

## Review [Revisión]



**PERSPECTIVA ACTUAL DEL GUSANO COGOLLERO *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Y SU RESISTENCIA DESARROLLADA A INSECTICIDAS †**

**[CURRENT PERSPECTIVE OF FALL ARMYWORM *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) AND ITS DEVELOPED RESISTANCE TO INSECTICIDES]**

**Ernesto Cerna-Chávez<sup>1</sup>, José Luis Arispe-Vázquez<sup>3\*</sup>,  
Juan Mayo-Hernández<sup>2</sup>, Luis Alberto Aguirre-Uribe<sup>1</sup>,  
Yisa María Ochoa-Fuentes<sup>1</sup>, Agustín Hernández-Juárez<sup>1</sup>  
and Epifanio Castro-Del Ángel<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro #1923, C.P. 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Km 61 Carretera Matamoros-Reynosa C.P. 88900, Tamaulipas, México.

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Km 2.5 Carretera Iguala-Tuxpan, Colonia Centro Tuxpan C.P. 40000, Iguala de la Independencia Guerrero, México. Email: [arispe.jose@inifap.gob.mx](mailto:arispe.jose@inifap.gob.mx)

\*Corresponding author

### SUMMARY

**Background.** Fall Armyworm (FAW) is one of the most damaging agricultural pests found in Western Hemisphere, and it is now one of the key pests on several crops on America, Africa, Oceania, and Asia; becoming a major threat to food safety in many countries, due to losses caused to farmers. **Objective.** Review current knowledge of FAW resistance to active ingredients in the world. **Methodology.** A systematic study was carried out by collecting information from scientific writings, from first reports of resistance of fall armyworm to the more current ones, which included different national and international databases. **Main finding.** FAW control for decades has been based on the use of chemical insecticides; this has generated applications increase without control and therefore, resistance of the pest. FAW resistance has been reported since 1965; today, FAW has been reported to be resistant to 33 active ingredients in different parts of the world. **Implications.** The knowledge generated is essential to plan control strategies. **Conclusion.** The development of new chemical insecticide molecules and the emergence of Bt technology have not achieved good control of FAW. Management strategies for FAW need to be implemented not only in Mexico, but in all places where FAW is present, to avoid further increase FAW resistance to of insecticides and Bt crops; otherwise, the FAW will be present in more places in the world, putting the food safety in more countries at risk.

**Keywords:** Fall armyworm; pest; damage; crops; chemical products.

### RESUMEN

**Antecedentes.** El FAW es una de las plagas agrícolas más dañinas que se encuentran en el hemisferio occidental, y actualmente es una de las plagas clave en varios cultivos en América, África, Oceanía y Asia; convirtiéndose en una gran amenaza para la seguridad alimentaria en muchos países, debido a las pérdidas causadas a los agricultores. **Objetivo.** Revisar los conocimientos actuales sobre la resistencia del FAW a los ingredientes activos en el mundo. **Metodología.** Se realizó un estudio sistemático mediante la recopilación de información de escritos científicos, desde los primeros reportes de resistencia del gusano cogollero a los más actuales, el cual incluyó diferentes bases de datos nacionales e internacionales. **Hallazgo principal.** El control del gusano cogollero durante décadas se ha basado en el uso de insecticidas químicos; esto ha generado que las aplicaciones aumenten sin un control y por lo tanto, la resistencia de la plaga. Se ha informado de resistencia al FAW desde 1965; en la actualidad, se ha informado que el FAW es resistente a 33 ingredientes activos en diferentes partes del mundo. **Implicaciones.** El conocimiento generado es fundamental para planificar

† Submitted November 12, 2021 – Accepted February 16, 2022. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4089>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>  
ISSN: 1870-0462.

estrategias de control. **Conclusión.** El desarrollo de nuevas moléculas de insecticidas químicos y la aparición de la tecnología Bt no han logrado un buen control del FAW. Es necesario implementar estrategias de manejo para el FAW no sólo en México, sino en todos los lugares donde está presente el FAW, para evitar que aumente aún más la resistencia al gusano cogollero de los insecticidas y cultivos Bt; de lo contrario, el gusano cogollero estará presente en más lugares del mundo, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria en más países

**Palabras clave:** gusano cogollero; plaga; daños; cultivos; productos químicos.

## INTRODUCCIÓN

El gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) (Figura 1), es una plaga polífaga de América del Norte y del Sur (Spark, 1979; Mitchell *et al.*, 1991), que se encuentra principalmente en las regiones tropicales y subtropicales (Andrews, 1988; Rojas *et al.*, 2004), pero también se puede encontrar en regiones templadas (Luginbill, 1928; Sparks 1979 ; Clark *et al.*, 2007 ) y ha sido reconocida como una de las principales plagas agrícolas en América desde 1594 (Ashley *et al.*, 1989). El FAW tiene una alta capacidad de dañar una amplia gama de cultivos alimentarios, forrajeros y de fibras (Ishtiaq *et al.*, 2014), por ejemplo, el maíz *Zea mays* L., el sorgo *Sorghum bicolor* L. Moench, la caña de azúcar *Saccharum officinarum* L., el arroz *Oryza sativa* L., mijo *Panicum miliaceum* L., avena *Avena* sp. L., trigo *Triticum* sp. L. (Poaceae), el cacahuete *Arachis hypogaea* L., alfalfa *Medicago sativa* L., soya *Glycine max* (L.) Merr. (Fabaceae), algodón *Gossypium* L. (Malvaceae), papa *Solanum tuberosum* L. (Solanaceae) y hortalizas (Cruz, 1995; Casio-Siloto, 2002; Pogue, 2002; Casmuz, 2010; Aguirre *et al.*, 2016; Montezano *et al.*, 2018; Arispe-Vázquez *et al.*, 2021).

La distribución del FAW regularmente está limitada a climas cálidos, tiene varias generaciones por año, su ciclo biológico consiste de huevo, seis o siete estadios larvares, pupa y adulto, y está relacionado directamente con la temperatura ambiente, por lo que su ciclo pudiera ser de 20- 30 días en verano o hasta 60 o incluso 90 en invierno (MRI e IRAC, 2019; SENASICA, 2021). En los primeros días larvares, esta plaga puede actuar como trozador cortando la planta cerca del suelo, defoliándola, lo que causa la muerte de la planta y durante el período de desarrollo vegetativo, el daño generalmente está en el cogollo y follaje, además, puede afectar la panoja, estigmas y granos (Pioneer, 2022). Sin embargo, su distribución cubre grandes áreas geográficas, en gran parte debido a la importante capacidad de dispersión de los adultos que le ha permitido propagarse rápidamente por todo el rango de su especie huésped (Sparks, 1979). Recientemente, esta plaga se introdujo en el continente africano y se está convirtiendo en una gran amenaza para la seguridad alimentaria de África y Asia (Goergen *et al.*, 2016; CABI, 2018; Foodtank, 2018; Sharanabasappa *et al.*, 2018; FAO, 2020; Bruce, 2020; Jing *et al.*, 2020).



**Figura 1.** Estados larvales del FAW dañando considerablemente la mazorca de maíz criollo morado

En América, el uso de insecticidas sintéticos sigue siendo el método principal para el manejo del FAW (Young and McMillian, 1979; Zanuncio *et al.*, 1998; Tavares *et al.*, 2009; Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2019) principalmente con productos como carbamatos, piretroides y organofosforados (Yu *et al.*, 2003), particularmente desde cuando el FAW desarrolló resistencia a algunas variedades de maíz Bt (maíces modificados genéticamente para su protección del ataque de ciertos insectos, principalmente lepidópteros) (Storer *et al.*, 2010; Fatoretto *et al.*, 2017). Las numerosas generaciones del FAW por año en múltiples plantas hospedantes (Fatoretto *et al.*, 2017; Montezano *et al.*, 2018) aumenta el riesgo de desarrollo de resistencia a los insecticidas (Cruz *et al.*, 2012), sin embargo, el uso intensivo de insecticidas para controlar el FAW es problemático, debido al costo de las aplicaciones repetidas y la eficacia variable de los insecticidas (Biles *et al.*, 2010), lo que ha provocado un aumento en el número de casos de resistencia a varios grupos de insecticidas en muchas áreas del mundo (Diez-Rodríguez and Omoto, 2001; Carvalho *et al.*, 2013), además, de que los insecticidas utilizados suelen ser tóxicos para muchos enemigos naturales (parasitoides y depredadores) (Powell *et al.*, 1985), como por ejemplo: para himenópteros, catarinas y crisopas. En los países de América, FAW ha desarrollado resistencia como resultado del control químico (McCord y Yu, 1987; Yu, 1991) a muchos insecticidas (Day *et al.*, 2017; Cui *et al.*, 2018; Prasanna *et al.*, 2018), y más recientemente, el FAW ha desarrollado resistencia a proteínas Bt expresadas en plantas transgénicas (Storer *et al.*, 2010; Storer *et al.*, 2012; Huang *et al.*, 2014).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La revisión bibliográfica incluyó un estudio sistemático utilizando diferentes bases de datos, como son; PubMed, Science Direct, NCBI, Oxford Academic, Taylor & Francis, CABI, Nature, Plos One, EPPO, FAO, IPPC, Bioone y Wiley Online Library. Esta revisión se llevó a cabo de octubre de 2020 a noviembre de 2021. La búsqueda de información para la resistencia a insecticidas se llevó a cabo sin restricción en la fecha de publicación, pero para los nuevos reportes del FAW en las diferentes áreas geográficas se tomaron con 6 años de anterioridad.

La información se capturó de acuerdo con el periodo de la presencia del FAW, así como distribución geográfica en el mundo. Las palabras claves para la búsqueda fueron: FAW, Fall Armyworm, gusano cogollero, gusano del cogollo del maíz, *Spodoptera frugiperda*, plaga principal

del maíz, reporte del gusano cogollero, aparición del gusano cogollero, gusano cogollero en la actualidad, resistencia del gusano cogollero a pesticidas, gusano cogollero e insecticidas, gusano cogollero en el mundo. Con cada dato obtenido se prosiguió a la realización de tablas en un orden cronológico.

## ¿El FAW ha ganado?

La resistencia de los insectos a los insecticidas sigue siendo una barrera seria para el manejo exitoso de las plagas de insectos (WHO, 1957), por ejemplo; las considerables pérdidas económicas causadas por el FAW (Figura 1) en las plantas de maíz llevaron a los productores a depender de una gestión rigurosa basada en el uso de insecticidas químicos, esto fue lo que contribuyó a la evolución de la resistencia a la mayoría de los productos químicos (Carvalho *et al.*, 2013), tan solo en México, los productores de maíz informan que el FAW es la plaga más difícil de manejar, con un estimado de 3,000 t de insecticidas sintéticos que se usan anualmente contra el FAW (Blanco *et al.*, 2014). Esta especie puede reducir los rendimientos de maíz hasta en un 57%, según la temporada de cultivo y el híbrido utilizado (Cruz *et al.*, 1999), por otro lado, varios autores mencionaron que en el maíz se pierde entre el 15% y el 73% del rendimiento (Hruska and Gould, 1997; Hruska and Gladstone, 1998; Blanco *et al.*, 2016; Day *et al.*, 2017; Casmuz *et al.*, 2010), sin embargo, en algunas áreas tropicales las pérdidas pueden alcanzar el 100% (Blanco *et al.* 2016). A pesar de la preferencia del FAW por las plantas de la familia Poaceae, el FAW se convierte cada vez más, en una plaga de importantes cultivos de hoja ancha como el algodón *Gossypium* sp. L. (Malvaceae) y la soya *Glycine máxima* L. (Fabaceae) (Barros *et al.*, 2010).

Han pasado más de 175 años desde que el FAW fue reconocido por primera vez como una plaga económica grave (Luginbill 1928) y debido a su capacidad de vuelo para migrar (Meagher *et al.*, 2004; Capinera 2005) y a que se dispersa a grandes distancias anualmente, se ha extendido cada vez más por todo el mundo en los últimos años (UF, 2021), por ejemplo; los adultos del FAW pueden volar más de 100 km por noche (Johnson, 1987), e incluso pueden migrar cientos o miles de km con vientos de gran altitud durante varias noches sucesivas (Johnson, 1987; Westbrook *et al.*, 2016; Early *et al.*, 2018), motivo probable por el cual el FAW actualmente es reportado por primera vez en diferentes partes del mundo (Tabla 1) y se encuentra entre las 15 especies de plagas de insectos más resistentes en el planeta (Sparks *et al.*, 2020).

**Tabla 1. Lugares en lo que se ha reportado por primera vez al FAW durante los últimos seis años.**

Lugar en que fue reportado	Año de reporte	Referencias
África Occidental, Central Oriental y Sur (44 países)	2016-2017	Goergen <i>et al.</i> , 2016 Cock <i>et al.</i> , 2017 Otim <i>et al.</i> , 2018 Day <i>et al.</i> , 2017
India, Yemen, Sri Lanka, Bangladesh, Tailandia y Myanmar (Asia)	2018	CABI, 2018 FAO, 2019 JingFei <i>et al.</i> , 2018 EPPO, 2019c
Karnataka in southwest India	2018	Sharanabasappa <i>et al.</i> , 2018
Yunnan, China (Asia)	2019	Tay y Gordon, 2019 Jing <i>et al.</i> , 2020 Yee <i>et al.</i> , 2019 NATESC, 2019ab Wu <i>et al.</i> , 2019 Li <i>et al.</i> , 2020
Egipto (África)	2019	Dahi <i>et al.</i> , 2020
Indonesia (Asia)	2019	Sartiami <i>et al.</i> , 2020
Malasia (Asia)	2019	Jamil <i>et al.</i> , 2021
Japón (Asia)	2019	EPPO, 2019a
Filipinas (Asia)	2019	EPPO, 2019b
Estrecho de Torres, parte de Australia y Australia continental (Oceanía)	2020	IPPC, 2020 DAPGQ, 2020
República de Corea (Asia)	2020	FAO e IPPC, 2020a
Nueva Caledonia (Oceanía)	2020	FAO e IPPC, 2020b
Vietnam e Indonesia (Asia)	2020	Hang <i>et al.</i> , 2020 Ginting <i>et al.</i> , 2020 (EPPO, 2020)
Israel (Asia)	2020	FAO e IPPC, 2020c
Emiratos Árabes (Asia)	2020	FAO e IPPC, 2020d
Jordania (Asia)	2020	FAO e IPPC, 2020e
Siria (Asia)	2020	Heinoun <i>et al.</i> , 2021
Mauritania (África) y Timor-Leste (Asia)	2020	FAO, 2021a
Islas Salomón (Oceanía)	2021	FAO e IPPC, 2021a

El FAW se alimenta de 353 especies en 76 familias de plantas, que incluyen varios cultivos de importancia económica (Montezano *et al.*, 2018), sin embargo, el FAW que ha sido reportado por primera vez es muy importante, ya que, tendrá efectos a largo plazo en el rendimiento de los cultivos, el suministro de alimentos, los medios de vida, el comercio y amenazará la capacidad de recuperación de las poblaciones crónicamente vulnerables (AGRILINKS, 2021). Por ejemplo; anteriormente, solo en los Estados Unidos (principal productor de maíz en el mundo), las pérdidas causadas por esta plaga se estimaban en USD \$ 300 millones anuales (Knippling, 1980), ahora en la actualidad, de solo 12 países africanos, se podrían perder hasta 17.7 Mt de maíz anualmente debido al FAW o, equivalente a USD 2.5 - 6.2 mil millones, suficiente para alimentar a decenas de millones de personas (FAO e IPPC, 2021b). Resaltando que el maíz es el cultivo de

cereales más importante en África subsahariana, ya que representa el 30% de la ingesta calórica de su población, y en algunas zonas como Lesotho, Zambia y Malawi, representa más del 50%, es decir, más de 300 millones de africanos dependen del maíz como principal cultivo alimentario (Harashima, 2007; Shiferaw *et al.*, 2011; IITA, 2021; Bayer, 2021). Desde el 2016 hasta la fecha se ha reportado la presencia del FAW en 45 países africanos (Rwomushana *et al.*, 2018; CABI, 2019), sin embargo, en el 2019 se reportó a Egipto como otro país de África con presencia del FAW (Tabla 1), es decir, a la fecha van 46 países de África con incidencia del FAW. Por otro lado, Nagoshi *et al.*, (2018) mencionan que se esperan daños significativos en el rendimiento de los cultivos de maíz africano y una alta probabilidad de una mayor dispersión, lo que pone en riesgo al resto del hemisferio oriental y si no se atiende, la destrucción continua por el gusano cogollero, que conduce a la

reducción de los rendimientos, agravaría las ya precarias condiciones de más de 400 millones de africanos que viven por debajo del umbral de la pobreza (Donna y Divyanshi, 2018).

A pesar de estas estimaciones, en varios países afectados por el ataque del FAW, las respuestas de los agricultores africanos se han basado predominantemente en el uso de plaguicidas químicos (FAO, 2021b), sin embargo, la eficiencia de una estrategia de gestión basada en el control químico no está garantizada, debido a que el FAW ha desarrollado resistencia a varios ingredientes activos, sin mencionar los impactos adversos de los plaguicidas en los insectos no objetivo, daños al medio ambiente y daños en el ser humano, por ejemplo, el contacto en periodos largos con insecticidas puede traer efectos negativos, como indigestión, dolores de cabeza, vómitos, manchas en la piel, dolor en los ojos y ocasionar reacciones alérgicas, no obstante, estudios indican que el uso de estos productos químicos pueden estar relacionados con algunas enfermedades, como son; cáncer, leucemia, parkinson, asma, neuropsicológicos y cognitivos (Yu, 1991; Özkara *et al.*, 2016; FAO y CABI, 2019; González, 2019; Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2019, INSP, 2022), por otro lado, el FAW es resistente a al menos 29 ingredientes activos de insecticidas en seis modos de acción (Mota-Sánchez y Wise 2017; Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2019). Las aproximaciones prevén que, en ausencia de medidas de control adecuadas, el FAW puede poner en riesgo cultivos valorados en USD \$ 13 000 millones al año en todo el África subsahariana (Day *et al.*, 2017; Rwomushan *et al.*, 2018).

### Resistencia del FAW al control químico

Los agricultores tienen diversas formas de conocimiento para abordar los problemas de plagas, pero la mayoría optan por el uso de insecticidas, pero ese conocimiento a menudo se descuida (Mendesil *et al.*, 2007) y con lleva a tomar otras medidas, por ejemplo, el control químico es uno de los métodos clave para controlar el FAW en América y África (Williams and Davis, 2002), y cabe resaltar que la mayoría de los productos químicos están diseñados para ser tóxicos para las plagas y se debe considerar el riesgo asociado para todas las demás formas de vida (FAO, 2021c). Además, cabe señalar que el número de casos de resistencia notificados en todo el mundo ha aumentado continuamente a lo largo de años (Sparks y Nauen 2015), por ejemplo, uno de los primeros casos de resistencia reportado del FAW fue al ingrediente activo (i.a.) DDT ( $\text{C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5$ ) en 1965 en Venezuela y al Lindano ( $\text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$ ) en Paraguay (ambos

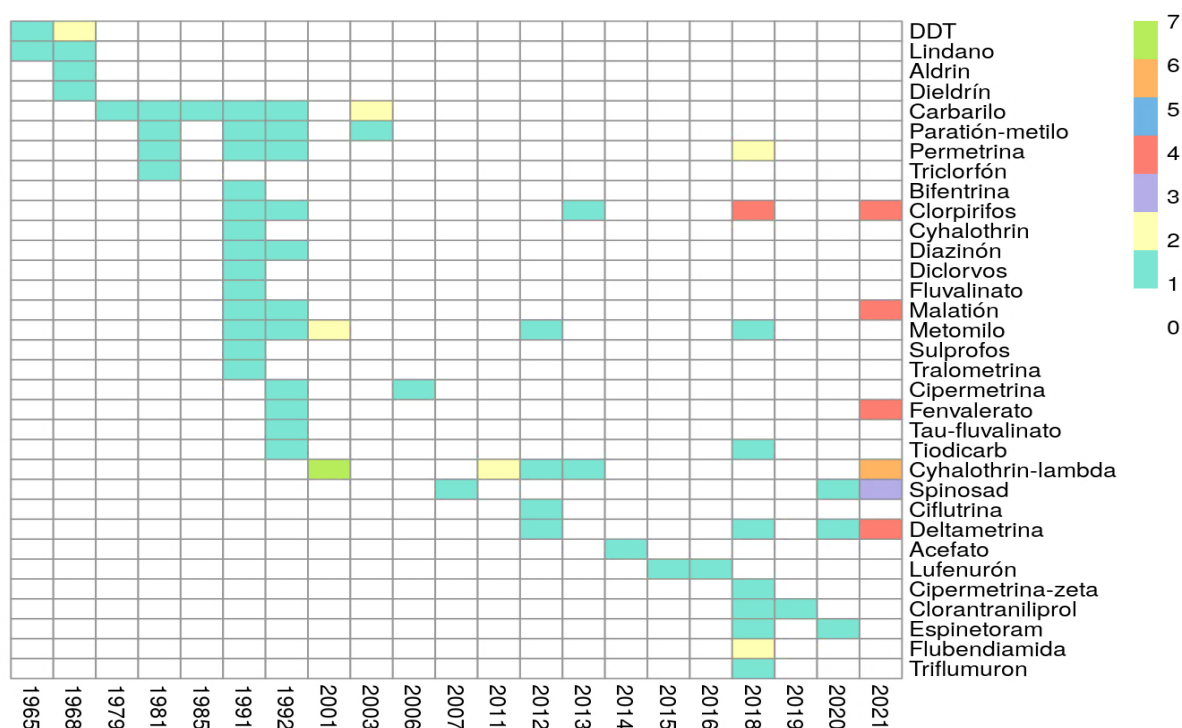
organoclorados), y desde entonces los casos de resistencia a diversos i.a. se han reportado hasta la actualidad (2021); es decir, el FAW actualmente es resistente a 33 i.a. en diferentes partes del mundo (Figura 2, Tabla 2) (Mota-Sánchez y Wise 2021).

### Resistencia del FAW a cultivos Bt

Debido al desarrollo de resistencia por parte de los de los métodos empleados para el control del FAW, los agricultores no pueden obtener resultados de manejo satisfactorios contra el FAW, en la actualidad, las estrategias para su manejo incluyen el uso de insecticidas químicos y la utilización de maíces transgénicos que expresan toxinas derivadas de la bacteria *Bacillus thuringiensis* Berliner (las cuales tienen un potencial para utilizarse como agentes de control del FAW), denominados maíces Bt. Por otro lado, la disponibilidad de plantas Bt han proporcionado opciones valiosas para el manejo de ciertas plagas de insectos con considerables beneficios ambientales y económicos para los productores en comparación con los insecticidas químicos (Betz *et al.*, 2000; Brookes y Barfoot, 2014), además, representan una revolución tecnológica en el control de plagas agrícolas y pueden conferir un mejor manejo de plagas, una reducción de las aplicaciones de plaguicidas, un mayor rendimiento y una reducción de las poblaciones de plagas en toda el área (Carriere *et al.*, 2003; Christou *et al.*, 2006; Hutchison *et al.*, 2010), por lo que, los cultivos Bt son una herramienta importante para controlar plagas de insectos en todo el mundo (Carrière *et al.*, 2010; James, 2016), por ejemplo, las tecnologías de maíz que expresan proteínas Bt han tenido éxito en el control de *S. frugiperda* (Okumura *et al.*, 2013; Bernardi *et al.*, 2015; Aguirre *et al.*, 2015; Aguirre *et al.*, 2016).

Desde finales de la década de 1990, el maíz y el algodón Bt se han utilizado para controlar varias larvas de lepidópteros, incluido el FAW (Williams *et al.*, 1997; Lynch *et al.*, 1999; Buntin *et al.*, 2004), para ser más precisos, desde 1996, los cultivos transgénicos que expresan proteínas de *B. thuringiensis* se han plantado ampliamente en muchos países para plagas objetivo (James, 2014), y el FAW es una de las principales plagas objetivo (Siebert *et al.*, 2008ab) de los cultivos Bt (por ejemplo, maíz, algodón y soja) en América (Huang, 2021), sin embargo, los cultivos Bt no controlan adecuadamente varias especies de plagas secundarias (Zhao *et al.*, 2011), a pesar de esto, la evolución de la resistencia de los insectos a cultivos transgénicos que contienen genes de *B. thuringiensis* es una seria amenaza para la sostenibilidad de esta tecnología (Huang *et al.*, 2014).





**Figura 2.** Frecuencia de casos de resistencia del FAW a 33 i.a. de insecticidas desde el primer reporte hasta la actualidad. Color verde pistache= siete casos reportados, color naranja= seis casos reportados, color azul= cinco casos reportados, color rojo= cuatro casos reportados, color morado= tres casos reportados, color amarillo= dos casos reportados, color verde pistache= un caso reportado, color blanco= ningún caso reportado.

**Tabla 2.** Lugar y fecha de casos de resistencia del FAW a 33 ingredientes activos de insecticidas desde el primer reporte hasta la actualidad.

Ingrediente activo	Año de reporte	Lugar en que fue reportado
Acefato	2014	Puerto Rico
Aldrin	1968	Bolivia
Bifentrina	1991	Gainesville, Florida, USA
	1979	Ashburn, Georgia, USA
	1981	Luisiana, USA
	1985	México
Carbarilo	1991	Gainesville, Florida, USA
	1992	Florida, USA
	2003	Citra, Florida, USA
	2003	Citra, Florida, USA
Clorantraniliprol	2018	Ponce, Puerto Rico
	2019	Correntina, Bahia, Brasil
	1991	Gainesville, Florida, USA
	1992	USA
	2013	Minas Gerais, Brasil
	2018	Puerto Rico
	2018	Huatabampo, Sonora, México
Clorpirifos	2018	Torreón, Coahuila, México
	2018	San Pablo Huitzo, Oaxaca, México
	2021	Linzhi, Tibet, China
	2021	Quanzhou, Fujian, China
	2021	Yuanmou, Yunnan, China
	2021	Xundian, Yunnan, China
Ciflutrina	2012	Riviera Maya, Quintana Roo, México
Cyhalothrin	1991	Gainesville, Florida, USA

<b>Ingrediente activo</b>	<b>Año de reporte</b>	<b>Lugar en que fue reportado</b>
Lambdacialotrina	2001	Brasil
	2001	Brasil
	2001	Guaira, Sao Paulo, Brasil
	2001	Libertador, Estado Aragua, Venezuela
	2001	Libertador, Estado Aragua, Venezuela
	2001	Libertador, Estado Aragua, Venezuela
	2001	Libertador, Estado Aragua, Venezuela
	2011	Mariquita and San Luis, Tolima, Colombia
	2011	Ambalema y Buenos Aires, Tolima, Colombia
	2012	Riviera Maya, Quintana Roo, México
	2013	Mato Grosso, Brasil
	2021	Yuanmou, Yunnan, China
	2021	Xundian, Yunnan, China
	2021	Quanzhou, Fujian, China
	2021	Haikou, Hainan, China
Cipermetrina	2021	Linzhi, Tibet, China
	2021	Yunnan, China
	1992	Florida, USA
Cipermetrina-zeta	2006	USA
	2018	Ponce, Puerto Rico
DDT	1965	Venezuela
	1968	Bolivia
	1968	Florida, USA
	2012	Riviera Maya, Quintana Roo, México
	2018	Ponce, Puerto Rico
Deltametrina	2020	São Desidério, Bahia, Brasil
	2021	Haikou, Hainan, China
	2021	Quanzhou, Fujian, China
	2021	Xundian, Yunnan, China
	2021	Yuanmou, Yunnan, China
Diazinón	1991	Gainesville, Florida, USA
	1992	Florida, USA
Diclorvos	1991	Gainesville, Florida, USA
Dieldrín	1968	Bolivia
	1992	Florida, USA
	2021	Linzhi, Tibet, China
	2021	Haikou, Hainan, China
Fenvalerato	2021	Quanzhou, Fujian, China
	2021	Quanzhou, Yunnan, China
	2018	Ponce, Puerto Rico
	2018	Sinaloa, México
Flubendiamida	1991	Gainesville, Florida, USA
Fluvalinato	1965	Paraguay
	1968	Bolivia
Lindano	2015	Montevideu, Goias, Brasil
	2016	Montevideu, Goias, Brasil
	1991	Gainesville, Florida, USA
Lufenurón	1992	Florida, USA
	2021	Linzhi, Tibet, China
	2021	Quanzhou, Yunnan, China
	2021	Xundian, Yunnan, China

<b>Ingrediente activo</b>	<b>Año de reporte</b>	<b>Lugar en que fue reportado</b>
Metomilo	2021	Yuanmou, Xundian, China
	1991	Gainesville, Florida, USA
	1992	Florida, USA
	2001	Libertador, Estado Aragua, Venezuela
	2001	Libertador, Estado Aragua, Venezuela
	2012	Rivera Maya, Quintana Roo, México
Paratión-metilo	2018	Ponce, Puerto Rico
	1981	Louisiana, USA
	1991	Gainesville, Florida, USA
	1992	Florida, USA
	2003	Citra, Florida, USA
	1981	Louisiana, USA
Permetrina	1991	Gainesville, Florida, USA
	1992	Florida, USA
	2018	San Pablo Huitzo, Oaxaca, México
	2018	Ponce, Puerto Rico
Espinetoram	2018	Ponce, Puerto Rico
	2020	Bahia, Barreiras, Brasil
	2007	Sao Desidério, Estado de Bahia, Brasil
Spinosad	2020	Bahía, Barreiras, Brasil
	2021	Xundian, Yunnan, China
	2021	Quanzhou, Fujian, China
	2021	Linzhi, Tibet, China
Sulprofos	1991	Gainesville, Florida, USA
Tau-fluvalinato	1992	Florida, USA
Tiodicarb	1992	Florida, USA
	2018	Ponce, Puerto Rico
Tralometrina	1991	Gainesville, Florida, USA
Triclorfón	1981	Luisiana, USA
Triflumuron	2018	Ponce, Puerto Rico

El maíz transgénico que expresaba la proteína Cry1F (Evento TC1507, tecnología de protección contra insectos Herculex® I de Dow AgroSciences y DuPont Pioneer) se registró por primera vez en E.U. en 2001 y fue para el control de varias plagas, incluida el FAW (Storer *et al.*, 2012), posterior a la comercialización de cultivos transgénicos que producen proteínas insecticidas de *B. thuringiensis* en los Estados Unidos, el uso de insecticidas sintéticos disminuyó un 47.8% (Brookes and Barfoot, 2017). En 2003, el maíz Cry1F se plantó comercialmente por primera vez en Puerto Rico para ensilaje y granjas lecheras (Storer *et al.*, 2010), para controlar el FAW (Hardke *et al.*, 2011), el evento TC1507 se introdujo por primera vez en Brasil en 2009 para el manejo del FAW (Cruz *et al.*, 1999), no obstante, la producción de cultivos Bt se ha ido incrementado año con año, por ejemplo; en 2012, se plantaron cultivos Bt en unos 70 Mha en todo el mundo (James, 2012), en el 2013 fue de 75.9 Mha, en el 2014 se plantaron más de 77 Mha en 25 países del mundo, compuesto por 62.4% de

maíz, 31.1% de algodón y 6.5% de soja (James, 2014).

El FAW es la primera y la única plaga objetivo que ha desarrollado resistencia de campo a cultivos Bt en diferentes países y continentes (Dangal y Huang, 2015; Li *et al.*, 2016). Los informes de resistencia del FAW a Cry1F aparecieron por primera vez en el maíz cultivado en Puerto Rico en 2006 y luego se confirmó en 2010, en Brasil, el FAW ha desarrollado una resistencia relevante en el campo a la proteína Cry1F expresada en el maíz Herculex (Farias *et al.*, 2014) y a la proteína Cry1Ab en el maíz MON810 (Omoto *et al.*, 2016), también el FAW desarrolló resistencia en el Sureste de Estados Unidos y Argentina (Matten *et al.*, 2008; Storer *et al.*, 2010; Storer *et al.*, 2012; Huang *et al.*, 2014; Farias *et al.*, 2014; Velez *et al.* 2014; Monnerat *et al.*, 2015; Jakka *et al.*, 2016; Omoto *et al.*, 2016; Santos-Amaya *et al.*, 2016; Chandrasena *et al.*, 2018; Schlum *et al.*, 2021), cabe resaltar que en Puerto Rico, los FAW del otoño muestran un



nivel mayor de resistencia desarrollada en el campo a una amplia gama de insecticidas en comparación con México (Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2019).

Además, en Puerto Rico el FAW ha desarrollado una resistencia en el campo a las proteínas Bt Cry1F, Cry1Ac y Cry1Ab (Blanco *et al.*, 2010, Storer *et al.*, 2010), sin embargo, para aumentar la eficacia del control de plagas y retrasar la evolución de la resistencia de los insectos, ya que, la evolución de la resistencia a las proteínas Bt en los insectos es una amenaza para el uso sostenible de la tecnología de cultivos Bt (Huang *et al.*, 2011; Tabashnik *et al.*, 2013; Carrière *et al.*, 2015), se ha empleado una estrategia de genes piramidales en plantas transgénicas para producir dos o más proteínas Bt en un solo cultivo, eficaces contra las mismas especies de plagas objetivo (Lu *et al.*, 2012), es decir, la pirámide se trata de dos o más proteínas Bt diferentes en un solo cultivo para el control de la misma plaga de insectos, y es una de las principales estrategias para retrasar la evolución de la resistencia de los insectos (Zhao *et al.*, 2003; Carrière *et al.*, 2016). Se necesita con urgencia implementar estrategias efectivas de manejo de la resistencia a los insecticidas para esta importante especie de plaga de cultivos cruzados (Yang *et al.*, 2016). Por otro lado, las ventajas de los cultivos Bt, incluyen; la disminución de la dependencia de insecticidas químicos, baja o nula exposición por parte de los trabajadores a aplicaciones de tales insecticidas, conservación de los enemigos naturales, supresión de plagas a nivel regional e incremento o estabilidad de los rendimientos (Szwarc, 2019).

## CONCLUSIÓN

El desarrollo de nuevas moléculas de insecticidas químicos y la aparición de la tecnología Bt no ha logrado un buen control del FAW. Por lo que se necesitan implementar nuevas estrategias de manejo para el FAW no solo en México, sino en todos los lugares con presencia de este, por ejemplo; el uso de productos biorracionales mediante el monitoreo de los adultos con trampas de feromonas, esto para evitar un mayor incremento de resistencia a i.a. de insecticidas y cultivos Bt, de no ser así el FAW estará presente en más lugares del mundo poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de más países.

## Acknowledgements

The authors express their deep gratitude to comments and suggestions of the anonymous reviewers who have undoubtedly helped to strengthen the present review.

**Funding.** There was no source of funding either public or private.

**Conflict of interest.** The authors declare non existing personal or institutional conflict of interest.

**Compliance with ethical standards.** Due to the nature of the study this does not apply

**Data availability.** The data are available in the cited literature.

**Author contribution statement (CRediT).** E. Cerna-Chávez, J.L. Arispe-Vázquez, J. Mayo-Hernández, conceptualization and writing review, L.A. Aguirre-Uribe, Y.M. Ochoa-Fuentes, A. Hernández-Juárez, E. Castro-Del Ángel, supervision of manuscript, writing, review and editing.

## REFERENCIAS

- AGRILINKS, 2021. Feed the Future Tools to Combat Fall Armyworm in Africa. <https://agrilinks.org/post/feed-future-tools-combat-fall-armyworm-africa> [Accessed 10 mayo 2021].
- Aguirre, L. A., Hernández, A., Flores, M., Pérez-Zubiri, R., Cerna, E., Landeros, J. and Frías, G. A., 2015. Comparación del nivel de daño de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en plantas de maíz genéticamente modificado y convencional en el norte de México. *The Southwestern Entomologist*, 40, pp. 171-178. <https://doi.org/10.3958/059.040.0115>
- Aguirre, L. A., Hernández-Juárez, A., Flores, M., Cerna, E., Landeros, J., Frías, G. A. and Harris, M. K., 2016. Evaluation of foliar damage by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to genetically modified corn (Poales: Poaceae) in Mexico. *Florida Entomologist*, 99, pp. 276-280. <https://doi.org/10.1653/024.099.0218>
- Andrews, K. L., 1988. Latin American research on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Florida Entomologist*, 71, pp. 630-653. <https://doi.org/10.2307/3495022>
- Arispe-Vázquez, J. L., Aguirre-Uribe, L. A., Ángel, E. C. D., Ochoa-Fuentes, Y. M., Cerna-Chávez, E., and Hernández-Juárez, A., 2021. Natural resistance of native and

- commercial maize to fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, and corn earworm, *Helicoverpa zea*, and their relationship with ear rot. *The Southwestern Entomologist*, 46(4), pp. 813-824.  
<https://doi.org/10.3958/059.046.0402>
- Ashley, T. R., Wiseman, B. R., Davis, F. M. and Andrews, K. L., 1989. The fall armyworm: a bibliography. *Florida Entomologist*, 72, pp. 152–202.  
<https://doi.org/10.2307/3494982>
- Barros, E., Torres, J., Ruberson, J. and Oliveira, M., 2010. Development of *Spodoptera frugiperda* on different hosts and damage to reproductive structures in cotton. *Entomología Experimentalis et Applicata*, 137, pp. 237–245.  
<https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2010.01058.x>
- Bayer, 20221. Fall Armyworm: Combatting Another Invasive Pest Amidst the Pandemic.  
<https://www.bayer.com/en/news-stories/fall-armyworm-combatting-another-invasive-pest-amidst-the-pandemic> [Accessed 02 enero 2021].
- Bernardi, O., Bernardi, D., Amado, D., Sousa, R. S., Fatores, J., Medeiros, F. C., Conville, J., Burd, T. and Omoto, C., 2015. Resistance risk assessment of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea saccharalis* (Lepidoptera: Crambidae) to Vip3Aa20 insecticidal protein expressed in corn. *Journal of Economic Entomology*, 108(6), pp. 2711–2719. <https://doi.org/10.1093/jee/fov219>
- Biles, S. P., Bynum, E., Cronholm, G. B., Parker, R. D., Patrick, C. D., Porter, P. and Troxclair, N., 2010. Managing Insect and Mite Pests of Texas Corn E-400. Texas A&M AgriLife Extension, College Station, TX.
- Blanco, C. A., Pellegaud, J. G., Nava-Camberos, U., Lugo-Barrera, D., Vega-Aquino, P., Coello, J., Terán-Vargas, A. P. and Vargas-Camplis, J., 2014. Maize pests in Mexico and challenges for the adoption of integrated pest management programs. *Journal of Integrated Pest Management*, 5, pp. 1–9.  
<https://doi.org/10.1603/IPM14006>
- Blanco, C. A., Chiaravalle, W., Rizza, M. D., Farias, J. R., Degano, M. F. G., Gastaminza, G., Sánchez, D. M., Murúa, M. G., Omoto, C., Pieralisi, B. K., Rodríguez, J., Rodríguez-Macié, J. C., Terán-Santofimio, H., Terán-Vargas, A. P., Valencia, S. J. and Willink, E., 2016. Current situation of pests targeted by Bt crops in Latin America. *Current Opinion in Insect Science*, 15, pp. 131–138.  
<https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.04.012>
- Brookes, G. and Barfoot, P., 2014. GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996–2012. Dorchester, UK: PG Economics. [www.pgeconomics.co.uk](http://www.pgeconomics.co.uk) [Accessed 05 diciembre 2020].
- Brookes, G. and Barfoot, P., 2017. Environmental impacts of genetically modified GM crop use 1996–2015: impacts on pesticide use and carbon emissions. *GM Crops & Food*, 8(2), pp. 117–147.  
<https://doi.org/10.1080/21645698.2017.1309490>
- Bruce, T., 2020. This 'Very Hungry Caterpillar' is wreaking havoc in fields around the world. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/agenda/2019/07/fall-armyworm-asia-devastating-crops/> [Accessed 18 enero 2021].
- Buntin G. D., All, J. N., Lee, R. D. and Wilson, D. M., 2004. Plant-incorporated *Bacillus thuringiensis* resistance for control of fall armyworm and corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) in corn. *Journal of Economic Entomology*, 97, pp. 1603–1611. <https://doi.org/10.1603/0022-0493-97.5.1603>
- Centre for Agriculture and Bioscience International (CABI), 2018. CABI warns of rapid spread of crop-devastating fall armyworm across Asia. <https://www.cabi.org/news-article/cabi-warns-of-rapid-spread-of-crop-devastating-fall-armyworm-across-asia/> [Accessed 10 octubre 2020].
- Centre for Agriculture and Bioscience International (CABI), 2019. Centre for Agriculture and Bioscience International. Fall Armyworm (FAW). In “Invasive Species Compendium”.  
<https://www.cabi.org/isc/fallarmyworm> [Accessed 06 enero 2021].
- Capinera, J. L., 2005. Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). IFAS Extension, University of Florida, pp. 1–6.

- Carrière, Y., Crickmore, N. and Tabashnik, B. E., 2015. Optimizing pyramided transgenic Bt crops for sustainable pest management. *Nature Biotechnology*, 33, pp. 161-168. <https://doi.org/10.1038/nbt.3099>
- Carrière, Y., Ellers-Kirk, C., Sisterson, M., Antilla, L., Whitlow, M., Dennehy, T. J. and Tabashnik, B. E., 2003. Long-term regional suppression of pink bollworm by *Bacillus thuringiensis* cotton. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, pp. 1519-1523. <https://doi.org/10.1073/pnas.0436708100>
- Carrière, Y., Fabrick, J. A. and Tabashnik, B. E., 2016. Can pyramids and seed mixtures delay resistance to Bt crops? *Trends in Biotechnology*, 34(4), pp. 291-302. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.12.011>
- Carrière, Y., Crowder, D. W. and Tabashnik, B. E., 2010. Evolutionary ecology of insect adaptation to Bt crops. *Evolutionary Applications*, 3, pp. 561-73. <https://dx.doi.org/10.1111%2Fj.1752-4571.2010.00129.x>
- Carvalho, R. A., Omoto, C., Field, L. M., Williamson, M. S. and Bass, C., 2013. Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *Plos One*, 8(4), pp. e62268. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062268>
- Casio-Siloto, R., 2002. Danos e biologia de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em genótipos de milho. Tesis de Maestría. Universidad de Sao Paulo, Brasil. pp.1-93.
- Casmuz, A., Juárez, M. L., Socías, M.G., Murúa, M. G., Prieto, S., Medina, S., Willink, E. and Gastaminza, G., 2010. Review of the host plants of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 69, pp. 209-231.
- Christou, P., Capell, T., Kohli, A., Gatehouse, J. A. and Gatehouse, A. M., 2006. Recent developments and future prospects in insect pest control in transgenic crops. *Trends in Plant Science*, 11(6), pp. 302-308. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.04.001>
- Clark, P.L., Molina-Ochoa, J., Martinelli, S., Skoda, S. R., Isenhour, D. J., Lee, D. J., Krumm, J. T. and Foster, J. E., 2007. Population variation of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in the Western Hemisphere. *Journal of Insect Science*, 7, pp. 5. <https://doi.org/10.1673/031.007.0501>
- Cock, M. J. W., Beseh, P. K., Buddie, A. G., Cafa, G. and Crozier, J., 2017. Molecular methods to detect *Spodoptera frugiperda* in Ghana, and implications for monitoring the spread of invasive species in developing countries. *Scientific Reports*, 7, pp. 4103. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04238-y>
- Cui, G., Sun, R., Veeran, S., Shu, B., Yuan, H. and Zhong, G., 2020. Combined transcriptomic and proteomic analysis of harmine on *Spodoptera frugiperda* Sf9 cells to reveal the potential resistance mechanism. *Journal of Proteomics*, 211, pp. 103573. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2019.103573>
- Cruz, I., 1995. A lagarta-do-cartucho na cultura do milho, EMBRAPA-CNPMS Circular técnica, Vol. 21, Sete Lagoas, MG.
- Cruz, I., Corrêa F. M., da Silva, R. B., Fernandes, D. S. I., de Souza, P. C. and Foster, J. E., 2012. Using sex pheromone traps in the decision-making process for pesticide application against fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* [Smith] [Lepidoptera: Noctuidae]) larvae in maize. *International Journal of Pest Management*, 58, pp. 83-90. <https://doi.org/10.1080/09670874.2012.655702>
- Cruz, I., Figueiredo, M., Oliveira, A. C. and Vasconcelos, C. A., 1999. Damage of *Spodoptera frugiperda* (Smith) in different maize genotypes cultivated in soil under three levels of aluminium saturation. *International Journal of Pest Management*, 45, pp. 293-296. <https://doi.org/10.1080/096708799227707>
- Dahi, H. F., Salem, S. A. R., Gamil, W. E. and Mohamed, H. O., 2020. Heat Requirements for the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) as a New Invasive Pest in Egypt. *Egyptian*

- Academic Journal of Biological Sciences*, 13(4), pp. 73-85. <https://doi.org/10.21608/eajbsa.2020.120603>
- Dangal, V. and Huang, F., 2015. Fitness costs of Cry1F resistance in two populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), collected from Puerto Rico and Florida. *Journal of Invertebrate Pathology*, 127, pp. 81–86. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.03.004>
- Queensland Government Department of Agriculture and Fisheries (DAPGQ)., 2020.. First mainland detection of fall armyworm. <https://www.daf.qld.gov.au/business-priorities/agriculture/plants/fruit-vegetable/insect-pests/fall-armyworm> [Accessed 18 febrero 2021].
- Day, R., Abrahams, P., Bateman, M., Beale, T., Clotey, V., Cock, M., Colmenarez, Y., Corniani, N., Day, R., Early, R., Godwin, J. L., Gomez, J., Moreno, P. G., Murphy, S. T., Oppong-Mensah, B., Phiri, N., Pratt, C., Silvestri, S. and Witt, A., 2017. Fall armyworm: Impacts and implications for Africa. *Outlooks on Pest Management*, 28, pp. 196–201. [https://doi.org/10.1564/v28\\_oct\\_02](https://doi.org/10.1564/v28_oct_02)
- Diez-Rodríguez, G. and Omoto, C., 2001. Herança da resistência de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambdacialotrina. *Neotropical Entomology*, 30, pp. 311-316.
- Donna, B. and Divyanshi, W., 2018. Year in Review: 2018 in 14 Charts. [https://www.worldbank.org/en/news/feature/2018/12/21/year-in-review-2018-in-14-charts?cid=ECR\\_TT\\_WorldBank\\_EN\\_EXT](https://www.worldbank.org/en/news/feature/2018/12/21/year-in-review-2018-in-14-charts?cid=ECR_TT_WorldBank_EN_EXT) [Accessed 10 febrero 2021].
- Du Pont Pioneer (Pioneer)., 2022. Manejo de gusano cogollero en cultivos de maíz. [https://www.pioneer.com/cmroot/international/argentina\\_intl/agronomia/manejo\\_de\\_gusano\\_cogollero\\_en\\_maiz.pdf](https://www.pioneer.com/cmroot/international/argentina_intl/agronomia/manejo_de_gusano_cogollero_en_maiz.pdf) [Accessed 04 febrero 2022].
- Early, R., González-Moreno, P., Murphy, S. T. and Day, R., 2018. Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the Fall Armyworm. *NeoBiota*, 40, pp. 25-50. <https://doi.org/10.3897/neobiota.40.28165>
- European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO)., 2019a. First report of *Spodoptera frugiperda* in Japan. <https://gd.eppo.int/reporting/article-6568> [Accessed 21 enero 2021].
- European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO)., 2019b. First report of *Spodoptera frugiperda* in the Philippines. <https://gd.eppo.int/reporting/article-6666> [Accessed 21 enero 2021].
- European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO)., 2019c. European and Mediterranean Plant Protection Organization. First report of *Spodoptera frugiperda* in Myanmar. <https://gd.eppo.int/reporting/article-6435> [Accessed 21 enero 2021].
- European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO)., 2020.. First report of *Spodoptera frugiperda* in Israel. <https://gd.eppo.int/reporting/article-6839> [Accessed 21 enero 2021].
- Food and Agriculture Organization and Centre for Agricultural Bioscience International. (FAO and CABI)., 2019. Community-Based Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda*) Monitoring, Early Warning and Management Training of Trainers Manual First Edition.
- Food and Agriculture Organization and International Plant Protection Convention (FAO and IPPC)., 2020a.. Report of first detection of Fall Armyworm (FAW) in 2020 of Republic of Korea. <https://www.ippc.int/en/countries/republic-of-korea/pestreports/2020/05/report-of-first-detection-of-fall-armyworm-faw-in-2020-of-republic-of-korea/> [Accessed 25 febrero 2021].
- Food and Agriculture Organization and International Plant Protection Convention (FAO and IPPC)., 2020b.. Detection of *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm) in New Caledonia. <https://www.ippc.int/es/countries/new-caledonia/pestreports/2021/01/-0/> [Accessed 25 febrero 2021].
- Food and Agriculture Organization and International Plant Protection Convention (FAO and IPPC)., 2020c. First detection of Fall armyworm in the United Arab Emirates. <https://www.ippc.int/en/news/first->

- detection-of-fall-armyworm-in-the-united-arab-emirate/ [Accessed 25 febrero 2021].
- Food and Agriculture Organization and International Plant Protection Convention (FAO and IPPC)., 2020d. Food and Agriculture Organization and International Plant Protection Convention. Report of first detection of *Spodoptera frugiperda* - Fall Armyworm (FAW) in Jordan. <https://www.ippc.int/es/countries/jordan/pestreports/2020/09/report-of-first-detection-of-spodoptera-frugiperda-fall-armyworm-faw-in-jordan-1/> [Accessed 25 febrero 2021].
- Food and Agriculture Organization and International Plant Protection Convention (FAO and IPPC)., 2020e.. First record of Fall Armyworm in Syria. <https://www.ippc.int/en/countries/syrian-arab-republic/pestreports/2020/12/first-record-of-army-warm-in-syria/> [Accessed 27 febrero 2021].
- Food and Agriculture Organization and International Plant Protection Convention (FAO and IPPC)., 2021a. *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm) detections Solomon Islands. <https://www.ippc.int/en/countries/solomon-islands/pestreports/2021/10/spodoptera-frugiperda-fall-armyworm-detections-solomon-islands/> [Accessed 28 febrero 2021].
- Food and Agriculture Organization and International Plant Protection Convention. (FAO and IPPC)., 2021b. About Fall Armyworm. <https://www.ippc.int/en/the-global-action-for-fall-armyworm-control/about-fall-armyworm/> [Accessed 28 febrero 2021].
- Food and Agriculture Organization (FAO, 2019). Global Action for Fall Armyworm Control. <https://www.fao.org/fall-armyworm/faw-monitoring/faw-map/es/> [Accessed 28 febrero 2021].
- Food and Agriculture Organization (FAO)., 2021a. Fall Armyworm: Map of the Worldwide Spread of Fall Armyworm Since 2016 (as of March 2020), Compiled Using Information from a Range of Sources, Including FAO, International Plant Protection Convention, CABI, the European and Mediterranean Plant Protection Organization, and National Governments. Published online at Fao.org. 2020. <http://www.fao.org/fall-armyworm/monitoring-tools/faw-map/en/> [Accessed 28 febrero 2021].
- Food and Agriculture Organization (FAO)., 2021b. Community-based fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) monitoring, early warning and management <https://www.fao.org/publications/card/es/c/CA2924EN/> [Accessed 28 febrero 2021].
- Food and Agriculture Organization (FAO)., 2021c. Global Action for Fall Armyworm Control. <https://www.fao.org/fall-armyworm/sustainablemanagement/pesticide-guidance/en/> [Accessed 28 febrero 2021].
- Food and Agriculture Organization (FAO)., 2020a. Forecasting threats to the food chain affecting food security in countries and regions Food Chain Crisis Early Warning Bulletin. <http://www.fao.org/3/ca7582en/CA7582EN.pdf>
- Farias, J. R., Andow, D. A., Horikoshi, R. J., Sorgatto, R. J., Fresia, P., dos Santos, A. C. and Omoto, C., 2014. Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *Crop Protection*, 64, pp. 150–158. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.019>
- Fatoretto, J. C., Michel, A. P., Silva F. M. C. and Silva, N., 2017. Adaptive potential of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) limits Bt trait durability in Brazil. *Journal of Integrated Pest Management*, 8, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1093/jipm/pmx011>
- Foodtank, 2018. Food Tank: The Think Tank For Food. Fall Armyworm: A Threat to Africa's Food Security. <https://foodtank.com/news/2018/02/fall-armyworm-threat-africa-food-security-invasive-species> [Accessed 10 junio 2021].
- Ginting, S., Agustin, Z., Risky, H. W. and Sipriyadi, S., 2020. New invasive pest, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) attacking corns in Bengkulu, Indonesia. *Serangga*, 25(1), pp. 105–117
- Goergen, G., Kumar, P. L., Sankung, S. B., Togola, A. and Tamo, M. 2016. First report of

- outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. *Plos One*, 11(10), pp. e0165632. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165632>
- González, U. P., 2022. Efecto de los plaguicidas sobre la salud humana Exposición e impactos. [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/26823/2/Efecto\\_de\\_los\\_plaguicidas\\_en\\_la\\_Salud.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/26823/2/Efecto_de_los_plaguicidas_en_la_Salud.pdf) [Accessed 03 febrero 2022].
- Gutiérrez-Moreno, R., Mota-Sanchez, D., Blanco C. A., Whalon, M. E., Terán-Santofimio, H., Rodriguez-Maciell, J. C. and DiFonzo, C., 2019. Field-evolved resistance of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to synthetic insecticides in Puerto Rico and Mexico. *Journal of Economic Entomology*, 112, pp. 792–802. <https://doi.org/10.1093/jee/toy372>
- JingFei, G., Jianzhou, Z., Kanglai, H., Feng, Z. and Zhenying, W., 2018. Potential invasion of the crop-devastating insect pest fall armyworm *Spodoptera frugiperda* to China. *Plant Protection*, 44, pp. 1-10. <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2018452-en>
- Hang, D. T., Van Liem, N. G., Lam, P. V. and Wyckhuys K. A., 2020. First record of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on maize in Viet Nam. *Zootaxa*, 4772, pp. 396–400. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4772.2.11>
- Harashima, A., 2007 Maize and Grace: Africa's encounter with a new world crop, 1500–2000-by James C. McCann. *The Developing Economies*, 45(2), pp. 242–245.
- Hardke, J. T., Leonard, B. R., Huang, F. and Jackson, R. E., 2011. Damage and survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic field corn expressing *Bacillus thuringiensis* Cry proteins. *Crop Protection*, 30, pp. 168–172. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.10.005>
- Heinoun, K., Muhammad, E., Abdullah Smadi, H., Annahas, D. and Abou Kubaa, R., 2021. First record of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Syria. *EPPO Bull*, 51, pp. 213-215. <https://doi.org/10.1111/epp.12735>
- Hruska, A. J. and Gould, F., 1997. Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea lineolata* (Lepidoptera: Pyralidae): Impact of Larval Population Level and Temporal Occurrence on Maize Yield in Nicaragua. *Journal of Economic Entomology*, 90, pp. 611–622. <https://doi.org/10.1093/jee/90.2.611>
- Hruska, A. J. and Gladstone, S. M., 1988. Effect of Period and Level of Infestation of the Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*, on Irrigated Maize Yield. *Florida Entomologist*, 71, pp. 249–254. <https://doi.org/10.2307/3495428>
- Huang, F., Andow, D. A. and Buschman, L. L., 2011. Success of the high dose/refuge resistance management strategy after 15 years of Bt crops in North America. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 140, pp. 1-16. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2011.01138.x>
- Huang, F., Qureshi, J. A., Meagher, R. L., Jr, Reisig, D. D., Head, G. P., Andow, D. A., Ni, X., Kerns, D., Buntin, G. D., Niu, Y., Yang, F. and Dangal, V., 2014. Cry1F resistance in fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: single gene versus pyramided Bt maize. *Plos One*, 9(11), pp. e112958. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112958>
- Huang, F., 2021. Resistance of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, to transgenic *Bacillus thuringiensis* Cry1F corn in the Americas: lessons and implications for Bt corn IRM in China. *Insect Science*, 28(3), pp. 574–589. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12826>
- Hutchison, W. D., Burkness, E. C., Mitchell, P. D., Moon, R. D., Leslie, T. W., Fleischer, S. J., Abrahamson, M., Hamilton, K. L., Steffey, K. L., Gray, M. E., Hellmich, R. L., Kaster, L. V., Hunt, T. E., Wright, R. J., Pecinovsky, K., Rabaey, T. L., Flood, B. R. and Raun, E. S., 2010. Areawide suppression of European corn borer with Bt maize reaps savings to non-Bt maize growers. *Science*, 330(6001), pp. 222–225. <https://doi.org/10.1126/science.1190242>



- Instituto Nacional de Salud Pública (INSP)., 2022. Los insecticidas. <https://www.insp.mx/avisos/4736-insecticidas.html#:~:text=Todo%20insecticida%20es%20nocivo%20para,al%C3%A9rgicas%20en%20el%20ser%20humano>. [Accessed 03 febrero 2022].
- International Plant Protection Convention (IPPC)., 2020. First detection of Fall armyworm in Torres Strait of Australia. <https://www.ippc.int/es/news/first-detection-of-fall-armyworm-in-torres-strait-of-australia/> [Accessed 12 febrero 2021].
- Ishtiaq, M., Razaq, M., Saleem, M. A., Anjum, F., Ane, M. N., Raza, A. M. and Wright, D. J., 2014. Stability, cross-resistance and fitness costs of resistance to emamectin benzoate in a re-selected field population of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Lepidoptera: Noctuidae). *Crop Protection*, 65, pp. 227-231. <https://doi.org/10.1016/J.CROPRO.2014.08.007>
- International Institute of Tropical Agriculture (IITA)., 2021. Transforming African Agriculture. Maize (*Zea mays*). <https://www.iita.org/cropsnew/maize/> [Accessed 12 marzo 2021].
- Young, J. R. and McMillian, W. W., 1979. Differential feeding by two strains of fall armyworm larvae on carbaryl surfaces. *Journal of Economic Entomology*, 72, pp. 202-203. <https://doi.org/10.1093/jee/72.2.202>
- James, C., 2016. Global status of commercialized biotech/GM crops: 2016, ISAAA brief no. 52. ISAAA, Ithaca <http://www.isaaa.org> [Accessed 12 marzo 2021].
- James, C., 2012. Global status of commercialized Biotech/GM crops: Int Serv Acquisition Agri-Biotech Appl 2012. Brief 44-2012. <http://www.isaaa.org/> [Accessed 12 marzo 2021].
- James, C., 2014. Global status of commercialized biotech/GM crops: ISAAA Brief No. 49. ISAAA: Ithaca, NY, USA, 2014.
- Jamil, S. Z., Saranum, M. M., Hudin, L. J. S. and Wan, A. W. K. A., 2021. First incidence of the invasive fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) attacking maize in Malaysia. *BioInvasions Records*, 10(1), pp. 81-90. <https://doi.org/10.3391/bir.2021.10.1.10>
- Jing, D. P., Guo, J. F., Jiang, Y. Y., Zhao, J. Z., Sethi, A., He, K. L. and Wang, Z. Y., 2020. Initial detections and spread of invasive *Spodoptera frugiperda* in China and comparisons with other noctuid larvae in cornfields using molecular techniques. *Insect Science*, 27(4), pp. 780-790. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12700>
- Johnson, S. J., 1987. Migration and the life history strategy of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in the Western Hemisphere. *International Journal of Tropical Insect Science*, 8, pp. 543-549. <https://doi.org/10.1017/S1742758400022591>
- Knipling, E. F., 1980. Regional management of the fall armyworm-a realistic approach? *Florida Entomologist*, 63, pp. 468-480. <https://doi.org/10.2307/3494531>
- Li, X. J., Wu, M. F., Ma, J., Gao, B. Y., Wu, Q. L., Chen, A. D., Liu, J., Jiang, Y. Y., Zhai, B. P., Early, R., Chapman, J. W. and Hu, G., 2020. Prediction of migratory routes of the invasive fall armyworm in eastern China using a trajectory analytical approach. *Pest Management Science*, 76(2), pp. 454-463. <https://doi.org/10.1002/ps.5530>
- Lu, Y. H., Wu, K. M., Jiang, Y. Y., Guo, Y. Y. and Desneux, N., 2012. Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services. *Nature*, 487(7407), pp. 362-365. <https://doi.org/10.1038/nature11153>
- Luginbill, P., 1928. The fall armyworm. Technical Bulletin 34. United States Department of Agriculture Washington, D. C. pp. 2-92.
- Lynch, R. E., Wiseman, B. R., Plaisted, D. and Warnick, D., 1999. Evaluation of transgenic sweet corn hybrids expressing CryIA (b) toxin for resistance to corn earworm and fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 92(1), pp. 246-252. <https://doi.org/10.1093/jee/92.1.246>
- Matten, S. R., Head, G. P. and MacIntosh, S. C., 2008. How government regulation can help or hinder the integration of Bt crops within IPM programs. In: Romeis, J., Shelton, A.M., Kennedy, G.G. (Eds.), Integration of Insect Resistant Genetically Modified Crops with IPM Programs. Springer Science & Business Media B. V., New York, USA, pp. 27-39

- McCord, E. Jr. and Yu, S. J., 1987. The mechanisms of carbaryl resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 27, pp. 114–122. [https://doi.org/10.1016/0048-3575\(87\)90103-9](https://doi.org/10.1016/0048-3575(87)90103-9)
- Meagher, A. R. L., Nagoshi, R. N., Stuhl, C. and Mitchell, E. R., 2004. Larval development of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on different cover crop plants. *Florida Entomologist*, 87, pp. 454–460. <https://www.jstor.org/stable/3496428>
- Mendesil, E., Abdeta, C., Tesfaye, A., Shumeta, Z. and Jifar, H., 2007. Farmers' perceptions and management practices of insect pests on stored sorghum in southwestern Ethiopia. *Crop Protection*, 26, pp. 1817–1825. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.03.018>
- Mitchell, E. R., McNeil, J. N., Westbrook, J. K., Silvain, J. F., Lalanne-Cassou, B., Chalfant, R. B., Pair, S. D., Waddill, V. H., Sotomayor-Rios, A. and Proshold, F. I., 1991. Seasonal periodicity of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in the Caribbean basin and northward to Canada. *Journal of Entomological Science*, 26(1), pp. 39–50. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-26.1.39>
- Monnerat, R., Martins, E., Macedo, C., Queiroz, P., Praça, L., Soares, C.M., Moreira, H., Grisi, I., Silva, J., Soberon, M. Bravo, A., 2015. Evidence of Field-Evolved Resistance of *Spodoptera frugiperda* to Bt Corn Expressing Cry1F in Brazil That Is Still Sensitive to Modified Bt Toxins. *Plos One*, 10(4), pp. e0119544. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119544>
- Montezano, D. G., Sosa-Gómez, D. R. and Roque-Specht, V. F., 2018. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26, pp. 286–300. <https://doi.org/10.4001/003.026.0286>
- Mota-Sanchez, D. and Wise, J., 2017. Arthropod pesticide resistance database. Michigan State University. <https://www.pesticideresistance.org/> [Accessed 05 enero 2021].
- Mota-Sanchez, D. and Wise, J., 2021. Arthropod pesticide resistance database. Michigan State University. <https://www.pesticideresistance.org/> [Accessed 12 mayo 2021].
- Nagoshi, R. N., Goergen, G., Tounou, K. A., Agboka, K., Koffi, D. and Meagher, R., 2018. Analysis of strain distribution, migratory potential, and invasion history of fall armyworm populations in northern SubSaharan Africa. *Scientific Reports*, 8, pp. 3710 <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21954-1>
- National Agricultural Technology Extension Service Center (NATESC), 2019a. Major pest *Spodoptera frugiperda* have invaded in Yunnan, and all areas should immediately strengthen investigation and monitoring. *Plant Pathogen and Pest Information*, 8, pp. 1–18
- National Agricultural Technology Extension Service Center (NATESC), 2019b. *Spodoptera frugiperda* harms winter corn in 3 cities and states in southwestern Yunnan. *Plant Pathogen and Pest Information*, 8, pp. 1–31.
- Okumura, R. S., Mariano, D. C., Dallacort, R., Zorzenoni, T. O., Zaccheo, P. V. C., Neto, C. F. O., da Conceição, H. E. O. and Lobato, A. K. D. S. 2013. Agronomic efficiency of *Bacillus thuringiensis* (Bt) maize hybrids in pest control on Lucas do Rio Verde city, State of Mato Grosso, Brazil. *African Journal of Agricultural Research*, 8, 2232–2239. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.2201>
- Omoto, C., Bernardi, O., Salmeron, E., Sorgatto, R. J., Dourado, P. M., Crivellari, A., Carvalho, R. A., Willse, A., Martinelli, S. and Head, G. P., 2016. Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. *Pest Management Science*, 72(9), pp. 1727–1736. <https://doi.org/10.1002/ps.4201>
- Otim, M. H., Tay, W. T., Walsh, T. K., Kanyesigye, D., Adumo, S., Abongosi, J., Ochen, S., Sserumaga, J., Alibu, S., Abalo, G., Asea, G. and Agona, A., 2018. Detection of sister-species in invasive populations of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) from Uganda. *Plos One*, 13(4), pp. e0194571. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194571>

- Özkara, A., Akyil, D. and Konuk, M., 2016. Pesticides, Environmental Pollution, and Health. In: Environmental Health Risk—Hazardous Factors to Living Species. <https://doi.org/10.5772/63094>
- Pogue, M. G., 2002. A world revision of the genus *Spodoptera* (Guenée) (Lepidoptera: Noctuidae). *Memoirs of the American Entomological Society*, 43, pp.117–124.
- Powell, W., Dean, D. J. and Bardner, R., 1985. Effects of pirimicarb, dimethoate and benomyl on natural enemies of cereal aphids in winter wheat. *Annals of Applied Biology*, 106, pp. 235–242. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1985.tb03113.x>
- Prasanna, B. M., Huesing, J. E., Eddy, R. and Peschke, V., M. 2018. Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management, 1st ed.; CIMMYT: Edo Mex, Mexico.
- Programa Manejo de Resistencia de Insectos (MRI) e IRAC Argentina (MRI and IRAC)., 2019. Cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz. Bases para su manejo y control en sistemas de producción. <https://aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/3/2019/12/Cogollero-1.pdf> [Accessed 04 febrero 2022].
- Rojas, J. C., Virgen, A. and Malo, E., A. 2004. Seasonal and nocturnal flight activity of *Spodoptera frugiperda* males (Lepidoptera: Noctuidae) monitored by pheromone traps in the coast of Chiapas, Mexico. *Florida Entomologist*, 87(4), pp. 496–503. [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2004\)087\[0496:SANFAO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2004)087[0496:SANFAO]2.0.CO;2)
- Rwomushana, I., Bateman, M., Beale, T., Beseh, P., Cameron, K., Chiluba, M., Clotey, V., Davis, T., Day, R., Early, R., Godwin, J., Gonzalez-Moreno, P., Kansiime, M., Kenis, M., Makale, F., Mugambi, I., Murphy, S., Nunda, W., Phiri, N., Pratt, C. and Tambo, J., 2018. Fall Armyworm: Impacts and Implications for Africa; Evidence Note Update; CABI: London, UK, p 51. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20193363039> [Accessed 19 marzo 2021].
- Sartiami, D., Dadang, Harahap, I. S., Kusumah, Y. K. and Anwar, R., 2020. First record of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Indonesia and its occurrence in three provinces. *Southeast Asia Plant Protection Conference*, 468. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/468/1/012021>
- Schlum, K. A., Lamour, K., de Bortoli, C. P., Banerjee, R., Meagher, R., Pereira, E.; Murua, M. G., Sword, G. A., Tessnow, A. E. Viteri, D. D., Linares Ramirez, A. M., Akutse, K. S., Schmidt-Jeffris, R., Huang, F., Reisig, D., Emrich, S. J. and Jurat-Fuentes, J. L., 2021. Whole genome comparisons reveal panmixia among fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) from diverse locations. *BMC Genomics*, 22(1), pp. 179. <https://doi.org/10.1186/s12864-021-07492-7>
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA)., 2021. Ficha técnica: Gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/635234/Gusano\\_cogollero\\_en\\_ma\\_z\\_y\\_arroz.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/635234/Gusano_cogollero_en_ma_z_y_arroz.pdf) [Accessed 04 febrero 2022].
- Sharanabasappa, C., Kalleshwaraswamy, M., Asokan, R., Swamy, H. M., Maruthi, M. S., Pavithra, H. B., Hegde, K., Navi, S., Prabhu, S. T. and Goergen, G. 2018. First report of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J E Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), an alien invasive pest on maize in India. *Pest Management in Horticultural Ecosystems*, 24, pp. 23–29.
- Shiferaw, B., Prasanna, B. M., Hellin, J. and Bänziger, M., 2011. Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Security*, 3(3), pp. 307–327. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0140-5>
- Siebert, M. W., Tindall, K. R., Leonard, B. R., Van D. J. W. and Babcock, J. M., 2008b. Evaluation of corn hybrids expressing Cry1F (Herculex I Insect Protection) against fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in the southern United States. *Journal of Entomological Science*, 43, 41–51. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-43.1.41>
- Siebert, M. W., Babcock, J. M., Nolting, S., Santos, A. C., Adamczyk, J. J., Neese, P. A. King, J. E., Jenkins, J. N., McCarty, J., Lorenz, G. M., Fromme, D. D. and Lassiter, R. B.,

- 2008a. Efficacy of Cry1F insecticidal protein in maize and cotton for control of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Florida Entomologist*, 91, pp. 555–565. <https://doi.org/10.1653/0015-4040-91.4.555>
- Sparks, T. C., Crosssthaite, A. J., Nauen, R., Banba, S., Cordova, D., Earley, F., Ebbinghaus-Kintscher, U., Fujioka, S., Hirao, A., Karmon, D., Kennedy, R., Nakao, T., Popham, H., Salgado, V., Watson, G. B., Wedel, B. J. and Wessels, F. J., 2020. Insecticides, biologics and nematicides: Updates to IRAC's mode of action classification - a tool for resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 167, pp. 104587. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104587>
- Sparks, T. C. and Nauen, R., 2015. IRAC: mode of action classification and insecticide resistance management. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, pp. 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014>
- Sparks, A. N., 1979. A review of the biology of the fall armyworm. *Florida Entomologist*, 62, pp. 82–87. <https://doi.org/10.2307/3494083>
- Storer, N. P., Babcock, J. M., Schlenz, M., Meade, T., Thompson, G. D., Bing, J. W. and Huckaba R. M., 2010. Discovery and characterization of field resistance to Bt Maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. *Journal of Economic Entomology*, 103, pp. 1031–1038. <https://doi.org/10.1603/ec10040>
- Storer, N. P., Kubiszak, M. E., King, J. E., Thompson, G. D. and Santos, A. C., 2012. Status of resistance to Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: lessons from Puerto Rico. *Journal of Invertebrate Pathology*, 110, pp. 294–300. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jip.2012.04.007>
- Szwarc, D., 2019. Maíz Bt: Manejo de la resistencia del “gusano cogollero”. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_vye41\\_8\\_maiz\\_bt\\_manejo\\_de\\_la\\_resistencia\\_del\\_gusano\\_cogollero.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_vye41_8_maiz_bt_manejo_de_la_resistencia_del_gusano_cogollero.pdf) [Accessed 25 mayo 2021].
- Tabashnik, B. E., Brévault, T. and Carrière, Y., 2013. Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres. *Nature Biotechnology*, 31, pp. 510–521. <https://doi.org/10.1038/nbt.2597>
- Tavares, W. D., Cruz, I., Petacci, F., Júnior, S., Freitas, S. D., Zanuncio, J. C. and Serrão, J. E., 2009. Potential use of Asteraceae extracts to control *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) and selectivity to their parasitoids *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) and *Telenomus remus* (Hymenoptera: Scelionidae). *Industrial Crops and Products*, 30, pp. 384–388. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2009.07.007>
- Tay, W. T. and Gordon, K. H. J., 2019. Going global – genomic insights into insect invasions. *Current Opinion in Insect Science*, 31, pp. 123–130. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.12.002>
- University of Florida (UF), 2021. Common name: fall armyworm scientific name: *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). [https://entnemdept.ufl.edu/creatures/field/fall\\_armyworm.htm](https://entnemdept.ufl.edu/creatures/field/fall_armyworm.htm) [Accessed 11 abril 2021].
- Westbrook, J. K., Nagoshi, R. N., Meagher, R. L., Fleischer, S. J. and Jairam, S., 2016. Modeling seasonal migration of fall armyworm moths. *International Journal of Biometeorology*, 60, pp. 255–267. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1022-x>
- World Health Organization (WHO), 1957. World Health Expert Committee on Insecticides, 7th report, WHO Technical Report Series No. 125.
- Williams, W. P., Sagers, J. B., Hanten, J. A., Davis, F. M. and Buckley, P. M., 1997. Transgenic corn evaluated for resistance to fall armyworm and southwestern corn borer. *Crop Science*, 37, pp. 957–961. <https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700030042x>
- Williams, W. P. and Davis, F. M. 2002. Registration of Maize Germplasm Line Mp716. *Crop Science*, 42, pp. 671–672. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.671a>

- Wu, Q., Jiang, Y. Y. and Wu, K., 2019. Analysis of migration routes of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) from Myanmar to China. *Plant Protection*, 45, pp. 1–6. <https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019047>
- Yang, F., Kerns, D. L., Brown, S., Kurtz, R., Dennehy, T., Braxton, B., Head, G. and Huang, F., 2016. Performance and cross-crop resistance of Cry1F-maize selected *Spodoptera frugiperda* on transgenic Bt cotton: implications for resistance management. *Scientific Reports*, pp. 28059. <https://doi.org/10.1038/srep28059>
- Yee, K., Aye, M. M., Htain, N. N., Oo, A. K., Kyi, P. P., Thein M. M. and Saing, N. N., 2019. First Detection Report of the Fall Armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on Maize in Myanmar.
- Yu, S. J., 1991. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 39, pp. 84–91.
- Yu, S. J., Nguyen, S. N. and Abo-Elghar, G. E. 2003. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 77, pp. 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0048-3575\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0048-3575(03)00079-8)
- Zanuncio, J. C., Batalha, V. C., Guedes, R. N. C. and Picanco, M. C., 1998. Insecticide selectivity to *Supputius cincticeps* (Stal) (Het., Pentatomidae) and its prey *Spodoptera frugiperda* (J.E.Smith) (Lep., Noctuidae). *Journal of Applied Entomology*, 122, pp. 457–460. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.1998.tb01526.x>
- Zhao, J. Z., Cao, J., Li, Y., Collins, H. L., Roush, R. T., Earle, E. D. and Shelton, A. M., 2003. Transgenic plants expressing two *Bacillus thuringiensis* toxins delay insect resistance evolution. *Nature Biotechnology*, 21(12), pp. 1493–1497. <https://doi.org/10.1038/nbt907>