

Artículo Original

Quimigación y bio-irrigación con pivote central para el control de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) en maíz en el Caribe seco colombiano

Chemigation and bio-irrigation using central pivot for the control of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) in maize under dry Colombian Caribbean conditions

Luis Fernando Gómez-Ramírez ^{1*} , Paola Vanessa Sierra-Baquero ¹ ,
Deimer Fuentes-Cassiani ¹ y José Antonio Rubiano-Rodríguez ² 

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA. Centro de Investigación Motilonia, Agustín Codazzi, Cesar, Colombia. ✉ *lfgomez@agrosavia.co, psierra@agrosavia.co, dfuentes@agrosavia.co.

²Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA. Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. jrubiano@agrosavia.co

ZooBank: urn:lsid:zoobank.org:pub:6883AE59-6808-4329-A42C-FDBD9DF846A6
<https://doi.org/10.35249/rche.49.1.23.20>

Resumen. *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) es una plaga que puede afectar el rendimiento de varios cultivos agrícolas. En Colombia genera pérdidas de hasta el 60% de la producción de maíz (*Zea mays* L.). La quimigación y bio-irrigación son alternativas para el control de plagas mediante la aplicación de insumos a través del sistema de riego. El objetivo de este trabajo fue evaluar el control de *S. frugiperda* en maíz mediante quimigación y bio-irrigación por pivote central, en el Caribe seco colombiano. El estudio se desarrolló en 5 ha, implementando cuatro tratamientos: aplicación de insecticidas (quimigación) y *Bacillus thuringiensis* var. kurstaki (bio-irrigación) por medio del pivote central, aplicación de insecticidas con bomba de espalda (manejo convencional) y sin manejo. Se realizaron muestreos semanales para la medición de incidencia, severidad, larvas vivas y rendimiento de forraje. El manejo convencional presentó la menor incidencia promedio de la plaga con un 15,7%, seguido de la quimigación con un 17,8% ($p > 0,05$). A nivel de daño foliar sobresalió el manejo convencional con un 9,9% seguido de la quimigación con 12,8% ($p > 0,05$). Por último, la quimigación y bio-irrigación mostraron rendimientos similares a los obtenidos con el manejo convencional. Estos resultados demuestran que, si bien el manejo convencional presentó los mejores resultados en el control de *S. frugiperda*, la quimigación y bio-irrigación redujeron su incidencia de manera importante, siendo una alternativa promisoría para el control de esta plaga con un menor impacto ambiental y una reducción en costos de manejo.

Palabras clave: Daño foliar; incidencia; insecticidas; plagas; sistema de riego.

Abstract. *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) is a pest that can affect the yield of various agricultural crops. In Colombia, *S. frugiperda* causes severe damage to maize (*Zea mays* L.) and production losses of up to 60%. Chemigation and bio-irrigation are alternatives for the control of pests through the application of phytosanitary products through irrigation system. The objective of this work was to evaluate the control of *S. frugiperda* in maize by chemigation and bio-irrigation through a central pivot irrigation system, in the dry Colombian Caribbean. The study was developed in 5 ha, where four treatments were implemented: application of insecticides (chemigation) and *Bacillus thuringiensis*

Recibido 28 febrero 2023 / Aceptado 20 marzo 2023 / Publicado online 31 marzo 2023

Editor Responsable: María C. Coscarón

var. *kurstaki* (bio-irrigation) using the central pivot, insecticide application using a manual backpack sprayer (conventional management) and no insecticide application. Weekly samplings were carried out to evaluate incidence, severity, live larvae, and forage yield. Conventional management showed the lowest average incidence of the pest with a value of 15.7%, followed by chemigation with 17.8% ($p > 0.05$). Similarly, in relation to foliar damage, conventional management stood out with a value of 9.9%, followed by chemigation with 12.8% ($p > 0.05$). Finally, the chemigation and bio-irrigation treatments showed similar yields to the yields obtained in conventional management. These results show that, although conventional management showed the best results in the control of *S. frugiperda*, chemigation and bio-irrigation significantly reduced its incidence, being a promising alternative for the control of this pest, generating a lower impact on the environment and a reduction in management costs.

Key words: Incidence; insecticides; irrigation system; leaf damage; pests.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es el principal cultivo de cereales a nivel mundial en términos de rendimiento y producción, utilizado en alimentación humana y animal (Aslam *et al.* 2015). En Colombia, es el segundo cereal de mayor importancia con un área sembrada de aproximadamente 388 mil hectáreas y una producción de 1.551.000 toneladas, cultivado principalmente en los departamentos de Córdoba, Tolima, Huila, Meta y Sucre (Fenalce 2021). En el Caribe seco colombiano, constituye uno de los principales cultivos de ciclo corto y ha sido considerado como una de las especies de mayor interés para los productores debido principalmente a su alto potencial productivo (González *et al.* 2021). Sin embargo, el cultivo es susceptible a diferentes insectos plaga que pueden generar pérdidas significativas a nivel de producción. Dentro de estas se encuentra el gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) (Bernal *et al.* 2014; Mejía-Kerguelén *et al.* 2020).

Spodoptera frugiperda es una plaga altamente polífaga que ataca a cerca de 76 familias de plantas (Montezano *et al.* 2018), incluyendo especies de interés agrícola como algodón (*Gossypium hirsutum* L.) (Horikoshi *et al.* 2016), arroz (*Oryza sativa* L.) (McCullars 2019), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (Hailu *et al.* 2021) y maíz (*Zea mays* L.) (Nyabanga *et al.* 2021), provocando importantes pérdidas económicas al consumir rápidamente el follaje en estos cultivos, principalmente en estadios larvales avanzados (Kushwaha 2022).

En referencia al cultivo de maíz, los ataques más severos se presentan durante la fase vegetativa inicial del desarrollo de las plantas hasta 30 días después de la siembra, y pueden llegar a ocasionar pérdidas en el rendimiento hasta del 60% (Dively 2018; Vargas-Méndez *et al.* 2019), por esto demanda de 3 a 4 aplicaciones químicas para su control, incrementando así los costos de producción (Nboyine *et al.* 2022).

Spodoptera frugiperda se puede controlar siempre y cuando se implementen herramientas como el monitoreo frecuente y la aplicación de insecticidas de manera oportuna, teniendo en cuenta los niveles de daño económico (Mooventhan *et al.* 2019). La mayoría de los fracasos en su control ocurren como causa de tratamientos tardíos o por la ausencia de seguimientos al cultivo, permitiendo el ingreso de la larva al cogollo, donde es difícil de controlar (Mooventhan *et al.* 2019).

Existen productos de síntesis química y alternativas biológicas para el control de *S. frugiperda*, los cuales en una acción combinada se convierten en estrategias de manejo importantes para el control de esta plaga (Gómez-Valderrama *et al.* 2022; Harrison *et al.* 2019). Sin embargo, es importante tener en cuenta el método y equipo de aplicación, para garantizar que el producto llegue al objetivo de manera eficiente y con pérdidas mínimas

(Cunha y Nascimento 2013). Los métodos de aplicación de productos mayormente utilizados por los productores son los terrestres, mediante rociador hidráulico montado sobre tractor, bombas estacionarias y de espalda, pero estos métodos son inapropiados o poco eficientes en sistemas de cultivo con mayores crecimientos vegetativos (Bueno *et al.* 2011). Una alternativa es la aplicación de productos fitosanitarios a través del sistema de riego, denominada quimigación o bio-irrigación cuando se utilizan productos químicos o biológicos, respectivamente. Dependiendo del tipo de sistema de riego, los productos pueden ser aplicados a la zona radicular, a la parte aérea de la planta o a ambos (Mur-Rodríguez *et al.* 2015; Hedley *et al.* 2014).

El manejo fitosanitario por medio del sistema de riego se ha utilizado durante más de tres décadas como un método eficaz para el control de plagas y enfermedades de forma económica y eficiente. Una de sus ventajas más importantes es que asegura una uniformidad elevada al momento de la aplicación de los productos, lo cual se consigue con un buen diseño e instalación del sistema de riego (King *et al.* 2009; Darko *et al.* 2017). El uso de esta alternativa está aumentando entre los agricultores que tienen equipos de riego, porque es efectiva para algunos productos y puede costar menos que otros métodos de aplicación (Cunha y Nascimento 2013).

El objetivo de este estudio fue evaluar la aplicación de insumos químicos y un producto biológico a través de un sistema de riego por pivote central, comparados con un manejo convencional, para el control de *S. frugiperda* en un cultivo de maíz (*Zea mays* L.), bajo condiciones del Caribe seco colombiano.

Materiales y Métodos

Localización

El estudio se desarrolló durante el segundo semestre de 2022, en un cultivo de maíz forrajero híbrido 30F35, establecido en el Centro de Investigación-C.I. Motilonia de AGROSAVIA, ubicado a 10°0'6,62" N y 73°14'57,60" O, a una altitud de 100 msnm, en el Municipio de Agustín Codazzi, Cesar. El área de estudio fue de 5 ha y las condiciones ambientales de la zona durante el desarrollo del cultivo correspondieron a una temperatura promedio de 27,7 °C, humedad relativa-HR de 67,5% y una precipitación acumulada de 351,4 mm (datos proporcionados por la estación meteorológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, localizada en el C.I. Motilonia).

Establecimiento y manejo del cultivo de maíz

Para el establecimiento del cultivo, se realizó una preparación del suelo mediante pases de rastra y pulidor. La siembra se realizó utilizando una sembradora calibrada a una distancia de 80 cm entre surcos, depositando de 7 a 8 semillas de maíz forrajero híbrido 30F35 por metro lineal (20 kg/ha). También, se realizó un control de arvenses con herbicidas en preemergencia y cuando fue necesario, se realizó un control de ciperáceas.

La fertilización del cultivo se realizó mediante fertirrigación utilizando el pivote central, teniendo en cuenta un plan nutricional basado en los requerimientos del cultivo y las características fisicoquímicas del suelo. Se utilizaron fertilizantes solubles, los cuales fueron preparados en tanques de mezcla de 2.000 L ajustados a las concentraciones requeridas y aplicados a una tasa de inyección configurada en función de la velocidad de movimiento del pivote, el área regada y el volumen de los fertilizantes en los tanques. El sistema de inyección utilizado se basó en un controlador DREAM interface EC/pH, bomba booster, sonda de pH, sonda de conductividad eléctrica y tres columnas de inyección tipo Venturi con una capacidad máxima de inyección de 8,0 L/min.

El riego se hizo mediante un sistema de pivote central, caracterizado por presentar una torre central con una estructura de forma piramidal, un brazo con una longitud total de 312,55 m, con torres móviles separadas en seis (6) tramos de 48 metros y un voladizo de 24 m, sin cañón, en los cuales se distribuyeron 116 aspersores encargados de satisfacer una lámina de agua requerida para 30 ha, con una homogeneidad del 95% aproximadamente. Las láminas de riego aplicadas en el área de estudio fueron estimadas con el programa CropWat versión 8.0 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), usando datos históricos de precipitación y evapotranspiración, características físicas del suelo, requerimientos hídricos y fenología del cultivo, entre otros. Las láminas de agua se ajustaron según los eventos de lluvia presentados durante el desarrollo del cultivo.

Control de *S. frugiperda* en maíz

Se evaluó el control de *S. frugiperda* mediante la aplicación de insumos por medio del sistema de riego por pivote central. Para ello, se implementaron cuatro tratamientos, cada uno en un área triangular de 1,25 ha, de acuerdo con el movimiento del pivote: el primer tratamiento correspondió a la aplicación de Spinetoram + Cipermetrina por medio del pivote central, diluyendo los productos en el tanque de mezcla con 120 L de agua (quimigación); el segundo tratamiento fue la aplicación del producto biológico BT-Biox, a base de *Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki*, por medio del pivote central diluyendo el producto en 150 L de agua (bio-irrigación); el tercer tratamiento fue la aplicación de Spinetoram + Cipermetrina utilizando una bomba de espalda manual (RoyalCondor®) (tratamiento convencional); y el cuarto tratamiento fue un testigo absoluto, sin aplicación de insumos (Tab. 1). La quimigación fue realizada sólo cuando se identificó un 40% o más de las plantas evaluadas con un daño tipo 3 o mayor en la escala Davis, la cual oscila entre los niveles 1 y 9, donde 1 muestra daño foliar mínimo y 9 muestra plantas destruidas (Davis *et al.* 1992; Aguirre *et al.* 2016) (Fig. 1), mientras que la bio-irrigación y el tratamiento convencional se aplicaron a los 16, 23 y 30 días después de la siembra-DDS.

Tabla 1. Tratamientos implementados para el control de *S. frugiperda* en maíz bajo condiciones de campo. / Treatments implemented for the control of *S. frugiperda* in corn under field conditions.

Tratamiento	Insumo	Dosis	Método de aplicación
Quimigación*	Spinetoram + Cipermetrina	120 + 300 cc/ha	Pivote central
Bio-irrigación**	BT-Biox (<i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>kurstaki</i>)	500 g/ha (según el fabricante)	Pivote central
Convencional**	Spinetoram + Cipermetrina	30 + 40 cc/20 L	Bomba de espalda manual
Testigo absoluto	N/A	N/A	N/A

N/A, no aplica / N/A, not applicable.

* Aplicado cuando se identificó un 40% o más de las plantas evaluadas con un daño tipo 3 o mayor en la escala Davis (Davis *et al.* 1992). / * Applied when 40% or more of the evaluated plants were identified with damage type 3 or higher on the Davis scale (Davis *et al.* 1992).

** Aplicado semanalmente durante tres semanas consecutivas los primeros 35 días de crecimiento del cultivo. / ** Applied weekly for three consecutive weeks the first 35 days of crop growth.

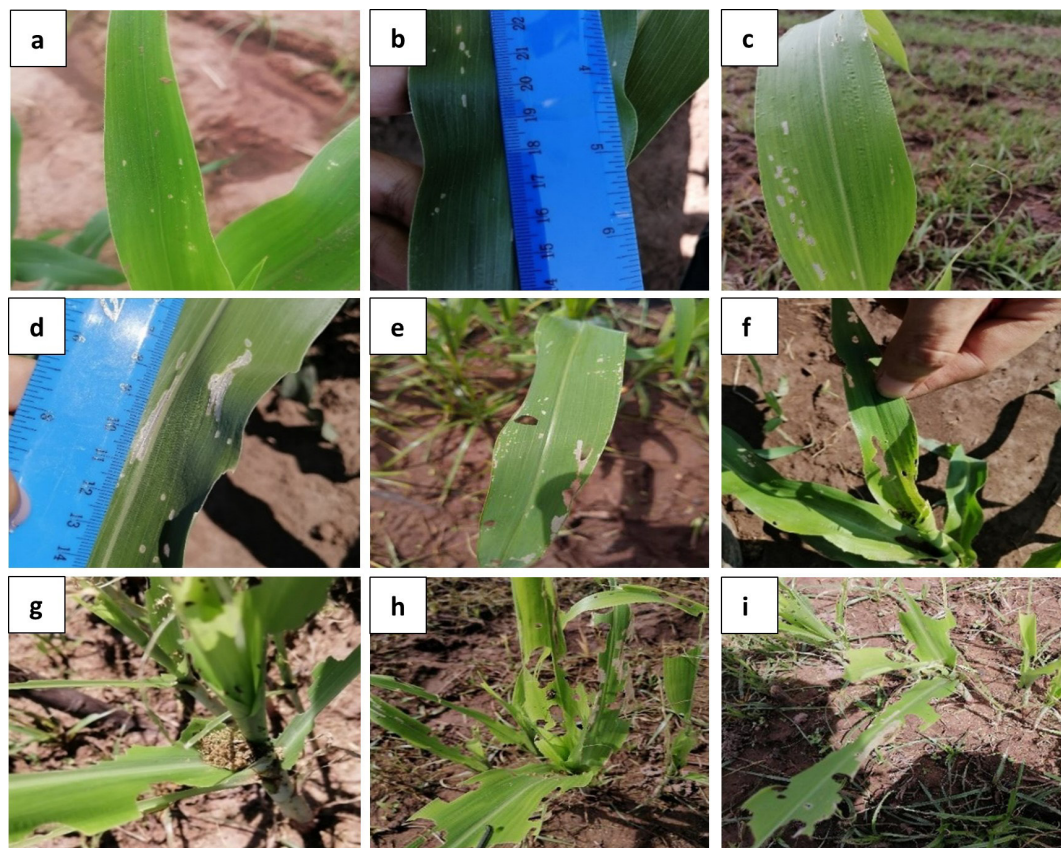


Figura 1. Nivel de daño visual causado por *S. frugiperda* en maíz según la escala de Davis. **1a-1c.** Daño foliar leve. **1d-1f.** Daño foliar moderado. **1g-1h.** Daño foliar severo. **1i.** Planta destruida. Adaptado de: MRI - IRAC (2019). / Level of visual damage caused by *S. frugiperda* in corn according to the Davis scale. **1a-1c.** Slight foliar damage. **1d-1f.** Moderate leaf damage. **1g-1h.** Severe leaf damage. **1i.** Destroyed plant. Adapted from: MRI - IRAC (2019).

La quimigación y bio-irrigación por medio del pivote fue realizada implementando el sistema de inyección de fertilizantes tipo Venturi mencionado previamente, y una lámina de agua de 2,33 mm equivalente a 23.300 L/ha de agua (lámina mínima), la cual fue igualmente aplicada en los tratamientos convencional y testigo absoluto, pero sin insumos. Dentro del área de cada tratamiento, se establecieron tres parcelas experimentales de 25 m² cada una, donde se realizaron las respectivas evaluaciones y muestreos.

Se efectuaron dos muestreos semanales desde la emergencia de las plantas hasta el inicio de la floración (45 DDS), donde se seleccionaron tres metros lineales al azar en los tres surcos centrales de cada parcela (1 m lineal/surco). En cada metro lineal se registró el número total de plantas, número de plantas afectadas con daño fresco (incidencia), el nivel de daño fresco (severidad) siguiendo la escala de Davis y, por último, se registró el número de larvas vivas por metro lineal. Al final del ciclo de cultivo, también se determinó la producción de forraje fresco y seco por parcela, la cual fue extrapolada a t/ha de forraje fresco y seco.

Análisis estadístico

Se analizaron como variables dependientes porcentaje de plantas afectadas con daño fresco, porcentaje de plantas con nivel de daño fresco ≥ 3 según la escala Davis, número

de larvas vivas por metro lineal, y el rendimiento de forraje fresco y seco por parcela experimental (25 m²) extrapolado a t/ha. Por su parte, las variables independientes fueron los cuatro tratamientos evaluados (quimigación, bio-irrigación, convencional y testigo absoluto) y los DDS.

Se evaluaron los supuestos de normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk, igualdad de varianzas con la prueba de Bartlett y la independencia de errores mediante la prueba de Durbin Watson. Las variables que no cumplieron con los supuestos estadísticos fueron transformadas mediante la función arcoseno y analizadas mediante modelos generalizados mixtos con las réplicas muestrales como efecto aleatorio. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza ANOVA con arreglo factorial en un diseño completamente al azar, donde se analizó el efecto estadístico de los tratamientos, los DDS y su interacción, teniendo en cuenta un nivel de confianza del 95% ($p \leq 0,05$). Por último, en caso de encontrar efecto significativo, se realizó una comparación de medias mediante la prueba de rangos múltiples de Tukey.

Por otro lado, los datos de rendimiento, que cumplieron con todos los supuestos, se analizaron mediante modelos lineales generalizados con los tratamientos como factor independiente. Posteriormente se hizo un ANOVA donde se analizó el efecto estadístico de los tratamientos, teniendo en cuenta un nivel de confianza del 95% ($p \leq 0,05$) y en caso de encontrar efecto significativo, se realizó una comparación de medias mediante la prueba de rangos múltiples de Tukey. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando el programa estadístico R, versión 4.2.2.

Resultados

A nivel general, en el cultivo de maíz, se registró una incidencia promedio de *S. frugiperda* del $23 \pm 5,6\%$, medida en términos de porcentaje de plantas afectadas con daño foliar fresco. Los resultados de la incidencia de la plaga indicaron que no existió interacción estadísticamente significativa entre los factores tratamiento y DDS ($p > 0,05$), sin embargo, si se evidenciaron diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) en cuanto a la incidencia de esta plaga en función del tiempo de desarrollo del cultivo (DDS) y los tratamientos evaluados.

En relación con los DDS, la incidencia de la plaga fue incrementándose hasta alcanzar un pico a los 19 DDS y después disminuyó gradualmente a través del tiempo. La menor incidencia se registró durante los primeros 12 días de desarrollo del maíz con una tasa del $3,1 \pm 1,4\%$, seguido de los 43 y 41 DDS con valores de $4,3 \pm 1,9$ y $5,0 \pm 2,3\%$, respectivamente, sin diferencias estadísticas. Por su parte, la incidencia de la plaga fue moderada a los 36, 33 y 29 DDS presentando valores de $10,6 \pm 3,9$, $14,3 \pm 6,6$ y $27,5 \pm 7,2\%$, respectivamente, siendo estadísticamente similares. Por último, la mayor incidencia de la plaga se registró a los 19 DDS con $50,7 \pm 6,2\%$, seguido de los 15 ($39,3 \pm 6,2\%$), 26 ($38,3 \pm 4,7\%$) y 21 ($37,2 \pm 4,3\%$) DDS, los cuales fueron similares estadísticamente (Tab. 2).

En cuanto a los tratamientos, se destacó el manejo convencional, el cual presentó la menor incidencia promedio con un valor de $15,7 \pm 3,70\%$, seguido de la quimigación y bio-irrigación con valores del $17,8 \pm 4,1$ y $23,9 \pm 3,9\%$, respectivamente, mostrando diferencias estadísticas con el tratamiento testigo, que presentó la mayor incidencia promedio con un valor de $34,8 \pm 4,50\%$. De manera interesante, no hubo diferencias significativas entre la quimigación y el tratamiento convencional, aunque este último sí fue estadísticamente superior al tratamiento biológico (Tab. 2).

Por otra parte, en términos de nivel de daño foliar (severidad), los resultados mostraron un efecto altamente significativo de los tratamientos aplicados y los DDS ($p < 0,01$) sobre el porcentaje de plantas con nivel ≥ 3 de daño fresco según la escala Davis, mientras que

la interacción de estos dos factores no fue significativa ($p = 0,0989$). En este sentido, se observó que durante los primeros 15 días de desarrollo del cultivo, la tasa de daño causado por la plaga osciló entre $1,4 \pm 1,2$ y $15,3 \pm 3,1\%$ en promedio, mientras que el periodo más crítico, con la mayor severidad, se evidenció entre los 19 y 29 DDS, con el pico de mayor severidad a los 26 DDS ($37,5 \pm 7,1$). Entre los 33 y 43 DDS, se redujo el daño a valores inferiores al 20% (Tab. 2).

En cuanto a los tratamientos evaluados, no se observaron diferencias significativas entre el manejo convencional y la aplicación del insecticida por quimigación en términos de severidad, presentando valores promedios de $9,9 \pm 4,1$ y $12,8 \pm 3,4\%$, respectivamente. Por otra parte, el tratamiento bio-irrigación, presentó una tasa de daño ≥ 3 según la escala Davis del $18,3 \pm 2,4\%$, siendo estadísticamente mayor al tratamiento convencional e igual a la quimigación, mientras que, en el testigo absoluto, la tasa de daño promedio fue del $28,1 \pm 3,0\%$, siendo estadísticamente superior a todos los demás tratamientos (Tab. 2).

Por otro lado, en cuanto al número de larvas vivas de *S. frugiperda* por metro lineal, se observó una tendencia similar y consecuente con la incidencia y severidad, encontrándose un menor número de larvas en el tratamiento convencional ($0,5 \pm 0,1$ larvas/m lineal), seguido de quimigación ($0,4 \pm 0,09$ larvas/m lineal) y bio-irrigación ($0,8 \pm 0,1$ larvas vivas/m lineal), con diferencias estadísticamente significativas comparado con el testigo absoluto ($1,3 \pm 0,20$ larvas/m lineal). Por otra parte, hubo un mayor número de larvas vivas entre los 15 y 29 DDS, registrando este último $1,2 \pm 0,3$ larvas vivas/m lineal, y una reducción significativa entre los 33 y 43 DDS (Tab. 3). Adicionalmente, al observar el efecto de la interacción de estos dos factores ($p < 0,01$), se evidenció que hacia el día 12 DDS, el número de larvas vivas fue nulo o mínimo en todos los tratamientos, pero incrementó hacia los 15 DDS en los tratamientos bio-irrigación y testigo, alcanzando en este último los valores más altos a los 26, 29 y 33 DDS, con $2,9 \pm 0,80$, $2,4 \pm 0,29$ y $2,0 \pm 0,6$ larvas vivas/m lineal, respectivamente, mientras que los tratamientos convencional y quimigación presentaron los picos máximos a los 21 y 26 DDS, con valores de $1,7 \pm 0,3$ y $1,6 \pm 0,3$ larvas vivas/m lineal, respectivamente (Fig. 2).

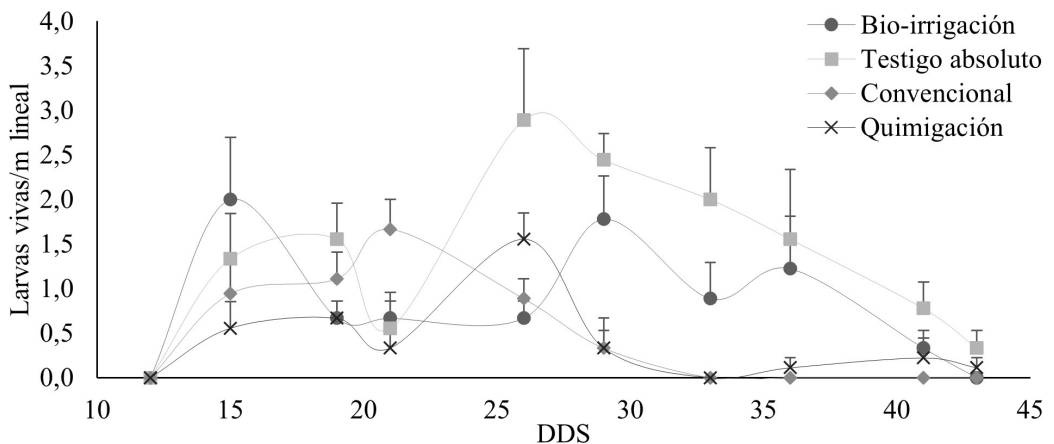


Figura 2. Número promedio de larvas vivas de *S. frugiperda* por metro lineal a lo largo de 43 días de desarrollo del cultivo de maíz, según los tratamientos evaluados. / Average number of live *S. frugiperda* larvae per linear meter over 43 days of development of the corn crop, according to the treatments evaluated.

Tabla 2. Efecto de los tratamientos evaluados (T) y los DDS (D) sobre la incidencia y severidad (porcentaje de plantas con daño foliar ≥ 3 según escala Davis) de *S. frugiperda* durante 43 días de desarrollo del cultivo de maíz. / Effect of the evaluated treatments (T) and DDS (D) on the incidence and severity (percentage of plants with leaf damage ≥ 3 according to the Davis scale) of *S. frugiperda* during 43 days of development of the corn crop.

Variable	DDS (D)											Promedio T		
	Tratamiento (T)	12	15	19	21	26	29	33	36	41	43	T	D	T x D
Incidencia de <i>S. frugiperda</i> (%)	Quimigación	0,0	32,3	39,1	20,7	52,9	21,1	3,4	1,6	3,2	3,8	17,8 ab	< 0,0001	< 0,0001 0,0710
	Bio-irrigación	0,0	38,9	58,6	38,4	35,7	29,8	13,5	15,4	3,8	4,4	23,9 b		
	Convencional	4,1	39,5	48,1	42,0	16,8	6,5	0,0	0,0	0,0	0,0	15,7 a		
	Testigo absoluto	8,1	46,7	57,1	47,9	47,9	52,5	40,4	25,3	12,9	9,0	34,8 c		
	Promedio DDS	3,1 a	39,3 cd	50,7 d	37,2 cd	38,3 cd	27,5 bc	14,3 ab	10,6 ab	5,0 a	4,3 a			
Plantas con daño foliar ≥ 3 según escala Davis (%)	Quimigación	0,0	10,2	17,0	19,6	48,0	24,7	3,7	1,8	3,3	0,0	12,8 ab	< 0,0001	< 0,0001 0,0989
	Bio-irrigación	0,0	19,3	32,9	31,8	35,0	28,2	13,3	15,2	3,6	4,2	18,3 b		
	Convencional	1,9	14,0	26,9	32,9	17,1	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	9,9 a		
	Testigo absoluto	3,7	17,7	36,9	40,8	49,9	49,7	39,2	21,6	12,9	9,1	28,1 c		
	Promedio DDS	1,4 a	15,3 bcd	28,4 de	31,3 de	37,5 e	27,2 cde	14,0 abc	9,6 abc	5,0 ab	3,3 a			

Los valores corresponden al promedio de tres replicas experimentales por tratamiento y tres replicas muestrales por replica experimental. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los niveles de cada factor (T, D), usando la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0,05$). / The values correspond to the average of three experimental replicates per treatment and three sample replicates per experimental replicate. Different letters indicate significant differences between the levels of each factor (T, D), using Tukey's multiple comparison test ($\alpha = 0,05$).

Tabla 3. Efecto de los tratamientos evaluados (T) y los DDS (D) sobre el número promedio de larvas vivas de *S. frugiperda* por metro lineal, durante 43 días de desarrollo del cultivo de maíz. / Effect of the treatments evaluated (T) and DDS (D) on the average number of live larvae of *S. frugiperda* per linear meter, during 43 days of development of the corn crop.

Variable	Tratamiento (T)	DDS (D)										Promedio T		p valor
		12	15	19	21	26	29	33	36	41	43	T	D	
Larvas de <i>S. frugiperda</i> (No. de larvas vivas/m lineal	Quimigación	0,0 a	0,6 abc	0,7 abcd	0,3 ab	1,6 cdef	0,3 ab	0,0 a	0,1 a	0,2 ab	0,1 a	0,4	<0,0001	0,00003
	Bio-irrigación	0,0 a	2,0 efg	0,7 abcd	0,7 abcd	0,7 abcd	1,8 defg	0,9 abcde	1,2 abcde	0,3 ab	0,0 a	0,8		
	Convencional	0,0 a	0,9 abcde	1,1 abcde	1,7 cdef	0,9 abcde	0,3 ab	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,5		
	Testigo absoluto	0,0 a	1,3 bcdef	1,6 bcdef	0,6 abc	2,9 g	2,4 fg	2,0 efg	1,6 bcdef	0,8 abcd	0,3 ab	1,3		
Promedio DDS		0,0	1,2	1,0	0,8	1,5	1,2	0,7	0,7	0,3	0,1			

Los valores corresponden al promedio de tres replicas experimentales por tratamiento y tres replicas muestrales por replica experimental. Letras diferentes indican diferencias significativas usando la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0,05$). / The values correspond to the average of three experimental replicates per treatment and three sample replicates per experimental replicate. Different letters indicate significant differences using Tukey's multiple comparison test ($\alpha = 0,05$).

Al final del ciclo de cultivo, se realizó una comparación productiva del maíz entre el tratamiento convencional y el tratamiento testigo absoluto, y se evidenció el impacto de la plaga sobre el rendimiento de forraje fresco y seco, generando una reducción del 22,3 y 24,1%, respectivamente, pasando de 55,2 a 42,9 t/ha de forraje fresco y de 25,3 a 19,2 t/ha de forraje seco, aunque dicho efecto no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$). Asimismo, llamaron la atención los tratamientos quimigación y bio-irrigación, los cuales mostraron rendimientos similares a los obtenidos con el manejo convencional, con valores de 51,7 y 53,7 t/ha de forraje fresco, y 21,7 y 22,9 t/ha de forraje seco, respectivamente, superando al testigo absoluto en un 20,5 y 25,1% para forraje fresco, y en un 13,0 y 19,3% para forraje seco, respectivamente, pero sin diferencias significativas ($p > 0,05$) (Fig. 3).

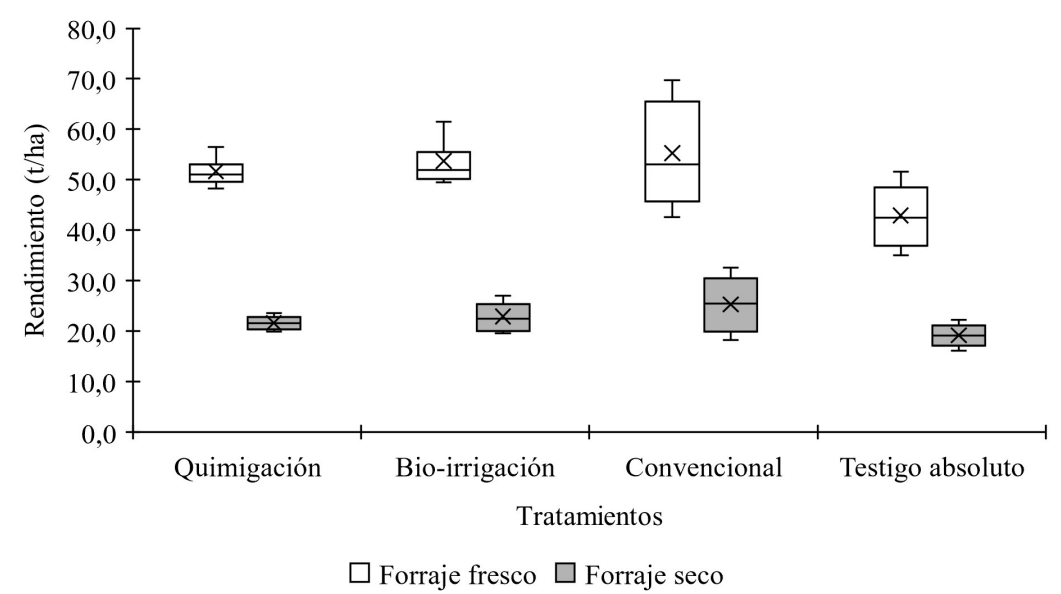


Figura 3. Rendimiento de forraje fresco y seco de maíz (t/ha) entre los diferentes tratamientos evaluados, para el control de *S. frugiperda*. No se evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos usando la prueba de comparación múltiple de Tukey ($\alpha = 0,05$). / Yield of fresh and dry maize forage (t/ha) between the different treatments evaluated, for the control of *S. frugiperda*. No significant differences were found between treatments using Tukey's multiple comparison test ($\alpha = 0.05$).

Discusión

Bajo las condiciones experimentales evaluadas en este trabajo, la mayor incidencia de *S. frugiperda* se dio entre los 15 y los 29 días de desarrollo del cultivo, alcanzando un pico máximo a los 19 días con una incidencia del 50,7%. Este periodo de la fase vegetativa corresponde con las etapas de verticilo medio y tardío, donde el cultivo es más sensible a las lesiones por parte de la plaga (Mooventhan *et al.* 2019) y donde su control es más difícil ya que las larvas se alimentan dentro del verticilo, fuera del alcance de los productos aplicados para su control, generando daños directos sobre las plantas, que resultan en importantes pérdidas a nivel de producción, planteando un riesgo económico para los productores (Makgoba *et al.* 2021). De ahí la importancia de realizar un manejo adecuado de esta plaga con el fin de controlar su población de manera oportuna y minimizar el daño sobre el cultivo, que puede alcanzar reducciones en el rendimiento entre el 30-47% (Aguirre *et al.* 2016).

La aplicación de insumos químicos tanto por manejo convencional (aplicación con bomba de espalda) como por medio del sistema de riego por pivote central (quimigación), logró reducir la incidencia de la plaga en un 54,8 y 48,8%, respectivamente, mostrando la eficiencia de estos métodos de control en el manejo de *S. frugiperda*. Sin embargo, la quimigación permitió este control mediante una sola aplicación durante el periodo de evaluación, demostrando ser una estrategia de manejo eficiente y menos costosa en términos de uso de insecticidas, número de operarios y tiempo, comparado con la aplicación con bomba de espalda. Esta eficiencia puede estar relacionada con la uniformidad del riego con pivote, que garantiza una distribución homogénea del producto sobre el follaje (Darko *et al.* 2017; Johnson *et al.* 1986) y asegura que llegue al interior del verticilo de la planta, permitiendo un mayor contacto con la plaga (Viana y Costa 1998). Derksen y Sanderson (1996), reportaron que la aplicación de pesticidas por quimigación mediante aspersión favoreció una mayor deposición foliar del producto en *Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch, 1834 utilizando altos volúmenes de agua (1.870 L/ha). De igual manera, Young (1980) reportó que la aplicación de insecticidas por quimigación utilizando un volumen de agua de 25.000 L/ha generó un control de *S. frugiperda* en maíz, manteniendo la afectación de las plantas por debajo del 30%, esto debido a que el producto llega con mayor facilidad al cogollo, donde se encuentran las larvas, mientras que en las aplicaciones terrestres la eficiencia podría ser menor debido a que, a menudo, el producto no penetra en el dosel del cultivo.

En cuanto al manejo biológico, utilizando *Bacillus thuringiensis* Berliner, 1915 (*Bt*) por medio del sistema de riego (bio-irrigación), si bien el control de *S. frugiperda* no fue tan eficiente comparado con el manejo convencional, sí redujo de manera importante la incidencia de la plaga, comportándose de forma similar al tratamiento bajo quimigación. Diversos estudios han demostrado la eficacia de *Bt* sobre el control de *S. frugiperda* en maíz, aunque muy pocos se han hecho mediante la aplicación por medio del sistema de riego. La propiedad tóxica de *Bt* se debe a la producción de proteínas cristalinas durante su fase de esporulación denominadas endotoxinas *Cry*, que actúan uniéndose a receptores específicos en el intestino medio del insecto una vez son ingeridas, provocando su muerte (Liu *et al.* 2019). Este efecto controlador sobre lepidópteros incluso se ha evidenciado utilizando concentraciones subletales cuando se garantiza una exposición constante del insecto a la bacteria (Dulmage y Martínez 1973; Dulmage *et al.* 1978; Fast y Regniere 1984). En este caso, dicha exposición se logró al garantizar que las gotas de agua con *Bt* se depositaran en el cogollo donde se encuentran las larvas, gracias al mecanismo de riego por aspersión que asegura una mayor homogeneidad en la aplicación, como se mencionó previamente. Esto demuestra que la implementación de este tipo de bioproductos a través del riego por pivote, puede ser una estrategia promisorio para el control del gusano cogollero en el cultivo de maíz reduciendo los impactos producidos al medio ambiente por el uso de agroquímicos (Mur-Rodríguez *et al.* 2015; Drouet 2018), y al mismo tiempo favoreciendo el control biológico por parte de insectos benéficos, que son relevantes en la regulación natural de las poblaciones de *S. frugiperda* (Osorio-Hernández 2018).

Con respecto al número de larvas vivas, no se evidenciaron diferencias significativas entre el tratamiento convencional y los tratamientos por quimigación y bio-irrigación, lo que demuestra que, incluso utilizando altos volúmenes de agua por medio del sistema de riego por pivote central, los productos aplicados (químico y microbiológico) llegaron a las larvas y, en consecuencia, proporcionaron un nivel de control similar al método de aplicación utilizando bomba de espalda, como lo reportan Viana y Costa (1998). Sin embargo, en promedio, el número de larvas por planta no fue superior a 1, lo que pudo estar relacionado con el comportamiento caníbal de *S. frugiperda* dando lugar a que no se presenten múltiples larvas por planta, como lo indican Cesconetto *et al.* (2005).

La escala Davis permitió evaluar visualmente el daño causado por la alimentación de

las larvas en el cogollo y las hojas no desplegadas, y fue un elemento clave para mejorar la eficiencia en el control de *S. frugiperda* ya que se tomó como referencia para la aplicación del insecticida por medio del sistema de riego en la quimigación. Cuando las larvas alcanzan un estadio L3 o superior ingresan al cogollo y son difíciles de controlar con insecticidas químicos por métodos convencionales de aplicación. Por ello el momento adecuado para que el control sea eficaz es cuando las larvas son pequeñas y están expuestas en las hojas. Estas larvas pequeñas son las que producen daño hasta grado 3 en la escala de Davis (Davis *et al.* 1992), lo que determina el momento más adecuado para efectuar el control. Cuando se demora la aplicación de insecticida, el tratamiento pierde eficacia. En este caso, el tratamiento de quimigación se aplicó teniendo en cuenta este umbral, lo que pudo generar un buen control del insecto.

El daño económico generado por *S. frugiperda* generalmente es relevante. Una infestación no controlada de esta plaga en maíz puede ocasionar una reducción del rendimiento de 13 a 60%, valores que están acordes con los resultados de este trabajo (22,3% de forraje fresco y 24,1% de peso seco); esta reducción es debido a la pérdida de área foliar y a un retraso o inhibición en la emisión de las inflorescencias (Reséndiz-Ramírez *et al.* 2018). Cabe resaltar que las plantas de maíz son susceptibles de ser dañadas por el gusano cogollero durante su desarrollo vegetativo, desde la emergencia y hasta 55-60 días después de dicha fase, por lo tanto, es en esta etapa cuando debe hacerse un monitoreo riguroso de la plaga e implementar las medidas de control necesarias (Wan *et al.* 2021).

Conclusiones

Estos resultados demuestran la eficiencia de la aplicación de insecticidas por medio de pivote central para el control de *S. frugiperda* en maíz, constituyendo una alternativa más rápida y menos costosa en términos de número de operarios. Si bien la bio-irrigación no fue tan eficiente como el manejo convencional, sí redujo la incidencia de la plaga de manera importante, por lo que su implementación sustituyendo de manera parcial el manejo químico, podría generar un control efectivo, al mismo tiempo que se reduce el impacto sobre el ambiente y los insectos benéficos.

Agradecimientos

A la Dirección del C.I. Motilonia de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), por facilitar los espacios y equipamientos para el desarrollo de esta investigación. A Sumiagro De La Costa por la donación del bioproducto BT-Biox utilizado en los experimentos.

Financiamiento

Este estudio se realizó en el marco del proyecto “Optimización del agua y uso eficiente del suelo para mejorar la producción agropecuaria en escenarios de vulnerabilidad agroclimática del departamento del Cesar” con código BPIN: 2017000100050, ejecutado por AGROSAVIA y financiado por el Sistema General de Regalías (SGR), Gobernación del Cesar.

Literatura Citada

Aguirre, L.A., Hernández-Juárez, A., Flores, M., Cerna, E., Landeros, J., Frías, G.A. y Harris, M.K. (2016) Evaluation of foliar damage by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to genetically modified corn (Poales: Poaceae) in Mexico. *Florida Entomologist*, 99(2): 276-280. <https://doi.org/10.1653/024.099.0218>

- Aslam, M., Cengiz, R. y Maqbool, M.A. (2015)** Drought Stress in Maize (*Zea mays* L.): Effects, resistance mechanisms, global achievements and biological strategies for improvement. Springer Briefs in Agriculture, Springer International Publishing. 74 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-25442-5>
- Bernal, J.H., Rincón, Á., Guevara, E.J., Hernández, R.S. y Flórez, H. (2014)** Sorgo forrajero Corpoica JJT-18. Boletín técnico. Villavicencio, Colombia: Corpoica, 60 pp. Consultado: 15 de enero de 2023. Disponible en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/1068/74233_65660.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bueno, M.R., Cunha, J.P.A.R. y Alves, G.S. (2011)** Estudo do espectro de gotas produzidas nas pulverizações aérea e terrestre na cultura da batata. *Revista de Ciências Agrárias*, Belém, 54(3): 225-234. <https://doi.org/10.4322/rca.2012.018>
- Cesconetto, A.O., Favero, S., de Oliveira, A.K.M. y de Souza, C.C. (2005)** Distribuição espacial do dano da lagarta do cartucho do milho *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797), em Sidrolândia, Mato Grosso do Sul. *Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, 9(2): 305-314. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26012697004>
- Cunha, J.P.A.R.D. y Nascimento, A.P.D.C. (2013)** Aerial, ground and chemigation spray deposition on corn for the control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Ciência e Agrotecnologia*, 37(2): 123-129. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542013000200002>
- Darko, R.O., Shouqi, Y., Junping, L., Haofang, Y. y Xingye, Z. (2017)** Overview of advances in improving uniformity and water use efficiency of sprinkler irrigation. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 10(2): 1-15. <http://dx.doi.org/10.3965/j.ijabe.20171002.1817>
- Davis, F.M., Ng, S.S. y Williams, W.P. (1992)** Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm. *Technical bulletin (Mississippi Agricultural and Forestry Experiment Station)*, 186: 1-9.
- Derksen, R.C. y Sanderson, J.P. (1996)** Volume, speed, and distribution technique effects on poinsettia foliar deposits. *Transactions of the ASAE*, 39(1): 5-9. <https://doi.org/10.13031/2013.27473>
- Dively, G. (2018)** Management of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) with emphasis on Bt Transgenic Technology. Consultado: 15 de enero de 2023. Disponible en: https://usunrome.usmission.gov/wp-content/uploads/sites/54/2018-Africa-FAW-Talk_Rome-pdf.pdf
- Drouet, A. (2018)** Efecto de la aplicación de *Bacillus thuringiensis* en el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) del híbrido de maíz (*Zea mays*) INIAP H-551 en la comuna Río Verde provincia de Santa Elena. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 5(1): 47-56. <https://doi.org/10.26423/rctu.v5i1.312>
- Dulmage, H.T. y Martinez, E. (1973)** The effect of continuous exposure to low concentration of deltaendotoxins of *Bacillus thuringiensis* on the low development of tobacco bud worm, *Heliothis virescens*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 22: 14-22.
- Dulmage, H.T., Graham, H.M. y Martinez, E. (1978)** Interaction between the tobacco bud worm, *Heliothis virescens* and the d-endotoxin produce by the HD-1 isolates of *Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki*. Relationship between length of exposure to the toxin and survival. *Journal of Invertebrate Pathology*, 32(1): 40-50. [https://doi.org/10.1016/0022-2011\(78\)90172-6](https://doi.org/10.1016/0022-2011(78)90172-6)
- Fast, P.G. y Regniere, T. (1984)** Effect of exposure time to *Bacillus thuringiensis* on mortality and recovery of the spruce bud worm (Lepidotera: Tortricidae). *The Canadian Entomologist*, 116(2): 123-130. <https://doi.org/10.4039/Ent116123-2>
- Fenalce [Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya] (2021)** Indicadores cerealistas 2021. Área, producción y rendimiento de cereales y leguminosas en Colombia. Consultado: 10 de febrero de 2023. Disponible en: <https://fenalce.co/estadisticas/>

- Gómez-Valderrama, J., Cuartas-Otálora, P., Espinel-Correal, C., Barrera-Cubillos, G. y Villamizar-Rivero, L. (2022) Fungal and viral entomopathogens as a combined strategy for the biological control of fall armyworm larvae in maize. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3(1): 1-14. <https://doi.org/10.1186/s43170-022-00094-7>
- González, A., Valderrama, P., Herrera, J., Samacá, H., Fonseca, M., Quintero, L., Gómez, J., Garcés, E., Viveros, J., Méndez, D., Londoño, A., Castro, L., Argüello, L., Pachón, M., Parra, L., Gutiérrez, E., Bernal, J., Castellanos, J., Jaimes, S., Maluendas, A., Quiroz, M., Becerra, I., Ríos, M., Díaz, A., Reina, D., Morato, R., Cortés, C., León, G., Bernal-Patiño, J., Toro, A., Tamayo, J., Velázquez, M. y Reina, D. (2022) Plan de Ordenamiento Productivo para la Cadena de Maíz en Colombia. Bogotá: UPR. Consultado: 10 de febrero de 2023. Disponible en: https://www.andi.com.co/Uploads/POP_Cadena_Maiz.pdf
- Hailu, G., Niassy, S., Bässler, T., Ochatum, N., Studer, C., Salifu, D., Agbodzavu, M., Khan, Z., Midega, C. y Subramanian, S. (2021) Could fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) invasion in Africa contribute to the displacement of cereal stemborers in maize and sorghum cropping systems. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41(2): 1753-1762. <http://dx.doi.org/10.1007/s42690-020-00381-8>
- Harrison, R.D., Thierfelder, C., Baudron, F., Chinwada, P., Midega, C., Schaffner, U. y van den Berg, J. (2019) Agro-ecological options for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) management: Providing low-cost, smallholder friendly solutions to an invasive pest. *Journal of Environmental Management*, 243: 318-330. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.011>
- Hedley, C.B., Knox, J.W., Raine, S.R. y Smith, R. (2014) Water: Advanced irrigation technologies. In: Neal Van Alfen (ed) *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*. Elsevier Publishers, San Diego, CA. United States, pp. 378-406. ISBN 9780444525123
- Horikoshi, R.J., Bernardi, D., Bernardi, O., Malaquias, J.B., Okuma, D.M., Miraldo, L.L., Amaral, F.S. y Omoto, C. (2016) Effective dominance of resistance of *Spodoptera frugiperda* to Bt maize and cotton varieties: implications for resistance management. *Scientific Reports*, 6(1): 1-8. <https://doi.org/10.1038/srep34864>
- Johnson, A.W., Young, J.R., Threadgill, E.D., Dowler, C.C. y Sumner, D.R. (1986) Chemigation for crop production management. *Plant Disease*, 70(11): 11-15.
- King, B.A., Wall, R.W. y Karsky, T.F. (2009) Center-pivot irrigation system for independent site-specific management of water and chemical application. *Applied engineering in agriculture*, 25(2): 187-198. <http://dx.doi.org/10.13031/2013.26334>
- Kushwaha, U.K.S. (2022) A cost-efficient and alternative technique of managing fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) larvae in maize crop. *Scientific Reports*, 12(1): 1-7. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10982-7>
- Liu, H.M., Hu, X., Wang, Y.L., Yang, P.Y., Shu, C.L., Zhu, X.M., Zhang, J., Sun, G.Z., Zhang, X.M. y Li, Q. (2019) Screening for *Bacillus thuringiensis* strains with high toxicity against *Spodoptera frugiperda*. *Chinese Journal of Biological Control*, 35(5): 721-728. <https://doi.org/10.16409/j.cnki.2095-039x.2019.05.028>
- Makgoba, M.C., Tshikhudo, P.P., Nnzeru, L.R. y Makhado, R.A. (2021) Impact of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) (JE Smith) on small-scale maize farmers and its control strategies in the Limpopo province, South Africa. *Jambá: Journal of Disaster Risk Studies*, 13(1): 1016. <https://doi.org/10.4102%2Fjamba.v13i1.1016>
- Mejía-Kerguelén, S.L., Suárez-Paternina, E., Tapia-Coronado, J.J. y Atencio-Solano, L. (2020) Sorgo dulce forrajero Corpoica JTT-18 (*Sorghum bicolor*): alternativa forrajera para la alimentación de bovinos en la región Caribe. Bogotá, Colombia: Agrosavia. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7404005>
- McCullars, L.D. (2019) The Impact of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), Feeding and Mechanical Defoliation on Growth and Yield of Rice, *Oryza sativa* (L.). University of Arkansas, Fayetteville (PHD Thesis). Disponible en: <https://scholarworks.uark.edu/etd/3262/>

- Montezano, D., Specht, A., Sosa-Gómez, D., Roque-Specht, V., Sousa-Silva, J., Paula Moraes, S., Peterson, J. y Hunt, T. (2018) Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *African Entomology*, 26(2): 286-300. <https://doi.org/10.4001/003.026.0286>
- Mooventhana, P., Baskaran, R.K.M., Kaushal, J.S.P. y Kumar, J. (2019) Integrated Management of Fall Armyworm in Maize. *Published by Director ICAR-National Institute of Biotic Stress Management*, Baronda, Raipur, Chhattisgarh. 24 pp. Disponible en: <https://nibsm.icar.gov.in/images/Technical-Bulletin-Integrated-Management-of-Fall-Armyworm-in-Maize.pdf>
- MRI [Programa Manejo de Resistencia de Insectos] - IRAC [Comité de Acción de Resistencia de Insecticidas] (2019) Cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz. Bases para su manejo y control en sistemas de producción. REM – AAPRESID, X, 1-23. Consultado: 1 de diciembre de 2022. Disponible en: <https://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/3/2019/12/Cogollero-1.pdf>
- Mur-Rodríguez, R.A., Granda-Sánchez, R.S., de León-Reyes, D.A. y Iparraguirre, M.A. (2015) La bioirrigación: una alternativa para la regulación de plagas en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en la provincia Ciego de Ávila, Cuba. *Revista de Protección Vegetal*, 30(1): 109. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522015000400086
- Nboyine, J.A., Asamani, E., Agboyi, L.K., Yahaya, I., Kusi, F., Adazebra, G. y Badii, B.K. (2022) Assessment of the optimal frequency of insecticide sprays required to manage fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) in maize (*Zea mays* L.) in northern Ghana. *CABI Agriculture and Bioscience*, 3(1): 1-11. <https://doi.org/10.1186/s43170-021-00070-7>
- Nyabanga, L., Mandumbu, R., Rugare, J.T., Mafuse, N., Zivenge, E., Tibugari, H., Nyamadzawo, G. y Gadzirayi, C.T. (2021) Preventing Fall Armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) Damage in Maize by Altering Planting Time and Using Varied Genotypes. In: Nhamo, G., Chikodzi, D., Dube, K. (Eds.) Sustainable Development Goals for Society Vol. 2. Sustainable Development Goals Series. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70952-5_20
- Osorio-Hernández, E. (2018) Insectos benéficos asociados al control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Agro Productividad*, 11(1): 9-14. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/142>
- Reséndiz-Ramírez, Z., López-Santillán, J.A., Estrada-Drouaillet, B., Osorio-Hernández, E., Pecina-Martínez, J.A., Mendoza-Castillo, M. y Reyes-Mendez, C.A. (2018) Aptitud combinatoria y resistencia al daño foliar de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) en germoplasma de maíz nativo de Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1): 81-93. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.849>
- Vargas-Méndez, L.Y., Sanabria-Flórez, P.L., Saavedra-Reyes, L.M., Merchan-Arenas, D.R. y Kouznetsov, V.V. (2019) Bioactivity of semisynthetic eugenol derivatives against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae infesting maize in Colombia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7): 1613-1620. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.09.010>
- Viana, P.A. y Costa, Ê.F. (1998) Controle da lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) na cultura do milho com inseticidas aplicados via irrigação por aspersão. *Anais da Sociedade Entomológica do Brasil*, 27(3): 451-458. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/480873>
- Wan, J., Huang, C., Li, C.-Y., Zhou, H.-X., Ren, Y.-L., Li, Z.-Y., Xing, L.-S., Zhang, B., Qiao, X., Liu, B., Liu, C.-H., Xi, Y., Liu, W.-X., Wang, W.-K., Qian, W.-Q., McKirdy, S. y Wan, F.-H. (2021) Biology, invasion and management of the agricultural invader: Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Integrative Agriculture*, 20(3): 646-663. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63367-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63367-6)

Young, J.R. (1980) Suppression of fall armyworm populations by incorporation of insecticides into irrigation water. *Florida Entomologist*, 63(4): 447-450. <https://doi.org/10.2307/3494528>