980) y Hoballah *et al.* (2004) reportaron a *Zelus spp.*, *Orius spp.*, *Podisus sp.* y *Chrysoperla sp.* Jaraleño-Teniente *et al.* (2020) encontraron a *Doru taeniatum* Dohrn (Dermaptera: Forficulidae), *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae), *Hippodamia convergens* (Coleoptera: Coccinellidae), *Solenopsis* sp. (Hymenoptera: Formicidae), *Balaustium* sp. (Trombidiformes: Erythraeidae), *Podisus* sp. (Hemiptera: Pentatomidae) y *Polistes* sp. (Hymenoptera: Vespidae), depredando huevos de esta plaga. También se tienen reportes de algunos entomopatógenos que afectan al gusano cogollero como algunas especies de nematodos *Steinernema* sp. y *Heterorhaditis* sp. parasitando las larvas; Lezama-Gutierrez *et al.* (2001) aislaron tres especies de hongos Hyphomycetes (*Paecilomyces fumosoroesus*, *Bauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*), y Ordóñez-García, (2015) reportó a *Metarhizium rileyi*, *Nomuraea rileyi*, *B. bassiana* en larvas del gusano cogollero. En varios países se usa los nucleopoliedrovirus de la familia Baculoviridae para el control de *S. frugiperda* (Valderrama *et al.*, 2010), se ha usado la bacteria *Bacillus thuringiensis* solo y combinado con otros productos biorracionales para lograr mayor efectividad contra *S. frugiperda* (González-Maldonado *et al.*, 2015).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para determinar los factores de mortalidad que afectan los estados inmaduros de *S. frugiperda* se realizaron experimentos de campo y se complementaron con un experimento en invernadero. Este trabajo se desarrolló en el campo experimental del Colegio de Postgraduados campus Montecillo, Texcoco, Estado de México (19°30'20"N, 98°52'55"O; a 2,240 msnm). El manejo agronómico del cultivo en campo se realizó de acuerdo con las prácticas locales en la zona y no se aplicaron insecticidas.

4.1 Plantas y cría de insectos

Se sembraron plantas de maíz de la variedad Promesa en Peat Moss (PRO-MIX® FLEX) en macetas de plástico de 3 litros (16 cm de diámetro con una altura de 12.3 cm). Éstas se regaron diariamente con solución nutritiva (Ultrasol® Desarrollo 18-6-18 a 1 g/L) mediante un sistema de riego por goteo automatizado. Cuando las plantas alcanzaron la etapa fenológica V4 (30 días aproximadamente), se infestaron con *S. frugiperda*. Se mantuvo una cría de *Spodoptera frugiperda* en el laboratorio de Control Biológico del Colegio de Postgraduados. Las larvas se alimentaron con dieta artificial siguiendo la metodología desarrollada por Poitout y Bues (1974) con las modificaciones señaladas por Jaraleño-Teniente *et al.* (2020).

4.2 Huevos centinelas para experimentos en campo

Para la evaluación de la mortalidad en huevos, se utilizaron masas colocadas directamente en plantas de maíz en etapa V4. Para obtener esas masas se emplearon plantas de maíz y jaulas de madera y tela de organza de 3 m³ (1.45 x 1.45 x 1.45 m). En el interior de la jaula se colocaron 50 plantas (30 días de edad) de forma equidistante, después se liberaron 30 parejas de *S. frugiperda* para que ovipositaran. Para la alimentación de los adultos se colocó una solución de agua + miel al 10% en un algodón sobre un recipiente de plástico de 10 mL, el algodón se cambió cada tercer día para prevenir el crecimiento de hongos. Las plantas con masas de huevos se extraían cada 24 h. A cada masa de huevos se le asignó un número, y se le tomó una fotografía con una cámara de 12 megapíxeles (Mpx), se colocó una regla graduada al lado de cada masa de huevos para tener una escala real en la fotografía, finalmente se etiquetó con la fecha la masa de cada maceta.

4.3 Exposición de centinelas en campo

Se llevaron 18 y 29 masas de huevos a parcelas de maíz en campo del 4 al 6 de julio y del 21 al 25 de septiembre del 2021, las plantas de maíz estaban en etapa V4 y V6, respectivamente. Los centinelas se expusieron al azar por tres días en plantas dentro de una parcela de maíz de (2500 m²) en campo, para evitar la emergencia de las larvas, después de este periodo las plantas y las masas de huevos se recortaron y se fotografiaron con un microscopio estereoscópico (IROSCOPE NZ-14DGL) y una cámara digital (Nikon Body D5600T). Cada fotografía tenía una regla graduada para conocer la escala; en todas las fotografías se conservó el mismo aumento óptico. Después las masas de huevos se resguardaron en recipientes herméticos de forma individual, y dentro de una cámara de cría (25 ± 2 °C, 75 ± 5% de humedad relativa) y se registró la emergencia de larvas o parasitoides.

4.4 Porcentaje de mortalidad en centinelas

Debido a que las masas presentaban más de una capa de huevos, y estaban cubiertas por escamas, fue necesario realizar una estimación del número de huevos. Para ello se utilizaron 36 masas de huevos de 24 h de edad. Para evitar el enrollamiento de las hojas al deshidratarse se utilizaron portaobjetos y papel opalina para proteger la masa. Con el microscopio estereoscópico y cámara digital se tomó la fotografía de cada masa a la misma escala y distancia. Las fotografías se tomaron con la iluminación debajo de la platina, la luz difusa permitió capturar el área real que ocupaban los huevos. Después las masas se mantuvieron en refrigeración (8 °C) para inhibir la emergencia de las larvas.

Para editar las fotografías se utilizó el programa GIMP (GNU Image Manipulation Program-software libre) (GIMP, 2013). En el programa Imagen J Java (Softonic International S.A., Barcelona, España) (Schneider *et al.*, 2012) se definió la escala de las fotos utilizando la regla con el mismo aumento óptico (cuando se fotografiaron las masas) se calibró la escala para obtener el área de la masa en mm.

Para estimar el número de huevos en una masa se registró el número asignado a cada masa, área de la masa, número de capas y el número de huevos. Los huevos se contaron sobre un papel de opalina blanca, bajo el microscopio estereoscópico utilizando un alfiler entomológico. Los datos capturados en Excel se ordenaron por el área de las masas de menor a mayor, el

número de huevos en cada masa se obtuvo mediante el área ajustada multiplicando el área de la masa por el número de capas. Con la información del área obtenida de cada masa de centinela, antes y después de su exposición en campo, se determinó el número de huevos que se perdieron durante la exposición de campo.

4.5 Análisis de datos

Se definió el área promedio del huevo de *S. frugiperda* (0.339 mm) y la frecuencia del número de capas y huevos (Cuadro 1) se hizo un análisis de regresión polinomial comparando el área de la masa ajustada (X) y el número de huevos por masa (Y).

Se realizó una prueba de Shapiro-Wilks y los datos no mostraron una distribución normal por lo que se realizó una prueba no paramétrica de U de Mann-Whitney en el programa R versión 4.1.1., con ello se comparó el número de huevos perdidos en etapas V4 y V6.

4.6 Exposición de larvas en campo

El experimento se estableció en parcelas de maíz de la variedad CPHS2 en etapas fenológicas V4, V6 y V8, las fechas: 23 de julio a 9 de agosto, 20 de agosto a 6 de septiembre y 16 de septiembre a 3 de octubre del 2021. La unidad experimental consistió en cinco cuadrantes de 5x5 m con un espacio de 2.5 m desprovistos de plantas alrededor de cada cuadrante. Este espacio evito el desplazamiento de las larvas de las unidades experimentales hacia el exterior; todas las plantas en cada cuadrante se enumeraron.

En una hectárea del cultivo las cinco unidades experimentales (5x5 m) se distribuyeron en cinco de oros. Las masas de huevos de *S. frugiperda* (≤ 24 h) se obtuvieron de bolsas de papel de estraza, con la metodología descrita por Jaraleño-Teniente *et al.* (2020). Cada masa pegada al papel de estraza se recortó de forma rectangular, luego se seleccionaron 100 huevos en monocapa por masa, para facilitar el conteo de las masas se fotografiaron y examinaron con Imagen J, el resto de huevos se eliminaron manualmente con un alfiler entomológico.

Las masas con huevos (100 c/u) se mantuvieron en recipientes ($25 \pm 2^\circ\text{C}$) por dos días hasta que las larvas estuvieron a punto de emerger. Previo a la exposición de este material en campo, se revisaron todas las plantas de cada cuadrante para eliminar larvas o huevos de *S. frugiperda*, después se engrapó la masa de huevos, en el envés de la penúltima hoja, en la planta

central de cada cuadrante. A las 24 h se revisaron las masas de huevos para registrar el número de larvas emergidas. La mortalidad de larvas se evaluó cada tercer día a partir de la infestación inicial, se realizaron observaciones directas en las plantas de cada cuadrante, y se colectaron larvas parasitadas. También se evaluaron los daños foliares por la alimentación de *S. frugiperda* en las plantas en campo, utilizando la escala de Davis (Davis *et al.*, 1992). Para prevenir la pupación en campo, a los 18 días de establecido el experimento se recuperaron las larvas desarrolladas de cada cuadrante y se llevaron al laboratorio. Cada larva se individualizó en cajas de Petri para determinar si pupaban o se registraba la emergencia de algún parasitoide.

4.7 Análisis de datos

El porcentaje de daños, supervivencia en larvas, parasitismo por el bracónido *C. sonorensis*, parasitismo por el taquínido *W. Occidentis* y otros factores fueron las variables respuestas. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) por variable en relación en las diferentes etapas fenológicas. En caso de detectar diferencias se realizó una comparación de medias mediante una prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) en el programa R versión 4.1.1.

4.8 Exposición de pupas en campo

Se seleccionaron grupos de 100 pupas de menos de 24 h de haber pupado. Las pupas se expusieron por 13 días en campo, desde el inicio de pupación (≤ 24 h) hasta antes de la emergencia de los adultos (≤ 312 h).

Para este ensayo se escogieron parcelas de maíz de la variedad CPHS2, cada parcela se dividió en cinco sectores (2500 m²). En cada sector se expuso un grupo de 20 pupas, y esto se realizó en tres etapas fenológicas del cultivo (V4, V6 y V8), durante el 25 de julio al 6 de agosto, 19 al 31 de agosto y del 2 al 14 de agosto del 2021, respectivamente. Cada una de las pupas se colocó en una caja de plástico de 3 cm de diámetro y de 10 mL, previamente enumerada. Las cajas tenían un orificio (3 mm de diámetro) en la parte inferior sellada con malla plástica para permitir la filtración de la lluvia, y la entrada y salida de posibles agentes de control. Cada caja contenía una pupa, cada caja fue colocada a 5 cm de profundidad debajo de la superficie del suelo, y se cubrió con tierra. Al lado de cada caja se colocó una banderilla para identificar el lugar de establecimiento. Las pupas se revisaron cada cuatro días para detectar posibles factores de mortalidad, se tomaron datos de las observaciones además de tomar fotografías. Se recogían y

registraban cajas que ya no tenían pupas, y las cajas que aún contenían pupas nuevamente se enterraban. A los 13 días, antes de la emergencia de los adultos, se recogieron todas las pupas, se individualizaron y llevaron al laboratorio (25 ± 2 °C) para esperar la emergencia de los adultos o de algún parasitoide. Las pupas que no completaron su desarrollo después de dos semanas se disectaron para determinar la causa que no permitió la emergencia de los adultos.

4.9 Análisis de datos

Se obtuvo la proporción de pupas sobrevivientes, pupas depredadas por *Solenopsis* y otros factores en base a 20 pupas. Se hizo una transformación angular (arcoseno) de los datos y se realizó un análisis de varianza (ANOVA) por variable en relación en las diferentes etapas fenológicas de las plantas. En caso de detectar diferencias se realizó una comparación de medias mediante una prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) en el programa R versión 4.1.1.

4.10 Daño de *S. frugiperda* en maíz excluyendo factores de mortalidad natural (experimento en invernadero)

Se establecieron cuatro jaulas de madera y organza de 3 m³ (1.45 X 1.45 X 1.45 m). En cada jaula se introdujeron 25 macetas con plantas de maíz en etapa V4; éstas se colocaron en disposición 5 x 5 y había una distancia de 14 cm entre cada planta. En la base de las plantas y sobre las macetas se colocó un plástico transparente, esto permitió que las larvas se desplazaran libremente entre plantas, y se enumeró cada planta.

En este ensayo se asumió la supervivencia de 20, 30, 50 y 100 larvas de masas de huevos, que correspondieron a los tratamientos 1, 2, 3 y 4, respectivamente, ante la ausencia de factores de mortalidad. Para el establecimiento del ensayo las masas de huevos (≤ 24 h de edad) se recortaron en rectángulos (2 x 3 cm) y se mantuvieron a 25 ± 2 °C. Al segundo día las masas se fotografiaron para seleccionar el número de huevos que se emplearía en cada tratamiento, usando el procedimiento que se describió anteriormente, y al tercer día las masas se llevaron a las jaulas. Cada masa, con las larvas visibles a través del corion, se engrapó en el envés de la penúltima hoja de la planta central de cada tratamiento. Se realizaron observaciones directas cada tres días, para establecer el número de larvas y su distribución, durante 18 días después de la infestación. Al final del experimento se evaluaron los daños foliares de las plantas usando la escala de Davis

(Davis *et al.*, 1992). También se recuperaron las larvas sobrevivientes y se determinó cuantas podrían pupar. El experimento completo se repitió cuatro veces en fechas diferentes.

4.11 Análisis de datos

Para la emergencia de larvas y la supervivencia de larvas como variables respuestas, se realizó un análisis de varianza para cada una. En caso de detectar diferencias se realizó una comparación de medias mediante una prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) en el programa R versión 4.1.1. El porcentaje de daño por *S. frugiperda* en el eje de la Y, y el número de huevos en el eje de la X se interpretó con una gráfica de tipo lineal (Figura 3).

5. RESULTADOS

Las masas de huevos de *S. frugiperda* tuvieron en promedio 2.1 capas. La mayoría registraba entre 2 y 3 capas, y el 13.9% tuvieron una capa. Además, cada masa registró en promedio 220 huevos, con un mínimo de 42 y un máximo de 469, aunque alrededor del 60% tuvieron entre 100 a 200 huevos (Cuadro 1). El número de huevos por masa tuvo una relación directa con el tamaño del área ajustada de la masa, y se ajustó a un modelo polinomial ($y = -0.014x^2 + 5.3196x + 8.5576$) con una correlación positiva y una $R^2 = 0.9126$ (Figura 1).

Cuadro 1. Frecuencia del número de capas y huevos de *Spodoptera frugiperda* en maíz en etapa vegetativa V4 en invernadero.

Huevos por masa	Frecuencia	Porcentaje	Capas de huevos	Frecuencia	Porcentaje
< 100	9	25.0	1	5	13.9
100-200	12	33.3	2	17	47.2
201-300	5	13.9	3	13	36.1
301-400	5	13.9	4	1	2.8
> 401	5	13.9			

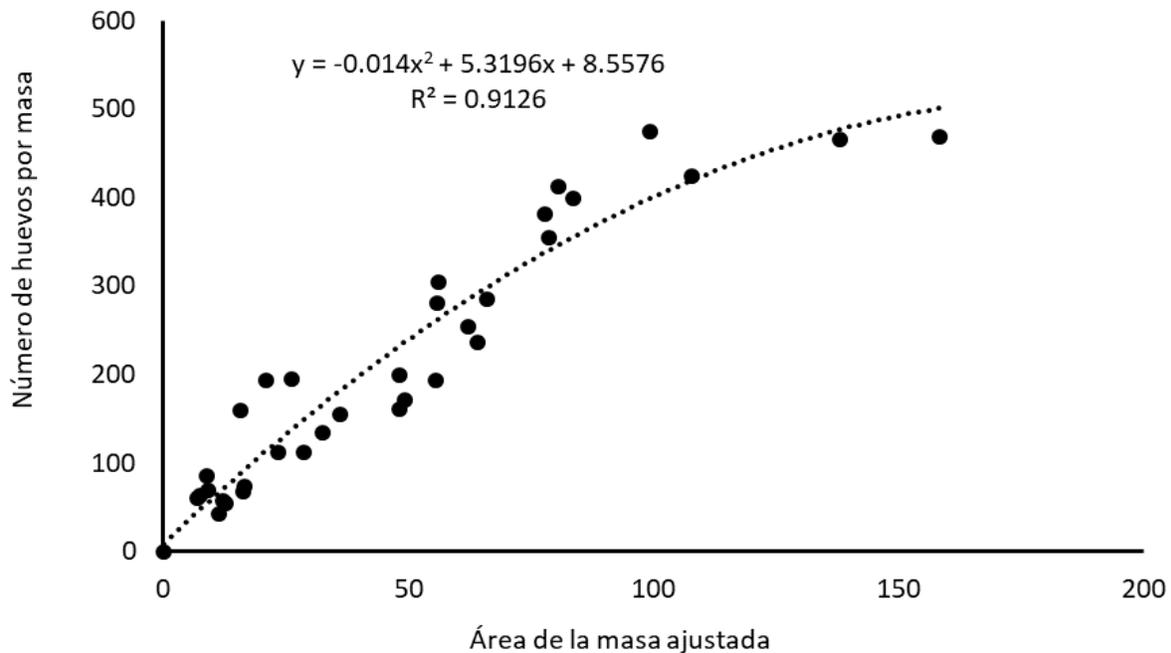


Figura 1. Relación entre el área ajustada de la masa de huevos de *Spodoptera frugiperda* y el número de huevos en cada masa.

5.1 Factores de mortalidad en huevos centinelas en campo

Con la fórmula del apartado anterior se estimó el número de huevos en las masas centinelas, antes y después de la exposición en campo. En esta parte del trabajo se expusieron huevos en las etapas fenológicas V4 y V6.

El 76% de las masas de huevos expuestas en campo estaban protegidas por una cubierta densa de escamas, aun así, se presentó pérdida de huevos con y sin escamas (Figura 2). Durante la etapa fenológica V4 se expusieron en promedio 161 ± 14.8 huevos por masa, y en la etapa V6 fueron masas con 165 ± 15.1 huevos. Durante las observaciones diarias no se detectaron depredadores sobre las masas; no obstante, el daño observado en las masas (Figura. 2) era el típico de los depredadores reportados en otros trabajos (Jaraleño-Teniente *et al.*, 2020). De los huevos remanentes llevados al laboratorio no se obtuvieron parasitoides.

Después de la exposición en campo se registró pérdida de huevos en todas las masas. La mortalidad de huevos en la etapa fenológica V4 fue $44 \pm 6.6\%$, y en la V6 fue de $38.7 \pm 5.7\%$ y no se encontraron diferencias entre etapas fenológicas ($W = 292$; $p = 0.5083$); aparentemente la depredación fue la causa en ambos casos.

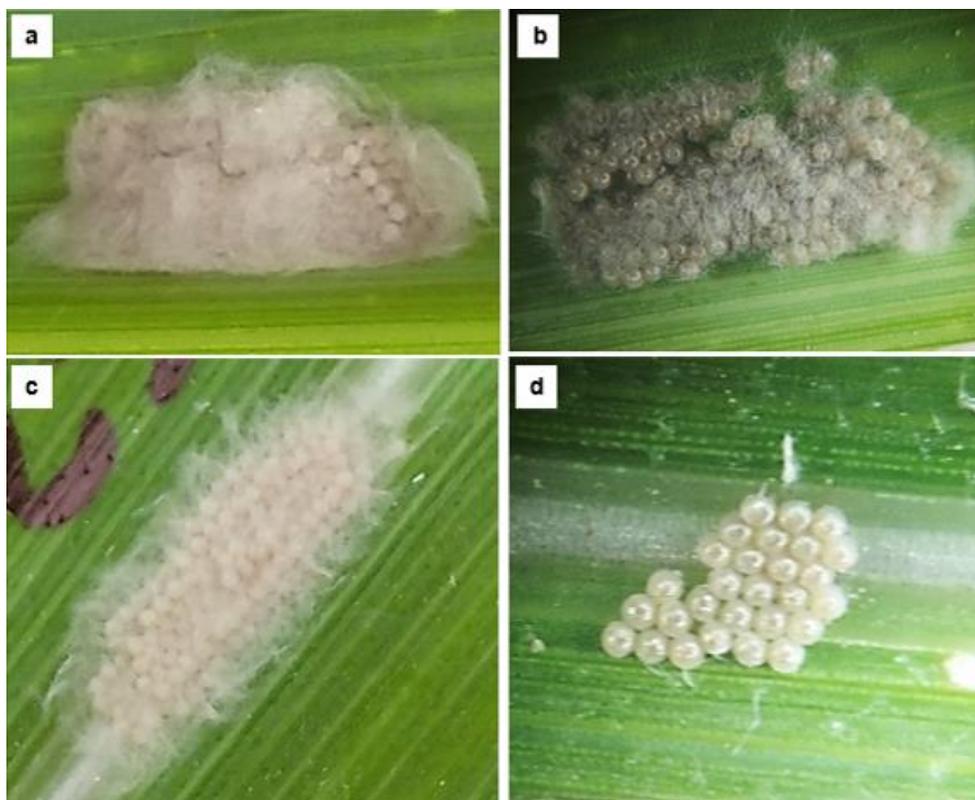


Figura 2. Masas centinelas de *Spodoptera frugiperda* expuestas en campo; a y b masa de huevos protegidos con escama abundante (a = antes b = después de la exposición); c y d) masa de huevos con pocas escamas (c = antes d = después de la exposición).

5.2 Factores de mortalidad de larvas en campo

Los 100 huevos de cada unidad experimental emergieron ($99 \pm 0.17\%$). La supervivencia de larvas fue menor al 6%, y no hubo diferencia por etapa fenológica del maíz ($F_{2,12}=0.653$, $P=0.538$) (Cuadro 2). *S. frugiperda* en campo dañó del 1.9 - 3.8% de las plantas y no difirió entre las etapas fenológicas ($F_{2,12}=1.371$, $P=0.291$) (Cuadro 2).

En las tres etapas fenológicas del maíz (V4, V6 y V8) se recuperaron parasitoides. De las larvas de primeros instares emergieron *Camponotus sonorensis* Cameron (Hymenoptera: Ichneumonidae), y en larvas de últimos instares *Winthemia occidentis* Reinhard (Diptera: Tachinidae). El parasitismo de *C. sonorensis* varió por etapa fenológica ($F_{2,12}=17.116$, $P<0.001$); fue mayor en V4 ($17.3 \pm 1.8\%$), y no hubo diferencia entre V6 y V8 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentajes de daño en plantas y factores de mortalidad (media \pm EE) de las larvas de *Spodoptera frugiperda* por etapa fenológica del maíz.

Parámetros *	Etapas fenológicas				
	V4	V6	V8	F	P
Porcentaje de daños	3.86 \pm 0.84 a	2.49 \pm 0.65 a	2.18 \pm 0.27 a	1.37	0.291
Supervivencia en larvas	5.64 \pm 1.56 a	4.42 \pm 0.92 a	3.84 \pm 0.73 a	0.652	0.538
Parasitismo <i>Campoletis sonorensis</i>	17.33 \pm 1.82 a	7.24 \pm 0.58 b	9.51 \pm 1.07 b	17.116	< 0.000
Parasitismo <i>Winthemia occidentis</i>	2.62 \pm 1.02 a	1.81 \pm 0.58 a	2.22 \pm 0.58 a	0.275	0.763
Otros factores	74.39 \pm 3.73 b	86.51 \pm 1.26 a	84.41 \pm 1.77 a	6.624	0.011

* Los valores de las variables medidas son comparables por hilera; los estimadores seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey $\alpha = 0.05$, comparaciones por etapa fenológica).

El porcentaje de parasitismo por *W. occidentis* en larvas maduras no superó el 3%, en relación con el número inicial de larvas (Cuadro 2), y no fue diferente en las etapas fenológicas del maíz ($F_{2,12}=0.276$, $P=0.767$). La mortalidad de larvas por otros factores; por ejemplo, depredación, canibalismo, enfermedades o muerte durante el traslado entre plantas y factores abióticos fue mayor en V6 ($86.5 \pm 3.7\%$), y estadísticamente menor en V4 ($74.3 \pm 3.7\%$) ($F_{2,12}=6.625$, $P=0.011$) (Cuadro 2).

5.3 Factores de mortalidad de pupas en campo

La pupa tuvo un porcentaje de supervivencia del 24 al 45% (Cuadro 3); y ésta no fue diferente en las etapas fenológicas del maíz ($F_{2,12}=2.137$, $P=0.1607$). Hormigas del género *Solenopsis* (Hymenoptera: Formicidae) depredaron pupas, y el porcentaje de depredación fue diferente entre etapas fenológicas ($F_{2,12}=5.301$, $P=0.022$). La depredación fue mayor en V4 (63 ± 3.0) y menor en V6 (31 ± 8.3); sin diferencias entre V4 y V8, ni tampoco entre V6 y V8 (Cuadro 3). La mortalidad atribuida a otros factores (bióticos o abióticos) no fue diferente entre etapas fenológicas ($F_{2,12}=1.0832$, $P=0.369$).

Cuadro 3. Factores de mortalidad (media \pm EE) de las pupas de *Spodoptera frugiperda* por etapa fenológica del maíz.

Parámetros *	Etapas fenológicas				
	V4	V6	V8	F	P
Supervivencia de pupas	24 \pm 3.31 a	37 \pm 10.07 a	45 \pm 6.51 a	2.137	0.161
Depredadas por <i>Solenopsis</i>	63 \pm 3 a	45 \pm 8.06 b	31 \pm 8.27 ab	5.301	0.022
Otros factores	13 \pm 1.22 a	18 \pm 6.04 a	24 \pm 5.33 a	1.083	0.369

* Los valores de las variables medidas son comparables por hilera; los estimadores seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey $\alpha = 0.05$, comparaciones por etapa fenológica).

5.4 Daño de *S. frugiperda* en maíz excluyendo factores de mortalidad natural (experimento en invernadero)

El número de larvas que emergieron de los tratamientos T20, T30, T50 y T100 fueron 98.8 \pm 0.3, 97.5 \pm 0.3, 98.5 \pm 0.5 y 95.5 \pm 2.3% larvas, respectivamente, y fue diferente entre los tratamientos ($F_{3,12}=787.1$, $P<0.001$). La supervivencia de larvas para los mismos tratamientos fue de 40 \pm 0.8, 42.5 \pm 0.9, 34.5 \pm 2 y 49.7 \pm 1.4%, respectivamente, y también se detectaron diferencias entre tratamientos ($F_{3,12}=194.8$, $P<0.001$). El porcentaje de daño ponderado de *S. frugiperda*, en plantas de maíz, aumentó con el incremento del número de huevos y se ajustó a un modelo lineal ($y = 0.4561x + 7.8596$) con una correlación positiva y una $R^2 = 0.959$ (Figura 3).

En el tratamiento con menor número de huevos (T20) se observaron daños en 40% de las plantas. En los tratamientos con mayor número de huevos (T50 y T100) la mayoría de las plantas tuvieron daños de nivel 4 a 7, de acuerdo con la escala de Davis (Davis *et al.*, 1992). De hecho, en el T100 todas las plantas tuvieron daño (Figura. 4).

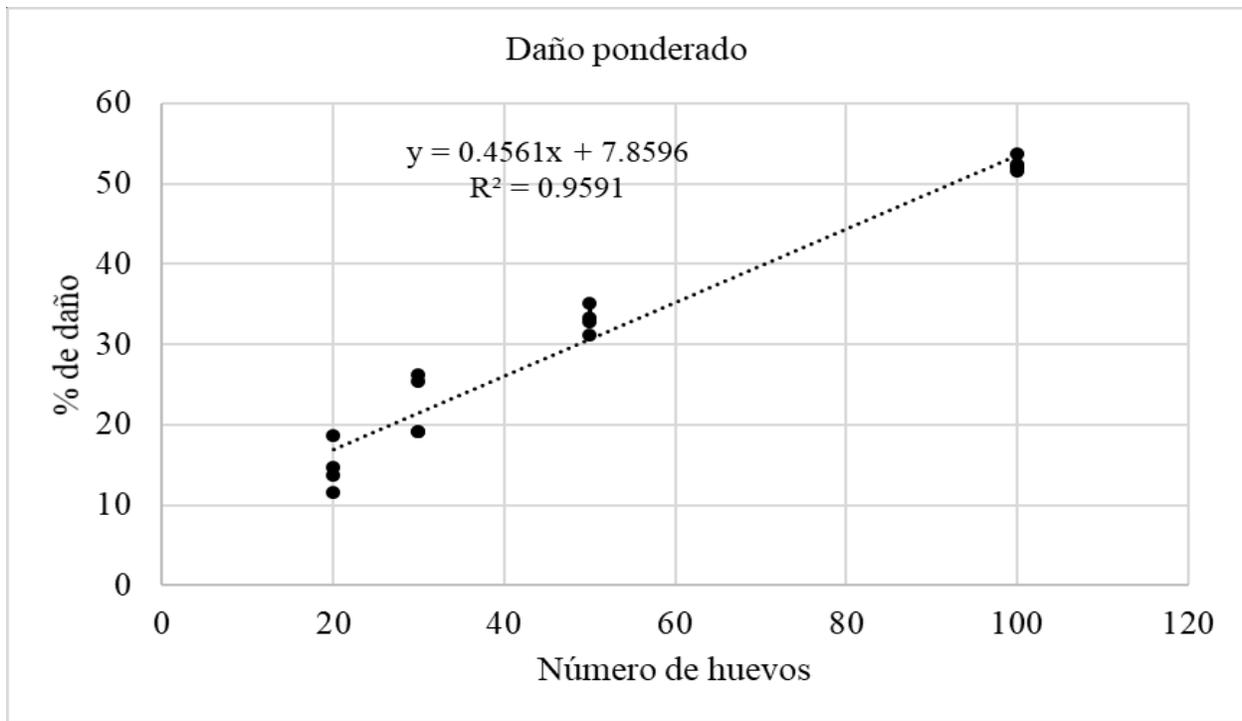


Figura 3. Relación del número de huevos y el porcentaje de daño ponderado de *Spodoptera frugiperda* en plantas de maíz, de acuerdo con la escala de Davis (Davis *et al.*, 1992).

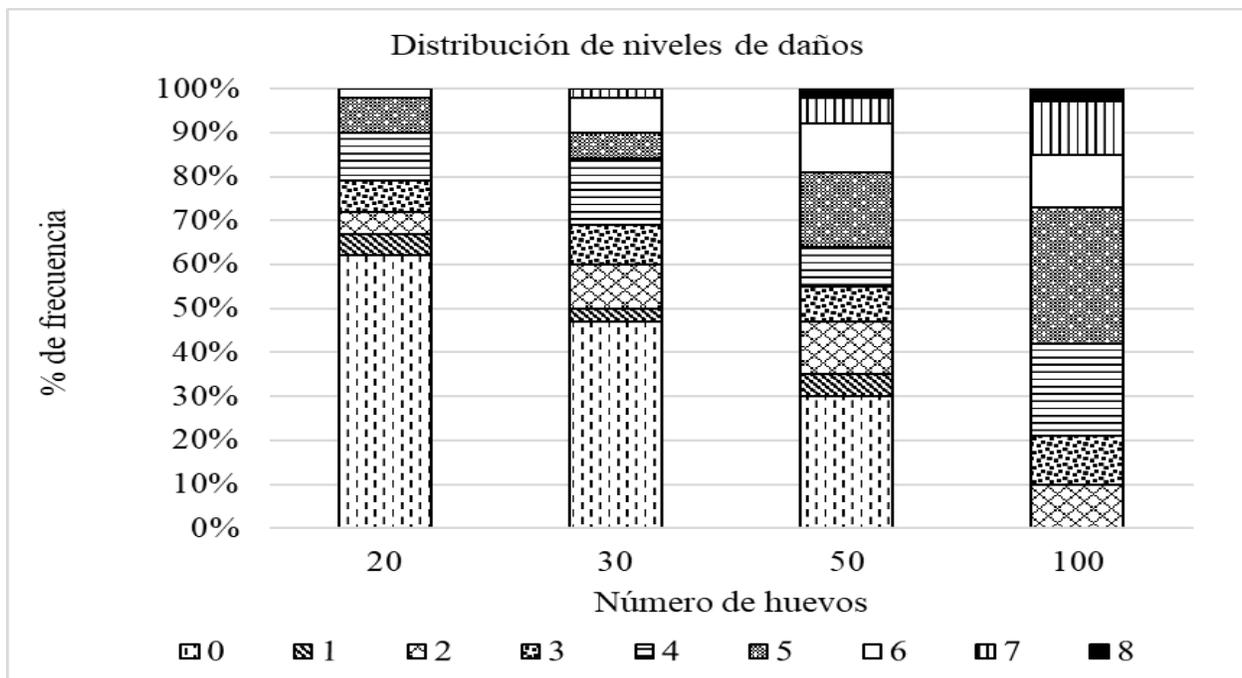


Figura 4. Distribución de frecuencia por nivel de daño de *Spodoptera frugiperda* en maíz en invernadero, escala de Davis (Davis *et al.*, 1992), sin factores naturales de mortalidad.

Los factores de mortalidad en los primeros instares larvales también incluyen al huésped, es decir los mecanismos de defensa de la planta; por ejemplo, tricomas, capa cerosa, palatibilidad, etc. (Zalucki *et al.*, 2002). Ese factor se mantuvo constante usando la misma variedad de maíz en todos los ensayos.

6. DISCUSIÓN

Con este trabajo se identificaron factores bióticos y abióticos de mortalidad en los estados de huevo, larva y pupa de *S. frugiperda* en el agroecosistema de maíz (durante julio a octubre del 2021), en los campos experimentales del Colegio de Postgraduados.

En el caso de los huevos mantenidos en los ensayos de invernadero, sin presión de factores bióticos o abióticos del control natural, éstos tuvieron del 95 al 99% de emergencia. Dichos factores ocasionaron 44 ± 6.6 y $38.7 \pm 5.7\%$ de mortalidad en huevo en campo en las etapas fenológicas de maíz V4 y V6, respectivamente. Se asumió que los depredadores fueron el único factor biótico que causó mortalidad porque no se recuperaron parasitoides, y porque los centinelas mostraron evidencias típicas de depredación. En algunos trabajos previos, donde también utilizaron la técnica de centinelas, se demostró que los depredadores registraron una contribución importante en la mortalidad de los huevos de *S. frugiperda* (Varella *et al.*, 2015; Jaraleño-Teniente *et al.*, 2020). Hay otros trabajos que atribuyeron un papel importante al parasitismo de huevos en campo (Hoballah *et al.*, 2004; Sueldo y Virla, 2009). La falta de parasitismo en huevos en este trabajo pudiera atribuirse, probablemente, a que en la zona de estudio las poblaciones de parasitoides son bajas, como lo demostraron Jaraleño-Teniente *et al.* (2021). Otra posibilidad es que las masas de huevos expuestas en este trabajo estuvieron completamente cubiertas de escamas, y una parte de ellos tuvieron varias capas de huevos, y no todos los parasitoides pueden penetrar todas las capas de la masa y parasitar todos los huevos (Cave, 1999).

La pérdida de huevos por factores abióticos no se observó en este trabajo; no obstante, otros trabajos reportaron del 5-7% de mortalidad por deshidratación, y 26 a 47% por efecto mecánico de la lluvia (desprendimiento de masas) (Varella *et al.*, 2015). Durante la evaluación de mortalidad de huevo en la etapa fenológica V4 no hubo lluvia (44% de mortalidad de huevos), pero ésta se presentó en la etapa V6 (38% de mortalidad de huevos). Es probable que la cantidad de lluvia sea un factor importante que no se cuantificó en el trabajo de Varella *et al.* (2015), ni en este trabajo, pero los resultados de mortalidad de huevo pudieran sugerir que el factor lluvia no tuvo una contribución importante en las condiciones en las que se desarrolló esta investigación.

En el invernadero cuando se expusieron 100 huevos, el 49.7% de larvas lograron pupar. En contraste, del mismo número de huevos en campo menos del 6% de larvas lograron pupar. Este resultado fue similar a lo que reportan Varella *et al.* (2015), en campo sólo sobrevivió el 5% de larvas de *S. frugiperda*. La supervivencia de larvas en invernadero fue superior a las de campo. Esta diferencia se puede atribuir a la competencia interespecífica, y la interacción de los factores bióticos y abióticos. Los factores que contribuyeron en la mortalidad de larvas en campo fueron principalmente parasitoides y factores abióticos desconocidos. Se registró parasitismo de larvas por *C. sonorensis* en las tres etapas fenológicas del maíz (V4, V6 y V8). Este parasitoide es común en México, y el nivel de parasitismo en campo va de 23.4% en algunos agroecosistemas en Veracruz y Durango (Hoballah *et al.*, 2004, González-Maldonado *et al.*, 2014), hasta 51.5% en Oaxaca (Martínez-Martínez *et al.*, 2012). El parasitismo por *C. sonorensis* en esos trabajos se realizó en colectas de material de campo, por lo que pueden estar sobrestimados, ya que no se reconoce la contribución de otros factores que hayan diezmado las poblaciones de larvas antes del parasitoide. En el presente estudio se registró entre 9.5 y 17.3% de parasitismo por *C. sonorensis*. Si se considera el total de larvas neonatas expuestas se podría sobreestimar y registrar hasta 70.8% de parasitismo, de allí la importancia del uso de centinelas (y controles) para una estimación de parasitismo más precisa.

El porcentaje de parasitismo de *W. occidentis* fue menor al 3% en cualquiera de las etapas fenológicas del cultivo, algunos autores atribuyen que el parasitismo bajo de esta especie puede deberse a la baja supervivencia de las larvas jóvenes, puesto que *W. occidentis* parasita larvas de último ínstar, en algunos casos los huevos colocados en el integumento por el parasitoide se pierden en el proceso de la muda del huésped (Guimaraes, 1972). El género *Winthemia* es uno de los grupos más comunes de la familia Tachinidae y parasita una amplia variedad de larvas de lepidópteros (Sabrosky, 1973), este es el primer registro de *W. occidentis* parasitando *S. frugiperda*; sin embargo, está reportado como parasitoide de larvas de la familia Geometridae, en México, EE. UU. y Canadá (Zetina *et al.*, 2018). En otros trabajos, el parasitismo de larvas de *S. frugiperda* por taquínidos fluctúa entre 5.2 y 8% (Ruíz-Nájera *et al.*, 2007; Gutiérrez-Ramírez *et al.*, 2015).

Un alto porcentaje de larvas (74.39 ± 3.73 a 86.51 ± 1.26) se perdieron por factores desconocidos, esto pudiera ser por las interacciones interespecíficas, factores abióticos y bióticos

que no fue posible determinar con precisión. Durante las evaluaciones en la primera semana fue difícil detectar las larvas, es probable que muchas de ellas hayan muerto durante los primeros días tal cómo mencionaron Varella *et al.* (2015), en donde más del 95% de las larvas de *S. frugiperda* murieron en la primera semana; además, el tamaño pequeño de los primeros ínstares de las larvas dificulta encontrarlos vivos y al morir su cuerpo se seca y desaparece (Zalucki *et al.*, 2002).

En cuando al daño en plantas de maíz, en invernadero el 100% de ellas presentaron daños y la mayoría alcanzó nivel de daño 4 a 7 en escala de Davis (Davis *et al.*, 1992). En campo, en cambio, del 5 al 9% de plantas registraron daño, pero ninguna alcanzó el nivel 7 según la misma escala. El impacto del gusano cogollero se basa en las estimaciones de los porcentajes de plantas dañadas, y en las percepciones de los agricultores y no en métodos de exploración del campo (Baudron *et al.*, 2019), si no, que han sido principalmente por muestreos tomando en cuenta plantas con daños sobre el total de plantas en el área (Andrews, 1980; Nexticapan-Garcéz *et al.*, 2009); por lo que Jaramillo *et al.* (1989) señalan que determinar el grado de daño foliar ha mostrado ser el método más confiable; al utilizar la escala de Davis (Davis *et al.*, 1992) se ha demostrado que plantas con daño menor al nivel 6 pueden recuperarse, y no hay pérdida significativa en el rendimiento. En este trabajo, utilizando la escala de Davis (1992), se determinó entre 1.9 y 3.8% de daño de *S. frugiperda* en campo, y fue similar en las tres etapas fenológicas; además, la proporción obtenida correspondió a un promedio del 5 al 9% de plantas dañadas, y en ningún caso se encontraron plantas con nivel superior al 7 de la escala de Davis (Davis *et al.*, 1992) (Cuadro 2). En contraste, en invernadero la infestación con 50 larvas ocasionó 70% de plantas con al menos un nivel de daño, y la infestación con 100 larvas ocasionó el 100% de plantas con daños (Figura 3); en ambos tratamientos la mayoría de las plantas tuvieron daños de nivel 4 a 7 (Davis *et al.*, 1992). Los porcentajes en campo fueron menores a los que presentan otros autores. Por ejemplo, Perdiguero *et al.* (1967) reportaron daños de 37% en maíz de siembra temprana y 80% para la siembra tardía. Nexticapan–Garcéz *et al.* (2009) reportaron el 30% de plantas dañadas en Yucatán; Ayala *et al.* (2013) registraron el 20.7% y Bengyella *et al.* (2021) en maíz transgénico (Bt) reportaron el 72.49% de daño. Aunque en ninguno de esos trabajos se estableció el nivel de daño según la escala de Davis (Davis *et al.*, 1992).

Es probable que este sea el primer trabajo en campo sobre la mortalidad de pupas de *S. frugiperda*, los trabajos de tablas de vida de esta especie generalmente se han realizado con huevos y larvas, no incluyeron pupas (Varella *et al.*, 2015; Pérez-Tesén *et al.*, 2019). En cualquiera de las tres etapas fenológicas del maíz (V4, V6, V8) en este trabajo destacó la acción de las hormigas del género *Solenopsis*. Éstas causaron del 31 al 63% de mortalidad en este estado de desarrollo. No hay reportes sobre la depredación de pupas de *S. frugiperda* por *Solenopsis*, pero Cao *et al.* (2012) evaluaron la posibilidad de utilizarlas como agentes de control biológico en pupas de mosca de la fruta *Bactrocera dorsalis* Hendel. Los mismos autores señalaron que la tasa de depredación en campo podría alcanzar hasta el 70%. La acción de las hormigas en el control natural en los agroecosistemas depende de la acción del humano y las condiciones ambientales (Chan y Guénard, 2020), en muchas especies se desconoce el porcentaje de daños que ocasionan a los cultivos para determinar su potencial como plaga agrícola, y si los daños son consecuencias de la falta de alimento por la intensa preparación de terreno al establecer un cultivo (Torres, 1990).

7. CONCLUSIONES

Los experimentos en campo aportaron información para conocer el papel de los factores bióticos y abiótico sobre la población de *S. frugiperda* en maíz, en un agroecosistema en particular sin aplicación de insecticidas. Del 38.7% a 44% de huevos murieron en campo por depredadores y factores abióticos (desprendimiento mecánico por viento). La mortalidad de larvas en invernadero, con ausencia de los factores de control natural, fue de 50%, pero fue de 94% en campo; de este 94% de mortalidad 12.5% correspondió a parasitoides (*C. sonorensis* y *W. occidentis*) y el resto a causas desconocidas. Las pupas tuvieron de 31% a 63% de mortalidad por depredación de hormigas (*Solenopsis* spp.). En la evaluación de daños en invernadero el 100% de plantas tuvieron daños con nivel de 4 a 7 en la escala de Davis (Davis *et al.*, 1992); en campo, con una población inicial de 100 larvas, solo del 5% a 9% de las plantas registraron daño y fue menor a 7, según la misma escala.

Los resultados soportaron la hipótesis que el control natural de *S. frugiperda* tiene un papel importante en un agroecosistema particular, sin la aplicación insecticidas, y el conocimiento de los factores de mortalidad y su impacto contribuirán a tomar mejores decisiones de manejo de la plaga.

8. LITERATURA CITADA

- Abang, A. F., Nanga, S. N., Fotso-Kuate, A., Kouebou, C., Suh, C., Masso, C., and Fiaboe, K. K. M. 2021. Natural enemies of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in different agro-ecologies. *Insects* 12: 6-509.
- Adjaoke, A. M., Adandonon, A., and Yotto, G. T. 2021. Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) State of knowledge and control methods. *African Journal of Agricultural Research* 9: 1237-1248.
- Albert, L. A., Loera, R., y Bárcenas, C. 2005. Química y ecotoxicología de los insecticidas. Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias, 177-190.
- All, J. N. 1988. Fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) infestations in no-tillage cropping systems. *Florida Entomologist* 71: 268-272.
- Andrews, K. L. 1980. The whorlworm, *Spodoptera frugiperda*. Central America and neighboring areas. *Florida Entomologist* 63: 4, 456-467.
- Arredondo-Bernal, H. C. 1994. Control biológico de barrenadores de caña de azúcar con el parasitoide *Trichogramma*. Memoria del Curso sobre Control Biológico de Barrenadores en Caña de Azúcar 16-23.
- Arredondo-Bernal, H., Tamayo-Mejía, F., y Rodríguez-del Bosque, L. 2020. Libro de fundamento y práctica del control biológico de plagas y enfermedades. Enseñanza universitaria o superior. Colegio de postgraduados 688.
- Ayala, O., Navarro, F., and Virla, E. G. 2013. Evaluation of the attack rates and level of damages by the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), affecting corn-crops in the northeast of Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 45: 2, 1-12.
- Bahena, J. F., y Cortez, M. E. 2015. Gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Pp. 181-250. In Arredondo, B.H.C. (ed.), *Casos de Control Biológico en México 2*. Biblioteca básica de agricultura: Guadalajara, Jalisco, México.
- Baudron, F., Zaman-Allah, M. A., Chaipa, I., Chari, N., and Chinwada, P. 2019. Understanding the factors influencing fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) damage in African smallholder maize fields and quantifying its impact on yield. A case study in Eastern Zimbabwe. *Crop Protection* 120: 141-150.
- Bellows, Jr. T. S., Van Driesche, R. G., and Elkinton, J. S. 1992. Life-table construction and analysis in the evaluation of natural enemies. *Annual review of entomology* 37: 1-587-612.
- Bengyella, L., Hetsa, B. A., Fonmboh, D. J., and Jose, R. C. 2021. Assessment of damage caused by evolved fall armyworm on native and transgenic maize in South Africa. *Phytoparasitica* 49:1, 1-12.

- Bessin, R. 2019. Fall armyworm in corn. 06 de junio de 2022 (<https://entomology.ca.uky.edu/ef110>).
- Bolaños-Espinoza, A., Bravo-Mojica, H., Equihua-Martínez, A., Trinidad-Santos, A., Ramírez-Valverde, G., y Dominguez-Valenzuela, J. A. 2001. Densidad y daños de plagas del maíz, bajo labranza convencional y de conservación. *Acta zoológica mexicana* 8: -127-141.
- CABI, 2020. *Spodoptera frugiperda* fall armyworm Datasheet. Invasive species compendium.06 de junio de 2022 (<https://www.cabi.org/isc/datasheet/29810>).
- Caníço, A., Mexia, A., and Santos, L. 2020. First report of native parasitoids of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* smith (Lepidoptera: Noctuidae) in Mozambique. *Insects* 11: 9-615.
- Cao, L., Zhou, A., Chen, R., Zeng, L., and Xu, Y. 2012. Predation of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* puparia by the red imported fire ant, *Solenopsis invicta*: role of host olfactory cues and soil depth. *Biocontrol Science and Technology* 22: 5, 551-557.
- Capinera, J. 2017. Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). 06 de junio de 2022 (<http://edis.ifas.ufl.edu/in255>).
- Carneiro, T. R., and Fernandes, O. A. 2012. Interspecific interaction between *Telenomus remus* (Hymenoptera: Platygasteridae) and *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) eggs. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 84: 1127-1135.
- Carrillo-Sanchez, J. 1993. Síntesis del control biológico de *Heliothis* spp. y *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Folio Entomológica Mexicana* 93: 85-93.
- Casmuz, A., Juárez, M. L., Socías, M. G., Murúa, M. G., Prieto, S., Medina, S., y Gastaminza, G. 2010. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 69: 3-4, 209-231.
- Cave, R. D. 1999. *Telenomus remus* Nixon: un parasitoide en el control biológico del gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* (Smith). *CEIBA* 40: 2, 215-227.
- Chan, K. H., and Guénard, B. 2020. Ecological and socio-economic impacts of the red import fire ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae), on urban agricultural ecosystems. *Urban Ecosystems* 23: 1 1-12.
- Clausen, C. P. 1940. *Entomophagous insects*. McGraw-Hill book Company, Incorporated.
- Cortez-Mondaca, E., Pérez-Márquez, J., y Bahena-Juárez, F. 2012. Control biológico natural de gusano cogollero (Lepidoptera: Noctuidae) en maíz y en sorgo, en el norte de Sinaloa, México. *Southwestern Entomologist* 37: 3, 423-428.
- Dan-Dan, Z., Sheng-Yuan, Z., Qiu-Lin, L., and Kong-Ming, W. 2021. Cold hardiness of the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in china. *Journal of Integrative Agriculture* 20: 764-771.

- Davis, F. M., Ng, S. S., and Williams, W. P. 1992. Visual rating scales for screening whorl stage corn for resistance to fall armyworm (No. 30875 Caja 346). Mississippi State University.
- Day, R., Abrahams, P., Bateman, M., Beale, T., Clottey, V., Cock, M., and Witt, A. 2017. Fall armyworm: impacts and implications for Africa. *Outlooks on Pest Management* 28: 5, 196-201.
- Devine, G. J., Eza, D., Ogusuku, E., y Furlong, M. J. 2008. Uso de insecticidas: contexto y consecuencias ecológicas. *Revista peruana de medicina experimental y Salud Pública* 25: 1, 74-100.
- FAO. 2018a. Briefing note on FAO actions on fall armyworm in Africa. FAO Briefing Note on FAW, 1-7.
- FAO. 2018b. Integrated management of the Fall Armyworm on maize. Retrieved from. 06 de junio de 2022 (<http://www.fao.org/3/i8665en/i8665en.pdf>).
- FAO. 2020. *Spodoptera frugiperda*; Integrated Pest Management; farmer field schools; farm management; adult education; capacity building; training programmes. 134pp. 06 de junio de 2022 (<http://www.fao.org/documents/card/es/c/I8665EN/>).
- Ferrer, F. 2001. Biological control of agricultural insect pests in Venezuela; advances, achievements, and future perspectives. *Biocontrol News and Information* 22: 3, 67-74.
- Figueiredo, M. D. L. C., Martins-Dias, A. M. P., y Cruz, I. 2006. Relação entre a lagarta-do-cartucho e seus agentes de controle biológico natural na produção de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41: 1693-1698.
- Firake, D. M., and Behere, G. T. 2020. Natural mortality of invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize agroecosystems of northeast India. *Biological Control* 148: 104-303.
- 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: 57-71.
- García-Roa, F., Mosquera, A. T., Vargas, S. C. A., y Rojas, A. L. 1999. Manejo integrado del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith). *Boletín Técnico* N0. 7. Palmira valle del Cauca.
- GIMP, G. 2013. GIMP. Página Principal. Disponible em. 06 de junio de 2022 (<http://www.gimp.org>).
- Gómez, M. R., Zavala, A. F., Vázquez, J. C., Flores, J. R., Rivera, J. M., y Franco, R. C. 2006. Identificación del parasitoide de la palomilla de los cereales *Sitotroga cerealella* Olivier (Lepidoptera: Gelechiidae). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas* 2: 169-172.
- González-Maldonado, M. B., Coronado-Blanco, J. M., y Lomelí-Flores, J. R. 2020. Nuevos registros de braconidos (Hymenoptera: Braconidae) parasitoides de gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en Durango, México. *Revista Colombiana de Entomología* 46: 2, 84-35.

- González-Maldonado, M. B., García-Gutiérrez, C., y 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: 1, 47-53.
- González-Maldonado, M. B., Gurrola-Reyes, J. N., and Chaírez-Hernández, I. 2015. Biological products for the control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista colombiana de Entomología* 41: 2, 200-204.
- Guimaraes, J. H. 1972. A revision of the genus *Winthemia* Robineau-Desvoidy in America north of México (Diptera, Tachinidae). *Arquivos de Zoologia* 22: 2, 27-112.
- Guo, J., Wu, S., Zhang, F., Huang, C., He, K., Babendreier, D., and Wang, Z. 2020. Prospects for microbial control of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *BioControl* 65: 6, 647-662.
- Gutiérrez-Ramírez, A., Robles-Bermúdez, A., Cambero-Campos, J., Santillán-Ortega, C., Ortíz-Catón, M., Coronado-Blanco, J. M., and Campos-Figueroa, M. 2015. Parasitoides de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Encontrados en Nayarit, México. *Southwestern Entomologist* 40: 3, 555-564.
- Hernandez, D., Ferrer F., y Linares, B. 1989. Introducción de *Telenomus remus* Nixon (Hym.: Scelionidae) para controlar *Spodoptera frugiperda* (Lep.: Noctuidae) en Yaritagua-Venezuela. *Agronomía tropical (Maracay)* 39: 4-6, 199-205.
- Hoballah, M. E., Degen, T., Bergvinson, D., Savidan, A., Tamo, C., and Turlings, T. C. J. 2004. Occurrence and direct control potential of parasitoids and predators of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on maize in the subtropical lowlands of México. *Agricultural and Forest Entomology* 6: 83-88.
- Hruska, A. J. 2019. Fall armyworm *Spodoptera frugiperda* management by smallholders. *CAB Rev* 14: 043, 1-11.
- Huerta-Valdovinos, F., García-Banderas, D. V., Figueroa-De la Rosa, J. I., Pineda-Guillermo, S., Chavarrieta, M., y Martínez-Castillo, A. M. 2016. Reproducción y desarrollo de poblaciones de campo del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* Smith, 1797 (Lepidoptera: Noctuidae). *Entomología Mexicana* 3: 855-858.
- Igyuve, T., Ojo, G., Ugbaa, M., and Ochigbo, A. 2018. Fall Army Worm (*Spodoptera frugiperda*); it's biology, impact and control on maize production in Nigeria. *Nigerian Journal Of Crop Science* 5: 70-79.
- Jaraleño-Teniente, J., Lomeli-Flores, J. R., Rodríguez-Leyva, E., Bujanos-Muñiz, R., and Rodríguez-Rodríguez, S. E. 2021. Efficiency of three egg parasitoid species on fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in laboratory and field cages. *Journal of Entomological Science* 56: 4, 519-526.
- Jaraleño-Teniente, J., Lomelí-Flores, J. R., Rodríguez-Leyva, E., Bújanos-Muñiz R., and Rodríguez-Rodríguez, S. E. 2020. Egg parasitoids survey of *Spodoptera frugiperda*

- (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize and sorghum in Central Mexico. *Insects* 11: 157-160.
- Jaramillo, Á., Jaramillo, O., Bustillo, A. E., y Gómez, H. 1989. Efecto del gusano cogollero *Spodoptera frugiperpa* (JE Smith) sobre el rendimiento del maíz. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 42: 1, 25-33.
- Jaramillo-Barrios, C. I., Barragán Q. E., and Monje, A. B. 2020. Populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) cause significant damage to genetically modified corn crops. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 72: 3, 8953-8962.
- León-García, I., Rodríguez-Leyva, E., Ortega-Arenas, L. D., and Solis-Aguilar, J. F. 2012. Insecticide susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) associated with turfgrass at Quintana Roo, México. *Agrociencia* 46: 3, 279-287.
- Lezama-Gutierrez, R., Hamm, J. J., Molina-Ochoa, J., Lopez-Edwards, M., Pescador-Rubio, A., Gonzalez-Ramirez, M., and Styer, E. L. 2001. Occurrence of entomopathogens of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Mexican states of Michoacan, Colima, Jalisco and Tamaulipas. *Florida Entomologist* 23-30.
- Lezaun, J. 2014. Una plaga de alto impacto oruga militar o gusano cogollero un problema para los cultivos de maíz y sorgo. 06 de junio de 2022. (<https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/gusano-cogollero>).
- Liao, Y. L., Yang, B., Xu F, M., Lin, W., Wang, D., Chen, S. K., and Chen, H. Y. 2019. First report of *Telenomus remus* parasitizing *Spodoptera frugiperda* and its natural parasitism in South China. *BioRxiv* 102: 697-920.
- Lira-Gómez, C. F. 2016. Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*): características, ciclo de vida. *Lifeder*. 06 de junio de 2022 (<https://www.lifeder.com/spodoptera-frugiperda/>).
- Luginbill, P. 1928. The fall armyworm. *USDA Technical Bulletin* 34.
- Martínez-Martínez, L., Gutiérrez-Vázquez, L. A., Olivares-Isidro, C., y Jarquín-López, R. 2012. Parasitismo natural de larvas de *Spodoptera frugiperda* (Smith) en Etna, Oaxaca, pp. 344-347. En: *Memorias XXXV Congreso Nacional de Control Biológico*. Noviembre 2012. Puebla, Pue. México. 592 p.
- Matova, P. M., Kamutando, C. N., Magorokosho, C., Kutwayo, D., Gutsa, F., and Labuschagne, M. 2020. Fall-armyworm invasion, control practices and resistance breeding in Sub-Saharan Africa. *Crop Science* 60: 6, 2951.
- Mitchell, E. R. 1978. Relationship of planting date to damage by earworms in commercial sweet corn in north central Florida. *Florida Entomologist* 61:251-255.
- Molina-Ochoa, J., Carpenter, J. E., Heinrichs, E. A., and Foster, J. E. 2003. Parasitoids and parasites of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas and Caribbean Basin: an inventory. *Florida Entomologist* 86: 3, 254-289.

- Montezano, D. G., Specht, A., Sosa-Gómez, D. R., Roque-Specht, V. F., Sousa-Silva, J. C., Paula-Moraes, S. D., Peterson, J.A., and Hunt, T. E. 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology* 26: 286-300.
- Morillo, F., y Notz, A. 2001. Resistencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambdacihalotrina y metomil. *Entomotropica* 16: 2, 79-87.
- Muñoz-Conforme, X. C., Comboza-Quijano, W. F., Lara-Obando, E. J., Mendoza-García, M. V., Mejía-Zambrano, N. N., Lopez-Mendoza, J. C., and Moran-Sanchez, N. L. 2017. Insecticidas biológicos para el control de *Spodoptera frugiperda* Smith, su incidencia en el rendimiento. *Centro Agrícola* 44: 3, 20-27.
- Murúa, G., and Virla, E. 2004a. Population parameters of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lep.: Noctuidae) fed on corn and two predominant grasses in Tucuman (Argentina). *Acta Zoológica Mexicana* 20: 1, 199-210.
- Murúa, G., and Virla, E. G. 2004b. Contribution to the biological knowledge of *Euplectrus platyhyphenae* (Hymenoptera: Eulophidae), a parasitoid of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Argentina. *Folia Entomológica Mexicana* 43: 2, 171-180.
- Murúa, G., Molina-Ochoa, J., and Coviella, C. 2006. Population dynamics of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and its parasitoids in northwestern Argentina. *Florida Entomologist* 89: 2, 175-182.
- Murúa, M. G., Juárez, M. L., Prieto, S., Gastaminza, G., and Willink, E. 2009. Spatial and temporal distribution of *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) larval populations on different host plants in northern Argentina provinces. *Revista industrial y agrícola de Tucumán* 86-1.
- Nexticapan-Garcéz, A., Magdub-Méndez, A., Vergara-Yoisura, S., Martín-Mex, R. y Larqué-Saavedra, A. 2009. Fluctuación poblacional y daños causados por gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith) en maíz cultivado en el sistema de producción continúa afectado por el huracán Isidoro. *Universidad y Ciencia* 25: 3, 273-277.
- Ondarza-Beneitez, M. A. 2017. Biopesticidas: tipos y aplicaciones en el control de plagas agrícolas. *Agroproductividad* 10: 31-367.
- Ordóñez-García, M., Rios-Velasco, C., Berlanga-Reyes, D. I., Acosta-Muñiz, C. H., Salas-Marina, M. Á., and Cambero-Campos, O. J. 2015. Occurrence of natural enemies of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Chihuahua, México. *Florida Entomologist* 843-847.
- Perdiguero, J. S., Barral, J. M., y Stacul, M. 1967. Aspectos biológicos de plagas de maíz de la región chaqueña. Evaluación de daño. INTA, Est. Exp. Agrop., Presidencia Roque Sáenz Peña, *Boletín* 46: 30 p.
- Pérez-Tesén, E., Neira de Perales, M., y Calderón-Arias, C. 2019. Alternativas ecológicas en el control de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en el cultivo de maíz amarillo duro. *Scientia Agropecuaria* 10: 4, 541-550.

- Poitout, S., and Bues, R. 1974. Breeding of caterpillars of twenty-eight species of Lepidoptera Noctuidae and two species of Arctiidae on a simple artificial medium. Peculiarities of breeding according to the species. In *Annales de Zoologie Animale Ecologie* 6: 3, 431-441.
- Prasanna, B. M., Huesing, J. E., Eddy, R., and Peschke, V. M. 2018. *Fall Armyworm in Africa: A Guide for integrated pest management*, First Edition. CDMX: CIMMYT (México).
- Programa Manejo de Resistencia de Insectos (MRI) e IRAC Argentina. 2019. *Cogollero *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz, bases para su manejo y control en sistemas de producción*. Rem-Aapresid 2250-5350.
- Ríos-Velasco, C., Gallegos-Morales, G., Rincón-Castro, M. del C., Ulloa-Rubio, K. A., Cambero-Campos, J., y Valenzuela-García, R. D. 2011. Primer registro de *Archytas marmoratus* y *Voria ruralis* (Diptera: Tachinidae) y sus niveles de parasitoidismo en dos lepidópteros plaga en Coahuila, México. *Acta zoológica mexicana* 27: 3, 577-582.
- Romero, R. F. 2004. *Manejo Integrado de Plagas: las Bases, los Conceptos, su Mercantilización*. Universidad Autónoma Chapingo-Colegio de Postgraduados. 103.
- Ruíz-Nájera, R. E., Molina-Ochoa, J., Carpenter, J. E., Espinosa-Moreno, J. A., Ruíz-Nájera, J. A., Lezama-Gutiérrez, R., and Foster, J. E. 2007. Survey for hymenopteran and dipteran parasitoids of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Chiapas, Mexico. *Journal of Agricultural and Urban Entomology* 24: 1, 35-42.
- Sabrosky, C. W. 1973. Identification of *Winthemia* of America north of Mexico, with a revised key to the females (Diptera, Tachinidae). *Annals of the Entomological Society of America* 66: 5, 1035-1041.
- Salas, A. M. D., y Salazar-Solís, E. 2003. Importancia del uso adecuado de agentes de control biológico. *Acta universitaria* 13: 29-35.
- Schneider, C. A., Rasband, W. S., and Eliceiri, K. W. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature methods*, 9: 7, 671-675.
- Serrano-Domínguez, A. K., Coronado-Blanco, J. M., Ruíz-Cancino, E., López-Santillán, J. A., Estrada-Drouaillet, B., and Salas-Araiza, M. D. 2021. Parasitoids of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) 1, at three localities of the State of Tamaulipas, México. *Southwestern Entomologist* 45: 4, 907-916.
- Sharanabasappa, D., Kalleshwaraswamy, C. M., Maruthi, M., and Pavithra, H. 2018. Biology of invasive fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on maize. *Indian Journal of Entomology* 80: 3, 540-543.
- Sparks, A. N. 1979. A review of the biology of the fall armyworm. *Florida Entomologist* 1: 82-7.
- Sueldo, M. R., y Virla, E. G. 2009. *Doru lineare* (Dermaptera: Forficulidae), insecto benéfico en cultivos de maíz del norte argentino: preferencias alimenticias y tasas de consumo. *Boletín de sanidad vegetal. Plagas* 35: 1, 39-47.

- Tambo, J. A., Kansime, M. K., Rwomushana, I., Mugambi, I., Nunda, W., Mloza-Banda, C., and Day, R. 2021. Impact of fall armyworm invasion on household income and food security in Zimbabwe. *Food and energy security* 2: 299-312.
- Tejeda-Reyes, M., Solis-Aguilar, J., Díaz-Nájera, J., Peláez-Arroyo, A., Ayvar-Serna, S., and Mena-Baheba, A. 2016. Evaluación de insecticidas en el control de gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* JE Smith (Lepidoptera: Noctuidae) en maíz en Cocula, Guerrero. *Entomología mexicana* 3: 1, 391-394.
- Torres, J. A. 1990. Aspectos ecológicos, toxicológicos y agrícolas de la hormiga brasileña *Solenopsis invicta*. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 74: 4, 375-394.
- Valarezo, O., Navarrete, B., y Cañarte, E. 2011. Evaluación de tecnologías para el manejo fitosanitario del cultivo de maíz en la Provincia de Manabí. INIAP, Estación Experimental Portoviejo. Núm. 389. 1-10.
- Valderrama, J. A. G., Agudelo, E. J. G., Cubillos, G. P. B., Prado, A. M. C., y Rivero, L. F. V. 2010. Aislamiento, identificación y caracterización de Nucleopoliedrovirus nativos de *Spodoptera frugiperda* en Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín* 63: 2, 5511-5520.
- Van Driesche, R. G., Hoddle, M. S., and Center, T. D. 2007. Suppressing over-abundant invasive plants and insects in natural areas by use of their specialized natural enemies (Ruíz, C. E., Coronada, B. J., and Manuel, A. J. Trans). (No. 632.96 V33) US Department of agriculture, US forest service, forest health technology enterprise team (Original work published in 1996).
- Van Lenteren, J. C. 2003. Quality Control and production of biological control agents: Theory and Testing Procedures. Wallingford, UK: CABI Publ. 384.
- Varella, A. C., Menezes-Netto, A. C., Alonso, J. D. D. S., Caixeta, D. F., Peterson, R. K., and Fernandes, O. A. 2015. Mortality dynamics of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) immatures in maize. *PLoS One* 10: 6.
- Villareal-Mera, M. G. 2018. Comportamiento del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) en diferentes etapas fenológicas del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el cantón San Vicente, Manabí. (Tesis de pregrado). Manta-Manabí. Ecuador.
- Yu, S. J. 1992. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology* 85: 3, 675-682.
- Zalucki, M. P., Clarke, A. R., and Malcolm, S. B. 2002. Ecology and behavior of first instar larval Lepidoptera. *Annual review of entomology* 47: 1, 361-393.
- Zamora, M. C., Martínez, A. M., Nieto, M. S., Schneider, M. I., Figueroa, J. I., y Pineda, S. 2008. Actividad de algunos insecticidas biorracionales contra el gusano cogollero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31: 4, 351-351.

Zetina, D. H., Romero-Napoles, J., Contreras-Ramos, A., and Carrillo-Sánchez, J. L. 2018. Checklist of Tachinidae (Insecta, Diptera) in Mexico. Transactions of the American Entomological Society 189, 144: 1, 1-90.