



Eficacia insecticida de spinetoram, *Bacillus thuringiensis* Berliner y clorpirifos contra *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) en maíz

Insecticidal Efficacy of Spinetoram, *Bacillus thuringiensis* Berliner and chlorpyrifos against *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) in Maize

Luis Gerardo Amezcua-Urtiz¹ <https://orcid.org/0009-0007-2194-6152>

Lucía Teresa Fuentes-Guardiola² <https://orcid.org/0000-0002-5527-7870>

José Manuel Gutiérrez-Campos¹ <https://orcid.org/0009-0007-9315-295X>

Juan Carlos Sánchez-Rangel¹ <https://orcid.org/0000-0002-9301-7623>

Herminia Alejandra Hernández-Ortega¹ <https://orcid.org/0000-0002-7063-8857>

Jesús Enrique Castrejón-Antonio^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-6561-5351>

¹Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Tecomán, Colima, México.

²Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Departamento de Parasitología, Saltillo, Coahuila, México.

*Autor de correspondencia: jcastrejon3@uacol.mx

Recepción: 1 de agosto de 2023

Aceptado: 15 de octubre de 2023

Resumen

Objetivo. Evaluar la efectividad de spinetoram, *Bacillus thuringiensis* (Bt) y clorpirifos para el control de *Spodoptera frugiperda* en maíz. **Materiales y métodos.** El trabajo se realizó en el municipio de Pihuamo, Jalisco, en la localidad La Estrella. Se sembró la variedad de maíz híbrido 24 kilates (Proseso®),

Abstract

Objective. To evaluate the effectiveness of spinetoram, *Bacillus thuringiensis* (Bt) and chlorpyrifos for the control of *Spodoptera frugiperda* in corn. **Materials and methods.** The work was carried out in the municipality of Pihuamo, Jalisco, in the town of La Estrella. The 24 kilates hybrid corn variety (Proseso®)

aplicando un diseño experimental en bloques completamente al azar con cuatro tratamientos: spinetoram (Exalt®), Bt (Dipel®), clorpirifos (Chlorban 480EC®) y control, sin aplicación de ningún otro producto. Se realizaron muestreos aleatorizados semanales y se aplicaron los tratamientos de acuerdo con las recomendaciones del fabricante considerando un umbral de daño en planta del 30%. Al finalizar el ciclo se determinó la altura de la planta (m), largo de mazorca (cm), mazorcas por planta (número), forraje húmedo (kg) y peso seco de elote (g) y de grano (g). Durante el ciclo se realizó una aplicación de spinetoram, mientras que de Bt y clorpirifos se efectuaron tres. Se realizó una descripción de costo económico de cada uno de los productos. **Resultados.** Las plantas tratadas con spinetoram mostraron promedios de altura de 2.78 m, mazorcas de 32.2 cm de longitud, forraje de 1.67 kg, peso seco de elote de 542.5 g y 0.3 g en grano. Estos resultados fueron estadísticamente significativos al resto de los tratamientos ($P=0.001$). Entre las plantas tratadas con Bt y clorpirifos, no se tuvieron diferencias significativas en las mismas variables. El costo total de la aplicación de los productos para el manejo de *S. frugiperda* fue de \$17.50 con spinetoram, \$45.00 con clorpirifos y \$240.00 con Bt. **Conclusión.** El spinetoram fue el mejor tratamiento para controlar al gusano cogollero a lo largo del ciclo fenológico del maíz. De igual manera fue el producto que se aplicó con menos frecuencia.

Palabras clave

Espinósinas, gusano cogollero, organofosforados, proteínas Cry.

was planted, applying an experimental design in completely randomized blocks with four treatments: spinetoram (Exalt®), Bt (Dipel®), chlorpyrifos (Chlorban 480EC®) and control without application of no product. Weekly random sampling was carried out and treatments were applied according to the manufacturer's recommendations considering a plant damage threshold of 30%. At the end of the cycle, the height of the plant (m), ear length (cm), ears per plant (number), wet forage (kg) and corn dry weight (g) and grain (g) were determined. During the cycle, one application of spinetoram was carried out, while three applications of Bt and chlorpyrifos were carried out. A description of the economic cost of each of the products was made. **Results.** Plants treated with spinetoram showed average heights of 2.78 m, ears of 32.2 cm in length, forage of 1.67 kg, corn weight of 542.5 g and 0.3 g in grain. These results were statistically significant to the rest of the treatments ($P=0.001$). Between the plants treated with Bt and chlorpyrifos, there were no significant differences in the same variables. The total cost of applying the products for the management of *S. frugiperda* was \$17.50 with spinetoram, \$45.00 with chlorpyrifos and \$240.00 with Bt. **Conclusion.** Spinetoram was the best treatment to control the fall armyworm at throughout the phenological cycle of corn. Likewise, it was the product that was applied least frequently.

Keywords

Cry proteins, fall armyworm, organophosphates, spinosins.

Introducción

El control de las plagas insectiles en la agricultura es una preocupación constante para los productores, ya que una infestación puede tener efectos devastadores en los rendimientos del cultivo. Una de las plagas más dañinas a nivel mundial es *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), una polilla nativa de las regiones tropicales y subtropicales del continente americano (Jing *et al.*, 2020; Sun *et al.*, 2021). Su etapa larvaria es capaz de alimentarse de más de 350 especies vegetales, incluyendo

arroz, trigo, cebada, avena, soja, tabaco, tomate, patata, cacahuete, algodón, remolacha azucarera, alfalfa, cebolla y maíz (Montezano *et al.*, 2018).

En el control de las poblaciones de *S. frugiperda* se incluyen múltiples estrategias: la captura de adultos con feromonas (Akutse *et al.*, 2020); control larvario mediante parasitoides (Hou *et al.*, 2022); hongos entomopatógenos como *Metarhizium rileyi* (Grijalba *et al.*, 2018); bacterias como *Bacillus thuringiensis*, la más explotada para el control de dicha plaga (Herrero *et al.*, 2016); así como nucleopoliedrovirus (Hussain *et al.*, 2021) e insecticidas de origen natural y sintéticos (Kirst, 2010; Berg y Plessis *et al.*, 2022). Dentro de estos últimos se encuentran las espinosinas, productos de la fermentación de *Saccharopolyspora spinosa*, de baja toxicidad para los humanos que demostraron tener una buena actividad insecticida. Aunque todas las estrategias antes mencionadas, en conjunto o de forma individual, son efectivas, la realidad es que en muchos países los químicos sintéticos representan los productos empleados con mayor frecuencia (Gutiérrez-Moreno *et al.*, 2019), debido a sus precios y al requerimiento técnico mínimo que se necesita para su uso; en comparación, por ejemplo, con los organismos biológicos; sin embargo, es necesario seguir generando evidencias que sirvan de apoyo a los agricultores y a los profesionistas de la agricultura para la correcta selección y manejo de los productos que deben incluir dentro del manejo integrado de *S. frugiperda*.

El objetivo del presente trabajo fue el de evaluar la efectividad de tres grupos de insecticidas comercializados para el control de *S. frugiperda*: spinetoram, *Bacillus thuringiensis* y clorpirifos, en cultivo de maíz en el municipio de Pihuamo, Jalisco, México.

Materiales y métodos

Lugar de experimentación

El trabajo se desarrolló en la localidad de La Estrella, municipio de Pihuamo, ubicada al sur del estado de Jalisco: 19°12'36,86" latitud N y 103°29'37,91" longitud O, a 639 msnm (Google Earth, 2022). El clima de la región es cálido subhúmedo. La temperatura media anual es de 23.9 °C, y su temperatura mínima y máxima promedio oscila entre los 13.4 y 34.6 °C, respectivamente. Con una precipitación media anual de 998 mm (IIEG, 2021). El estudio se realizó durante 12 semanas, en los meses de octubre de 2022 a enero de 2023.

Material biológico

Se utilizó la variedad de maíz híbrido 24 kilates® de grano amarillo, marca Proceso®. Esta semilla es de ciclo intermedio, recomendado para zonas tropicales de 0 a 1 500 msnm. Genera altura de planta de 2.20 a 2.40 m, altura a la mazorca de 1.10 a 1.20 m, 60 a 65 días para floración y cosecha de entre 130 a 140 días.

Siembra y manejo agronómico

El terreno se preparó con la aplicación de herbicida glufosinato de amonio, con una dosis de 300 mL en 20 L de agua. La siembra de *Z. mays* se realizó de forma manual con coa,

colocando tres semillas por pozo, con un marco de siembra de 60 cm entre surco y 40 cm entre planta. El riego del cultivo fue por agua rodada los lunes y jueves. La fertilización se aplicó con NPK triple 16 (Yara Mila) con las dosis recomendadas por el fabricante.

Tratamientos

Los tratamientos y las dosis empleadas fueron: spinetoram (Exalt[®], 100 mL/ha), *Bacillus thuringiensis var Kurstaki* (Bt, Dipel[®], 1 kg/ha), Clorpirifos (Chlorban 480EC[®], 0,75 L/ha) y un testigo, donde no se aplicó producto alguno para el control del gusano cogollero. Se consideró un volumen de 400 L/ha. Los tratamientos se aplicaron mediante aspersor manuales de 20 L, con boquilla de abanico, calibrada a un gasto de 1.25 L/min. Para todos los tratamientos se realizó el primer muestreo a los 21 días de emergencia y posteriormente cada 15 días. Se hicieron las aplicaciones de los tratamientos únicamente cuando se tuvo daño promedio en 30% de las plantas por *S. frugiperda*, bajo un muestreo al azar de 10 plantas por repetición. Las aplicaciones se realizaron de 7:00 a 10:00 h.

Variables

Se determinó el porcentaje de plantas con daño tomando 10 plantas al azar por repetición. A los 90 días se tomaron muestras al azar en cada tratamiento y se midió la altura de la planta (m), el largo de mazorca (cm), mazorcas por planta (número), peso de forraje húmedo (kg), peso seco de elote (g) y granos, estas últimas tres variables medidas a los 120 días después de la siembra. Se realizó un análisis de costos considerando precio unitario por aplicación, por el total de aplicaciones y por hectárea.

Diseño experimental y análisis de datos

Se realizó una evaluación en bloques completos al azar con cuatro repeticiones, en un área experimental de 172.8 m² comprendida por 16 unidades experimentales con un área de 10.8 m² cada una. Se ejecutó un análisis exploratorio de componentes principales (PCA) utilizando la configuración del método Pearson, con la finalidad de determinar correlación entre variables y el comportamiento de las mismas en cada uno de los tratamientos. Las correlaciones se consideraron significativas cuando el valor P de la prueba de esfericidad de Bartlett fue ≤ 0.05 y relevantes con un coeficiente de correlación ≥ 0.6 . De igual forma, los datos fueron sometidos a un análisis de varianza univariante (ANOVA) y comparación múltiple de medias de Tukey, con significancia cuando el valor de $p < 0.05$. Los datos expresados en porcentajes se transformaron utilizando la función arcoseno. Se empleó el programa estadístico R con las librerías Factoextra y FactoMineR.

Resultados

Transcurridos 21 días de la siembra se detectaron daños en poco más de 30% de las plantas muestreadas en cada una de las unidades experimentales (cuadro 1), por lo que a todas ellas se les aplicó su tratamiento correspondiente. A los 35 días, las plantas a las que se les aplicó Bt y clorpirifos tuvieron, nuevamente, porcentajes de infestación, superiores al umbral definido razón por la que se llevó a cabo una segunda aplicación. Esta

situación se repitió a los 50 días, donde nuevamente se observó daño en más de 30% de plantas. No ocurriendo lo mismo para el caso de las plantas tratadas con spinetoram, donde se mantuvieron niveles de daño en planta por debajo del umbral de daño después de la primera aplicación, que fue la única realizada.

El análisis de componentes principales (ACP) agrupó todas las variables determinadas en una sola componente (variación explicada 66.4%), observándose mejor correlación entre el largo y peso del elote, forraje y altura de la planta (figura 1). La exploración de los resultados muestra que el manejo de *S. frugiperda* con spinetoram tuvo una tendencia a obtener mejores pesos y dimensiones de material vegetal, tanto en planta como en fruto (figura 1, óvalo rojo), además de tener mayor número de plantas con dos mazorcas. Dichas características no se observaron en el tratamiento sin manejo de la plaga (figura 1, óvalo morado), donde se apreciaron bajos pesos y dimensiones en el material vegetal, así como una cantidad más elevada de plantas con una mazorca. En lo que respecta a las plantas manejadas con Bt y clorpirifos (figura 1, óvalos verde y azul) se observó que ambos tienden a generar resultados similares de las variables previamente descritas, con la particularidad de que se tuvo un poco más de plantas que dieron un solo elote. Mediante el análisis estadístico de cada una de las variables evaluadas es posible confirmar lo que se observó en la exploración global a través del ACP. El manejo con spinetoram mostró diferencias significativas con el resto de los tratamientos para la mayoría de las variables evaluadas (cuadro 2). La excepción se presentó en el número de mazorcas, donde sólo se encontraron diferencias con el tratamiento testigo.

Cuadro 1

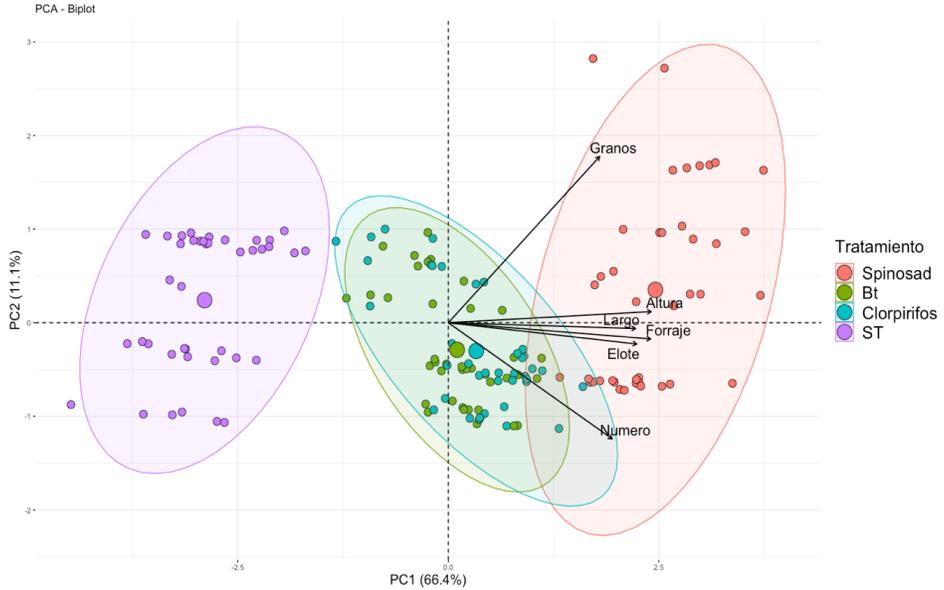
Porcentaje de plantas dañadas por *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz durante el ciclo productivo octubre del 2022 a enero del 2023 en la localidad de la Estrella, Pihuamo, Jalisco

Tratamiento	Plantas dañadas (%)			
	M1(21 días)	M2(35 días)	M3(50 días)	M4(65 días)
Spinetoram	32.5 ^a	2.5 ^c	27.5 ^c	7.5 ^c
Bt	32.5 ^a	57.5 ^b	50.0 ^b	30.0 ^b
Clorpirifos	35.0 ^a	62.5 ^b	55.0 ^b	25.0 ^b
Sin aplicación	32.5 ^a	100.0 ^a	100.0 ^a	100.0 ^a
P	0.01	0.01	0.01	0.01

Se muestra el valor promedio de cada variable. Tratamientos con distinta literal en las columnas implica diferencia significativa (Prueba Tukey $P < 0.05$). M: Muestreo; Bt: *Bacillus thuringiensis*.

Figura 1

Gráfica Biplot de análisis de componentes principales variables agronómicas de plantas con distintos tratamientos para *Spodoptera frugiperda*



Granos= peso seco de granos. Altura= altura de la planta. Largo= largo de mazorca. Forraje= peso de forraje húmedo. Elote= peso seco de elote. Bt= *Bacillus thuringiensis*. ST= sin tratamiento.

Cuadro 2

Variables agronómicas de plantas con distintos tratamientos para *Spodoptera frugiperda* durante el ciclo productivo de octubre de 2022 a enero de 2023 en la localidad de La Estrella, en Pihuamo, Jalisco

	Tratamiento				EEM	P
	Spinoteram	Bt	Clorpirifos	Sin aplicación		
Altura planta (m)	2.78 ^a	2.13 ^b	2.07 ^b	1.28 ^c	0.05	0.001
Largo mazorca (cm)	32.20 ^a	27.23 ^b	27.70 ^b	21.60 ^c	0.69	0.001
Mazorca (número)*	2(0) ^a	2(1) ^a	2(1) ^a	1(0) ^b	0.08	0.001
Peso forraje (kg)	1.67 ^a	1.11 ^c	1.20 ^b	0.46 ^d	0.05	0.001
Peso elote (g)	542.5 ^a	435.0 ^b	460.0 ^b	252.5 ^c	17.39	0.001
Peso de grano (g)	0.30 ^a	0.24 ^b	0.25 ^b	0.21 ^c	0.21	0.001

Se muestra el valor promedio de cada variable. Tratamientos con distinta literal en las filas implica diferencia significativa (Prueba Tuke $P < 0,05$). *Se reporta mediana y rango intercuartílico. Bt: *Bacillus thuringiensis*.

De los tres tratamientos empleados para el manejo de *S. frugiperda*, clorpirifos en su presentación, Chlorban 480EC® fue el más económico en términos de precio unitario, con apenas de \$0.30 por mL, seguido del Bt en su presentación Dipel® y el más costoso fue el spinetoram en su presentación de Exalt® (cuadro 3). Al final del experimento, con este último tratamiento fue con el que se tuvo el menor costo, considerando el total de aplicaciones y al hacer la estimación del costo por hectárea, es 1.9 veces menor en comparación con el producto químico. Mientras que con respecto al Bt fue 13.7 veces menor.

Cuadro 3

Análisis de costos de las aplicaciones de los tratamientos empleados en el control de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz durante el ciclo productivo octubre de 2022 a enero de 2023 en la localidad de La Estrella, en Pihuamo, Jalisco

Producto	Presentación	Costo (pesos mexicanos)			
		unitario	Por aplicación*	Total	Total/ha
Spinoteram	Exalt® (500 mL)	\$3.50/mL	\$17.50	\$17.50	\$350.00
Bt	Dipel® (500 g)	\$1.60/g	\$80.00	\$240.00	\$4 800.00
Clorpirifos	Chlorban 480EC® (1000 mL)	\$0.30/mL	\$15.00	\$45.00	\$675.00

*Volumen de aplicación:20 L.

Discusión

En el presente trabajo se evidenció la efectividad en el control de *S. frugiperda* en maíz, que tuvo el espinoteram de la marca Exalt® comparadas con el clorpirifos y el producto Dipel®, cuyo ingrediente principal es *Bacillus thuringiensis* subsp *kurstaki*, lo anterior considerando un umbral de daño de 30% de las plantas muestreadas. Este valor está por arriba de 25% reportado por Vélez *et al.* (2021), dando un margen ligeramente mayor para la aplicación de los tratamientos. Se reconoce que las plantas de maíz son capaces de recuperarse de daños foliares relativamente elevados, tanto como 50% (Fernández, 2002). Esta forma de tomar decisiones, basada en un umbral daño, aunque debería ser el común denominador en las actividades agrícolas para la aplicación de cualquier producto, es poco utilizado por los responsables del cultivo. En este sentido, los umbrales propuestos por los fabricantes de productos suelen ser en ocasiones bajos, lo que se traduce en aplicaciones innecesarias con elevación de los costos y disminución de las ganancias (Pineda *et al.*, 2007).

Transcurridos 65 días del experimento, se tuvieron porcentajes de daños similares en los tres tratamientos aplicados al cultivo, destacando que únicamente se tuvo una aplicación del espinoteram, comparadas con las tres del resto de tratamientos, lo que se refleja en una disminución de gastos de aplicación (cuadro 2). Una de las posibles explicaciones a lo descrito anteriormente puede estar en la propia formulación de los productos, la cual

debe, idealmente, conferir fijación y estabilidad en la superficie de las plantas (Mulqueen, 2003). Considerando lo anterior, la formulación de Exalt® confiera más estabilidad sobre la planta, razón por la que su efectividad se mantuvo con una sola aplicación. Caso contrario fue con el producto con cristales de *B. thuringiensis* donde es probable que la radiación UV haya reducido su actividad, como se tiene documentado en diversos estudios (Jalali *et al.*, 2020; Pinos *et al.*, 2021) y es la razón por lo cual se recomienda que este y otros productos biológicos sean aplicados antes de medio día o por la tarde; aunque es importante tomar en cuenta que para el caso de *S. frugiperda* en sus primeros instares larvales, prefieren alimentarse por la mañana.

Por otra parte, también es importante considerar la evidencia que sustenta la diferencia de susceptibilidad de *S. frugiperda* a diversas subespecies y serotipos de *B. thuringiensis* como lo describe el trabajo de Arango *et al.* (2002) quienes demuestran que en una misma muestra de suelo se pueden encontrar cepas de *B. thuringiensis* con una potencia variable frente a larvas de primer estadio de *S. frugiperda*, encontrando diferencias en las magnitudes de DL_{50} de hasta cuatro veces entre cepas de la misma subespecie y el mismo serotipo. Por lo que se debe tomar en cuenta que, aunque un producto comercial contenga *B. thuringiensis* como ingrediente activo, no garantiza la efectividad esperada, pues esta dependerá de la cepa de *Bacillus* con la que se encuentra formulado. En el presente trabajo el producto evaluado fue *B. thuringiensis* subsp *kurstaki* una cepa que demuestra ser menos efectiva que otras, como *B. thuringiensis* subsp *aizawai*, para el control de *S. frugiperda* (Lara-Becerra *et al.*, 2021). Sin embargo, la primera de ellas forma parte de la subespecie que se comercializa con mayor frecuencia en el estado de Colima.

En el caso de clorpirifos, se sospecha que los insectos en el cultivo evaluado ya presentaban un grado de resistencia a dicho producto, lo que generó la necesidad de tres aplicaciones durante el experimento y lograr así disminuir las poblaciones del insecto y con ello el número de plantas dañadas, es conveniente realizar pruebas de susceptibilidad al químico para poder corroborar dicha afirmación, lo que daría evidencia sobre la necesidad de generar una rotación de productos para evitar un incremento de las poblaciones resistentes (Bisset, 2002; Garlet *et al.*, 2021).

Adicionalmente, se debe tomar en consideración que el experimento se llevó a cabo en temporada seca, por lo que los productos en teoría permanecieron un tiempo suficiente en la superficie del cultivo como para poder actuar sobre los insectos. Esto implica que los resultados aquí expuestos no necesariamente serán reproducibles en periodo de lluvias, en donde su persistencia será menor debido al lavado, requiriendo, por lo tanto, un mayor número de aplicación en el ciclo del cultivo (Gautam *et al.*, 2016).

Las espinosinas que se encuentran en productos como el Exalt®, tienen una actividad biológica bien documentada contra *S. frugiperda* (Worku y Ebabuye, 2019; Santos y Pereira, 2020). Por lo que los resultados mostrados en el presente trabajo no distan de dichos antecedentes; por el contrario, resulta interesante cómo a pesar de la evidencia, su empleo por parte de productores no es común. Lo anterior puede atribuirse a una baja aceptación debido al costo unitario del producto, con respecto al producto químico; el mL de espinoteram tiene un costo 11.6 veces mayor que el del químico, sin embargo, este

trabajo evidencia que la efectividad del producto fue mayor a la del químico al requerirse sólo una aplicación durante el experimento, junto con los requerimientos operativos que eso involucra. Así también se traduce en un menor costo final por hectárea, aproximadamente la mitad de lo invertido con el químico.

No se debe perder de vista que al igual que con los productos químicos sintéticos, *S. frugiperda* puede generar resistencia a las espinosinas, si se aplican de manera excesiva (Lira *et al.*, 2020); por lo que es importante rotarlo o combinarlo con otros insecticidas (Daglish *et al.*, 2008) o considerar su combinación con otros agentes de control biológico, como hongos entomopatógenos (Rivero-Borja *et al.*, 2018), antagonistas como *Trichoderma* (Gad *et al.*, 2021) o virus (Méndez *et al.*, 2002). Así también, debe tomarse en cuenta que las espinosinas no son completamente inocuas a la fauna benéfica dentro de los cultivos (Cisneros *et al.*, 2002; Penagos *et al.*, 2005) al ser productos que actúan sobre receptores neuronales. Lo anterior nos permite sugerir la realización de trabajos de investigación con la evaluación de formulaciones que aborden a la plaga de una manera selectiva, como los fagoestimulantes (Williams *et al.*, 2004; Tamez-Guerra *et al.*, 2018), permitiendo así un impacto menor en individuos no objetivo.

El presente trabajo pone en evidencia que *S. frugiperda* puede ser controlado de manera satisfactoria con productos clásicamente conocidos para dicho fin, como las espinosinas, y que deben considerarse dentro de un programa de manejo de la plaga donde exista rotación de productos e incluso su combinación (Salama *et al.*, 2009).

Conclusión

El producto comercial spinetoram (Exalt®) fue eficaz para controlar al gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) durante el ciclo fenológico del maíz. Las plantas a las que se aplicó dicho producto mostraron mayor altura, número y largo de mazorca; peso de elote y mazorca. De igual manera, al sólo aplicarse en una sola ocasión, Exalt® fue el producto más económico en controlar a *S. frugiperda* comparado con *Bacillus thuringiensis* (Bt, Dipel®) y el clorpirifos (Chlorban 480EC®).

Literatura citada

- Arango, J.A.; Romero, M. y Orduz, S. (2002). Diversity of *Bacillus thuringiensis* strains from Colombia with insecticidal activity against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Appl. Microbiol.* 92(3): 466-474.
- Akutse, K.S.; Khamis, F.M.; Ambele, F.C.; Kimemia, J.W.; Ekesi, S. y Subramanian, S. (2020). Combining insect pathogenic fungi and a pheromone trap for sustainable management of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Invertebr. Pathol.* 177: 107477.
- Berg van den, J. y Plessis du, H. (2022). Chemical control and insecticide resistance in *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *J. Econ. Entomol.* 115(6): 1761-1771.
- Bisset, J.A. (2002). Uso correcto de insecticidas: control de la resistencia. *Rev. Cubana Med. Trop.* 54(3): 202-219.
- Cisneros, J.; Goulson, D.; Derwent, L.C.; Penagos, D.I.; Hernández, O. y Williams, T. (2002). Toxic effects of spinosad on predatory insects. *Biol. Control.* 23(2): 156-163.
- Daglish, G.J. (2008). Impact of resistance on the efficacy of binary combinations of spinosad, chlorpyrifos-methyl and s-methoprene against five stored-grain beetles. *J. Stored Prod. Res.* 44(1): 71-76.

- Fernández, J.L. (2002). Nota corta: Estimación de umbrales económicos para *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en el cultivo del maíz. *Invest. Agric. Prod. Prot. Veg.* 17(3): 468-472.
- Gad, H.A.; Al-Anany, M.S.; Atta, A.A. y Abdelgaleil, S.A. (2021). Efficacy of low-dose combinations of diatomaceous earth, spinosad and *Trichoderma harzianum* for the control of *Callosobruchus maculatus* and *Callosobruchus chinensis* on stored cowpea seeds. *J. Stored Prod. Res.* 91: 101778
- Garlet, C.G.; Gubiani, P.S.; Palharini, R.B.; Moreira, R.P.; Godoy, D.N.; Farias, J.R. y Bernardi, O. (2021). Field-evolved resistance to chlorpyrifos by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae): inheritance mode, cross-resistance patterns, and synergism. Field-evolved resistance to chlorpyrifos by *Spodoptera frugiperda*. *Pest. Manag. Sci.* 77(12): 5367-5374.
- Gautam, B.K.; Little, B.A.; Taylor, M.D.; Jacobs, J.L.; Lovett, W.E.; Holland, R.M. y Sial, A.A. (2016). Effect of simulated rainfall on the effectiveness of insecticides against spotted wing drosophila in blueberries. *Crop Prot.* 81: 122-128.
- Google Earth. (2022). Google Earth Pro. <https://earth.google.com/web/@13.68639339,89.82256822,6256.40852017a,2222253.47697258d,35y,0h,0t,0r> (Consulta 1 octubre 2022).
- Gutiérrez-Moreno, R.; Mota-Sanchez, D.; Blanco, C.A.; Whalon, M.E.; Terán-Santofimio, H. y Rodríguez-Maciel, J.C. (2019). Field-evolved resistance of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to synthetic insecticides in Puerto Rico and Mexico. *J. Econ. Entomol.* 112: 792–802.
- Herrero, S., Bel, Y., Hernández-Martínez, P. y Ferré, J. (2016). Susceptibility, mechanisms of response and resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins in *Spodoptera* spp. *Current opinion in insect science.* 15: 89-96.
- Hou, Y.Y.; Xu, W.; Desneux, N.; Nkunika, P.O.; Bao, H.P. y Zang, L.S. (2022). *Spodoptera frugiperda* egg mass scale thickness modulates *Trichogramma* parasitoid performance. *Entomologia Generalis.* 42(4): 589-596.
- Hussain, A.G.; Wennmann, J.T.; Goergen, G.; Bryon, A. y Ros, V.I. (2021). Viruses of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: a review with prospects for biological control. *Viruses.* 13(11): 2220.
- Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco [IIEG]. (2021). Pihuamo Diagnóstico del municipio agosto 2021. <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2021/10/Pihuamo.pdf> (Consulta 1 octubre 2022).
- Jalali, E.; Maghsoudi, S. y Noroozian, E. (2020). Ultraviolet protection of *Bacillus thuringiensis* through microencapsulation with pickering emulsion method. *Sci. Rep.* 10(1): 20633.
- Jing, D.P.; Guo, J. F.; Jiang, Y.Y.; Zhao, J.Z.; Sethi, A.; He, K.L. y Wang, Z.Y. (2020). Initial detections and spread of invasive *Spodoptera frugiperda* in China and comparisons with other noctuid larvae in corn field using molecular techniques. *Insect Sci.* 27(4): 780-790.
- Grijalba, E.P.; Espinel, C.; Cuartas, P.E.; Chaparro, M.L. y Villamizar, L.F. (2018). *Metarhizium rileyi* biopesticide to control *Spodoptera frugiperda*: Stability and insecticidal activity under glasshouse conditions. *Fungal biology.* 122(11), 1069-1076.
- Kirst, H.A. (2010). The spinosyn family of insecticides: realizing the potential of natural products research. *J. Antibiot.* 63(3): 101-111.
- Lara-Becerra, M. del C.; Tejada-Reyes, M.A.; Lagunes-Tejada, Á.; Silva-Aguayo, G. y Rodríguez-Maciel, J.C. (2021). Concentration-mortality response of mexican populations fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to commercial formulations of *Bacillus thuringiensis*. *J. Entomol. Sci.* 56(1): 70-83.
- Lira, E. C.; Bolzan, A.; Nascimento, A.R.; Amaral, F.S.; Kanno, R.H.; Kaiser, I.S. y Omoto, C. (2020). Resistance of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to spinetoram: inheritance and cross-resistance to spinosad. *Pest Manag. Sci.* 76(8): 2674-2680.
- Méndez, W.A.; Valle, J.; Ibarra J.E.; Cisneros, J.; Penagos, D.I. y Williams, T. (2002). Spinosad and nucleopolyhedrovirus mixtures for control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in maize. *Biol. Control.* 25(2): 195-206.
- Montezano, D.G.; Specht, A.; Sosa-Gómez, D.R.; Roque-Specht, V.F.; Sousa-Silva, J.C.; Paula-Moraes, S.D. y Hunt, T.E. (2018). Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas. *Afr. Entomol.* 26(2): 286-300.
- Mulqueen, P. (2003). Recent advances in agrochemical formulation. *Adv. Colloid Interface Sci.* 106 (1-3): 83-107.

- Penagos, D.I.; Cisneros, J.; Hernández, O. y Williams, T. (2005). Lethal and sublethal effects of the naturally derived insecticide spinosad on parasitoids of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Biocontrol Sci. Technol.* 15(1): 81-95.
- Pineda, S.; Schneider, M.I. y Martínez, A.M. (2007). El Spinosad, una alternativa para el control de insectos plaga. *Ciencia Nicolaita.* 46: 29-42.
- Pinos, D.; Andrés-Garrido, A.; Ferré, J. y Hernández-Martínez, P. (2021). Response mechanisms of invertebrates to *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal proteins. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 85(1): e00007-20.
- Rivero-Borja, M.; Guzmán-Franco, A.W.; Rodríguez-Leyva, E.; Santillán-Ortega, C. y Pérez-Panduro, A. (2018). Interaction of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* with chlorpyrifos ethyl and spinosad in *Spodoptera frugiperda* larvae. *Pest Manag. Sci.* 74(9): 2047-2052.
- Salama, H.; Foda, M. y Sharaby, A. (2009). Potential of some chemicals to increase the effectiveness of *Bacillus thuringiensis* Berl. against *Spodoptera littoralis* (Boisd.). *J. Appl. Entomol.* 100(1-5): 425-433.
- Santos, V.S.V. y Pereira, B.B. (2020). Properties, toxicity and current applications of the biolarvicide spinosad. *J. Toxicol. Environ. Health, part B.* 23(1): 13-26.
- Sun, X.X.; Hu, C.X.; Jia, H.R.; Wu, Q.L.; Shen, X.J.; Zhao, S.Y., Jian, Y.Y. y Wu, K.M. (2021). Case study on the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* invading into China. *J. Integr. Agric.* 20(3): 664-667.
- Tamez-Guerra, P.; Tamayo-Mejía, F.; Gómez-Flores, R.; Rodríguez-Padilla, C.; Damas, G.; Tamez-Guerra, R.S.; Ek-Ramos, M.J. y Williams, T. (2018). Increased efficacy and extended shelf life of spinosad formulated in phagostimulant granules against *Spodoptera frugiperda*. *Pest Manag. Sci.* 74(1): 100-110.
- Vélez, M.; Betancourt, C. y Mendoza, J. (2021). Evaluación de diferentes momentos de aplicación de insecticida Metomil 90% para el control del gusano cogollero para el control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz. *Rev Ciencia y Tecnología.* 14(2): 33-40.
- Williams, T.; Cisneros, J.; Penagos, D.I.; Valle, J. y Tamez-Guerra, P. (2004). Ultralow rates of spinosad in phagostimulant granules provide control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in maize. *J. Econ. Entomol.* 97(2): 422-428.
- Worku, M. y Ebabuye, Y. (2019). Evaluation of efficacy of insecticides against the fall army worm *Spodoptera frugiperda*. *Indian J. Entomol.* 81(1): 13-15.