

PUBLICACIÓN CONTINUA

ARTÍCULO ORIGINAL

© 2022 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 25: 1-8, 2022.
<https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2022.458>

Uso de probióticos y agroquímicos en la infestación de *Spodoptera frugiperda* en cultivo de maíz: su impacto en el crecimiento y rendimiento de la planta

José Terrones-Salgado¹, Aurelio Pedroza-Sandoval^{2*},
José Alfredo Samaniego-Gaxiola³ y Alejandro C. Michel-Aceves⁴

¹Centro de Innovación Tecnológica en Agricultura Protegida, Área de Ciencias Biológicas, Facultad de Agronomía, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Puebla 72410, Puebla, México. ²Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas de la Universidad Autónoma Chapingo, Km. 40 Carretera Gómez Palacio Chihuahua, Bermejillo 35230, Durango, México. ³Departamento de Fitopatología, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Matamoros 27440, Coahuila, México. ⁴Centro de Estudios Profesionales del Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero, Iguala 40000, Guerrero, México. E-mail: *apedroza@chapingo.uruza.edu.mx

RESUMEN

El cultivo de maíz es afectado por el “gusano cogollero” *Spodoptera frugiperda* y la severidad de los daños que le ocasiona a las plantas afecta negativamente tanto su crecimiento como el rendimiento. El objetivo de este estudio fue hacer una evaluación del efecto al usar diferentes probióticos y agroquímicos para su control. El experimento se llevó a cabo en un diseño de bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas con tres repeticiones. En las parcelas grandes se asperjaron los productos químicos: Clorpirifos (CI) y Benzoato de emamectina (Be) en dosis de 0.625 y 0.150 L ha⁻¹, respectivamente, más el testigo y en las parcelas chicas los probióticos *Bacillus thuringiensis* (Bt) y *Beauveria bassiana* (Bb) en dosis de 0.512 kg ha⁻¹ y 0.750 L ha⁻¹, respectivamente, más el testigo. El tratamiento con el Be fue positivo por el resultado de un menor porcentaje de plantas infestadas (PPI) y reducida la severidad de los daños (SD) producidos por *S. frugiperda*, además del aumento tanto del vigor de la planta como en el rendimiento del grano, con valores de 24.6%, 4.5 y 6.8 ton ha⁻¹, respectivamente. No hubo diferencia estadística entre los probióticos Bt y Bb en el rendimiento del grano, pero éste fue menor en ambos respecto al testigo. El decrecimiento en el PPI y en el de SD, por la plaga, fueron más evidentes en los primeros 75 días después de la siembra (DDS), y a partir de esta cifra hasta los 90 días, el vigor y el crecimiento de la planta mostraron mayores tasas de incremento.

Palabras clave: cultivos básicos, control biológico, control químico, plagas agrícolas, manejo integrado.

Use of probiotics and agrochemicals in the infestation of *Spodoptera frugiperda* in maize crop: its impact on plant growth and yield

ABSTRACT

The maize crop is affected by the “army worm” *Spodoptera frugiperda* and the severity of the damage it causes to the plants negatively affects both their growth and yield. The objective of this study was to evaluate the effect of using different probiotics and agrochemicals for its control. The experiment was carried out in a randomized block design in a split plot arrangement with three replications. The large plots were the chemical products: Chlorpyrifos (Ch) and Emamectin benzoate (Eb) in doses of 0.625 and 0.150 L ha⁻¹, respectively, more the control, and the small plots were the probiotics *Bacillus thuringiensis* (Bt) and *Beauveria bassiana* (Bb) in doses of 0.512 kg ha⁻¹ and 0.750 L ha⁻¹, respectively, more the control. The treatment with Be was positive due to the result of a lower percentage of infested plants (PIP) and a reduced severity of damage (SD) produced by *S. frugiperda*, in addition to an increase in both plant vigor and crop yield grain, with values of 24.6%, 4.5 and 6.8 ton ha⁻¹, respectively. There was no statistical difference between the Bt and Bb probiotics in grain yield, but it was higher than that obtained in each of the probiotics compared to the control. The decrease in PIP and SD, due to the pest, were more evident in the first 75 days after sowing (DAS), and from this number up to 90 days, the vigor and growth of the plant showed higher rates of increase.

Keywords: basic crops, biological control, chemical control, agricultural pests, integrated management.

INTRODUCCIÓN

La capacidad de producción del maíz es limitada por diferentes factores adversos tanto de tipo físico como biológico. En este último, el “gusano cogollero” (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), es la plaga más importante en diferentes regiones del continente americano (Polanczyk, Da Silva & Fiúza, 2000; Vergara, Pitre & Parvin, 2001). México es un país tradicionalmente productor de esta gramínea y por ende es un hospedero endémico de esta plaga, que para su control se acude a diferentes prácticas de manejo dentro de las que predomina el control químico (Guedes, Smaghe, Stark & Desneux, 2016; Pérez, Neira de & Calderón, 2019).

La importancia del maíz se refleja en la producción y superficie destinada para este cultivo, que para el 2019, se obtuvo la cantidad de 27.42 millones de toneladas y 7.1 millones de hectáreas, respectivamente. El principal productor fue el Estado de Sinaloa con una producción de 6.3 millones de toneladas y un rendimiento de 11.0 ton ha⁻¹ en una superficie cosechada de 571,187.74 ha; en el estado de Guerrero, que es el área donde se llevó a cabo este estudio, se produjeron 1,419,308.61 toneladas con un rendimiento promedio de 2.87 ton ha⁻¹ en una superficie cosechada de 494,235.10 ha (SIAP, 2020).

El daño foliar causado por *S. frugiperda* impacta de manera importante la producción del maíz (Ramírez *et al.*, 2018). Los daños severos se presentan desde la etapa de plántula hasta la pre-madurez, sobre todo en las regiones con clima cálido, durante los períodos de sequía, cuyas condiciones se han favorecido por efecto del cambio climático (ODEPA, 2013).

El control químico de las plagas es el método más generalizado para su control, como es el caso de *S. frugiperda*, lo que es causa de resistencia de ésta a los insecticidas. Adicionalmente, con esta práctica se eliminan los enemigos naturales y se afecta el medio ambiente (Del Puerto, Suárez & Palacio, 2014). Las poblaciones de *S. frugiperda* han generado resistencia a varias clases de insecticidas, incluidos los carbamatos, organofosforados y piretroides (León-García, Rodríguez-Leyva, Ortega-Arenas & Solís-Aguilar, 2014), llevando a un crecimiento exponencial de plagas secundarias y alteraciones ecológicas, con efectos negativos al medio ambiente (Del Puerto, Suárez & Palacio, 2014)). El Spinetoram, Benzoato de emamectina, Piretroides, Methomyl y Clorpirifos, son algunos de los insecticidas más utilizados en el control de *S. frugiperda*, con acción por contacto e ingestión; los tres últimos son menos expansivos, pero altamente tóxicos contra los artrópodos en general (Thompson, 2013).

El manejo integrado de plagas (MIP) es el nuevo paradigma fitosanitario, como una alternativa ante el uso excesivo de productos químicos y las consecuencias ambientales, económicas y sociales (Pernia, 2021). El control biológico como

parte del MIP ha adquirido auge, como medio más racional desde el punto de vista ambiental (Vivas-Carmona, 2017).

En México, el manejo integrado de plagas ha resultado exitoso en diferentes cultivos, pero por diferentes razones, no ha sido el caso en el cultivo del maíz (Blanco *et al.*, 2014). Actualmente, se siguen explorando diferentes prácticas, entre ellas, las biológicas en integración con las químicas para su aplicación y control de las plagas en este cultivo (DGSV-CNRF, 2021).

Diversas especies de bacterias y hongos poseen una gran capacidad como agentes bioinsecticidas, dentro de los que están los géneros *Bacillus thuringiensis* y *Beauveria bassiana* que representan un importante grupo de bacterias entomopatógenas de importancia mundial (Villarreal-Delgado *et al.*, 2018). El objetivo de este estudio fue evaluar el porcentaje de plantas infestadas y severidad de los daños por *Spodoptera frugiperda*, así como el efecto en ellas al usar diferentes probióticos y agroquímicos, su impacto en el crecimiento de la planta y el rendimiento del maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación geográfica

La investigación se realizó en el Estado de Guerrero, México. El área se encuentra ubicada a los 18°29' - 17°37' N y 99°05' W a una altitud de 940 msnm. El clima predominante es cálido subhúmedo, con una temperatura media anual de 25 °C. El régimen de lluvias es de junio a septiembre, con una precipitación media anual de 800 a 1,100 mm (García, 1973).

Diseño experimental y tratamientos

Se usó un diseño de bloques al azar en un arreglo de parcelas divididas, con tres repeticiones. Las parcelas grandes de 30 m de largo por 3.2 m de ancho, fueron asperjadas con los insecticidas químicos: Clorpirifos (Cl) y Benzoato de emamectina (Be) en dosis de 0.625 y 0.150 L ha⁻¹, respectivamente, más el testigo; a las parcelas chicas de 10 m de largo y 3.2 m de ancho, se les agregaron los probióticos: *Bacillus thuringiensis* (Bt) y *Beauveria bassiana* (Bb) en dosis de 0.512 kg ha⁻¹ y 0.750 L ha⁻¹, respectivamente, más el testigo. Se eligió asperjar a las parcelas chicas con los probióticos por el interés que existe sobre el uso de este tipo de productos. Se les llama parcelas grandes y parcelas chicas porque las segundas están dentro de las primeras en un arreglo experimental acorde a lo indicado por las normas de los diseños experimentales (Martínez, 1988). La unidad experimental fue de 4 surcos de 0.8 m de ancho y 10 m de longitud. La parcela útil correspondió a los dos surcos medios de cada unidad experimental y de ella se tomaron 5 plantas al azar, a partir de las que se obtuvo la información de las variables medidas en este estudio.

Establecer el experimento

El área experimental se preparó en forma mecanizada, mediante barbecho, paso de rastra y surcado a 0.80 m de

separación entre surcos. La siembra se efectuó en el verano de 2013 con las primeras lluvias y se sembró a una densidad de 41,250 plantas ha^{-1} . Se utilizó la variedad de maíz AS-1503, recomendada para riego y temporal. Es una variedad de ciclo intermedio de 130 a 140 días a la cosecha. El grano es blanco de alta calidad para la industria de la masa y la tortilla, con un rendimiento promedio de 10 a 12 ton ha^{-1} en condiciones de riego (ASPROS, 2014).

Clorpirifos es un insecticida organofosforado de amplio espectro, que actúa por contacto, ingestión e inhalación; corresponde a un concentrado emulsionable (CE) (AGROSCIENCES, 2014). El benzoato de emamectina es un insecticida que actúa por ingestión, tiene efecto sobre el ácido aminogammabutírico de los insectos, interrumpiendo los impulsos nerviosos de las larvas, paralizándolas irreversiblemente (SYNGENTA, 2014a). *Bacillus thuringiensis* es un probiótico obtenido a partir de *Bacillus thuringiensis* sp *kurstaki* y es de acción estomacal contra las larvas del orden Lepidoptera. (SYNGENTA, 2014b), en tanto que *Beauveria bassiana* es también un probiótico de acción sistémica obtenido a partir del hongo *Beauveria bassiana* Cepa Abn Bb102 que, al germinar, el micelio penetra en el insecto hospedero colonizando la cavidad hemolinfática y los sistemas orgánicos vitales (PTI, 2014).

Se realizaron dos aplicaciones de los productos probióticos y agroquímicos usando una aspersora manual de 15 L de capacidad. La primera aplicación se realizó el 15 de julio del 2013, cuando la plaga registró una incidencia y severidad de daños del 50 y 2.5 % respectivamente; la segunda aplicación se realizó 20 días posterior a la primera aplicación, correspondiente a los 30 y 50 días después de la siembra (DDS), respectivamente.

Variables

Una primera variable fitosanitaria fue el porcentaje de plantas infestadas (PPI), definida como la proporción de plantas con presencia en el cogollo de una o más larvas de *S. frugiperda*, respecto del total de plantas muestradas dentro de cada tratamiento y expresada en porcentaje, mediante la siguiente ecuación:

$$\text{PPI (\%)} = \left[\frac{\text{N\'um. de plantas infestadas}}{\text{Total de plantas evaluadas}} \right] (100)$$

La segunda variable fitosanitaria fue la severidad de los daños (SD), definida como el porcentaje de tejido dañado por *S. frugiperda*, respecto al total del tejido de la planta y mediante el uso de una escala de 0 a 6, donde 0= significa sin daños, 1=10, 2=20, 3=30, 4=40, 5=50 y 6= 60% o más de tejido dañado (Pedroza & Samaniego, 2009).

Las variables de crecimiento, vigor de la planta y rendimiento del maíz, fueron: altura de la planta (m), medida con un flexómetro;

vigor, medido en una escala de 0 a 5, donde 0 fue la planta marchita y 5 la planta turgente, con grados intermedios de 1 a 4; longitud de la mazorca (cm) medida con regleta; diámetro de la mazorca (cm) medido con vernier; peso del grano por planta (g planta^{-1}) y su correspondiente transformación a rendimiento en ton ha^{-1} , de acuerdo a la densidad de la población establecida en la parcela experimental.

Procesamiento de los datos

Los datos se procesaron con el paquete estadístico SAS versión 9.0, mediante el que se realizaron los análisis de varianza y de prueba de rango múltiple de medias de Tukey, para el comparativo de efectividad del tratamiento y, análisis de regresión con uso del Programa Excel V. 7.0, para identificar el comportamiento del crecimiento de la planta durante su ciclo biológico que fue en promedio de 130 días.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Incidencia de plantas infestadas y severidad de los daños

Al asperjar las plantas con los productos químicos junto con los probióticos, no se observó un efecto de interacción entre los tratamientos químicos y los biológicos, que incidiera en el porcentaje de plantas infestadas y la severidad de los daños por *S. frugiperda* indicativo de que el efecto de los productos químicos y biológicos es excluyente y no hay acción combinada para un mejor efecto de control. Lo anterior sugiere que los productos químicos pueden tener algún efecto negativo sobre los probióticos al aplicarlos juntos y, ello dificulta la acción de los segundos, sobre el control de la plaga. De acuerdo a Lira, Méndez, De los Santos & Vera (2018), el uso indiscriminado de químicos afecta a la microbiota en los agroecosistemas y disminuye la actividad de los organismos benéficos.

Con base en la ausencia de la interacción antes citada, se realizó un análisis por separado del efecto que los factores de variación tienen en los tratamientos. El Be fue el producto químico de mejor respuesta, con solo 24.6% de incidencia sobre las plantas infestadas y 4.5% de vigor de la planta; la altura de ésta no varió por efecto del tratamiento (Tabla I). El PPI y el vigor de la planta son variables estrechamente ligadas e inversamente proporcionales, o sea que, a un menor porcentaje de plantas infestadas, una mayor proporción de plantas con mejor vigor. Lo anterior coincide con lo reportado por Cherres & Chango (2013), quienes reportaron que al aplicar Larvin 37.5 SC (Thiodicarb 80%) a una dosis de 5 cc, disminuyó 32.5% la PPI y 4.5% la SD. El efecto de los probióticos no fue consistente en el control de la plaga, donde Bt fue significativamente igual al testigo, en tanto que Be superó significativamente a Bt y al testigo, con valores mayores al PPI y SD por *S. frugiperda* (Tabla II).

Es de notarse que la parcela control tuvo una menor incidencia de infestación que la mostrada en las parcelas en las que se realizó el tratamiento químico. Lo anterior sugiere que, la aplicación de químicos, aunque sea en forma separada de los

Tabla I. Efecto de los productos químicos en el porcentaje de plantas infestadas (PPI), severidad de los daños (SD) en la planta por el “gusano cogollero” (*Spodoptera frugiperda*), vigor y altura de la planta del maíz.

Productos químicos	IPP (%)	SD (%)	Altura de la planta (cm)	Vigor de la planta (1-5)
Testigo (Sin aplicar)	43.7 a ±3.9	7.5 a ±0.78	199 a ±0.02	4.1 b ±0.04
Clorpirifos (Cl)	35.1 ab ±4.4	6.0 a ±0.57	196 a ±0.01	4.3 ab ±0.03
Benzoato de emamectina (Be)	24.6 b ±4.4	4.3 a ±0.51	199 a ±0.01	4.5 a ±0.03

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. Valores (\pm) es la desviación estándar.

Tabla II. Efecto de los probióticos en el porcentaje de plantas infestadas (PPI), severidad de los daños (SD) en la planta por el “gusano cogollero” (*Spodoptera frugiperda*), vigor y altura de la planta del maíz.

Productos Biológicos	IPP (%)	SD (%)	Altura de la planta (cm)	Vigor de la planta (1-5)
Testigo (Sin aplicar)	32.2 b ±4.8	5.2 b ±0.54	203 a ±0.20	4.4 a ±0.04
<i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt)	31.3 b ±4.1	5.1 b ±0.53	196 ab ±0.19	4.3 ab ±0.03
<i>Beauveria bassiana</i> (Bb)	40.1 a ±4.1	7.5 a ±0.78	195 b ±0.19	4.2 b ±0.4

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. Valores (\pm) es la desviación estándar.

biológicos, podría afectar a los segundos por un efecto de interferencia entre parcelas, lo cual es común en este tipo de experimentos. Ruiz, Cabral & Pino (2004) indican que al evaluar el efecto de *Bacillus thuringiensis* Línea HD-1 en el control de las larvas de *S. frugiperda*, obtuvieron un 57.2% de control, pero sin aplicar productos químicos. Monnerat *et al.* (2015), reportaron la resistencia a Bt en *S. frugiperda*, situación para seguir explorando la combinación de este tipo de prácticas de manejo contra esta plaga, para evitar el problema de efecto de interferencia entre ellas o la resistencia genética tanto a productos químicos, como biológicos (Benezer-Benezer, Castro-Mercado & García-Pineda, 2008). Una adecuada integración de diferentes prácticas fitosanitarias es una alternativa viable, pero se deben identificar las condiciones particulares de la integración, que permitan efectos positivos de control y evitar impactos negativos en los agroecosistemas (Gavito *et al.*, 2017).

Rendimiento del maíz por unidad de superficie

La aplicación de Be incrementó significativamente ($P \leq 0.05$) el rendimiento del maíz con un valor de 6.8 ton ha^{-1} , correspondiente al 19.3% más que el obtenido en el testigo, sin diferencia estadística al aplicar Be o bien Cl. Este efecto

de rendimiento fue producto de una mejor respuesta en el peso del grano por planta, así como de la longitud y el diámetro de la mazorca. El peso de la mazorca no influyó en el efecto del rendimiento, siendo igual que el testigo (Tabla III). En un estudio de evaluación de los productos químicos y los biológicos en el control de *S. frugiperda* reportado por Muñoz *et al.* (2017), se encontró un mejor efecto de respuesta en términos del control de la plaga y rendimiento del maíz al aplicar productos químicos, respecto de los productos biológicos, en un estudio realizado en la provincia de Manabí, Cuba; los productos evaluados en ese estudio fueron los biológicos Methankill y Bankill, en tanto que los productos químicos evaluados fueron Lamda Ciametroxina y Tiametoxán.

Algunos de los componentes del rendimiento, como el diámetro de la mazorca, es similar al promedio obtenido (5.18 cm) en evaluaciones de diferentes materiales genéticos del maíz (ASPROS, 2014), lo cual sugiere que, al menos en este componente, cualquiera de los dos productos químicos, principalmente el Be, tiene un efecto positivo en la productividad; ya que el rendimiento obtenido con la aplicación de Be, es similar a lo reportado por Trujillo (2005), quien lo evaluó en

20 genotipos del maíz bajo condiciones de temporal, con un rendimiento promedio de 7.8 ton ha⁻¹.

Aun cuando no se observó el efecto de los probióticos en el PPI y SD por *S. frugiperda*, se registró un mejor rendimiento de maíz al aplicar Bt o Bb con valores de 6.5 y 6.4 ton ha⁻¹, en tanto que el testigo fue significativamente menor ($P \leq 0.05$) con un rendimiento de 5.7 ton ha⁻¹. Este resultado fue producto de un mayor peso, longitud y diámetro de la mazorca, así como un mayor peso de grano por planta (Tabla IV). Lo anterior sugiere que, aun cuando no hubo efecto de los probióticos en el control de la plaga, estos pudieran inducir a la tolerancia y/o a un efecto compensatorio a los daños producidos por la plaga, lo que hace mantener la productividad, resultados que ya han sido reportados por algunos autores en otros cultivos (González-Morales, Benavides-Mendoza, García-Enciso, Rodríguez-Campos & Flores-Olivas, 2015; Veobides-Amador, Guridi-Izquierdo & Vázquez-Padrón, 2018).

Los rendimientos reportados en este estudio son similares a los obtenidos por Tinoco (2002) y González *et al.* (2012) en

diferentes variedades de maíz, con una producción media de 6.61 ton ha⁻¹, lo que sugiere que el efecto de los probióticos Bt y Bb mantienen rendimientos adecuados, aún con la incidencia de plantas infestadas y severidad en los daños producidos por *S. frugiperda* como factor de estrés biológico (Díaz, Cerna, Sánchez & Rodríguez, 2018).

Dinámica de las variables fitosanitarias y del crecimiento de la planta

El PPI se redujo significativamente a una tasa exponencial de -0.58 a través del periodo evaluado en el experimento ($R^2 = 0.97$), estabilizándose en las últimas tres fechas de muestreo al no haber un decremento estadísticamente significativo. Lo anterior significa que el efecto del control natural o inducido es durante los primeros 75 DDS (Figura 1). Consecuentemente, la SD también disminuyó a una tasa lineal de -0.65 ($R^2 = 0.93$) en ese mismo período y también se estabilizó a partir de los 75 DDS (Figura 2). Con base en esta dinámica de tasas de plantas infestadas y de daños, se considera que el período de riesgo crítico por *S. frugiperda*, es durante los primeros 2 a 2.5 meses de desarrollo de la planta del maíz, período después

Tabla III. Efecto de la aplicación de los productos químicos en el control de *S. frugiperda* y su impacto en el rendimiento del grano del maíz.

Productos Químicos	Peso de la mazorca (g)	Peso del grano de la planta ⁻¹ (g)	Longitud de la mazorca (cm)	Diámetro de la mazorca (cm)	Rendimiento del grano (ton ha ⁻¹)
Testigo (Sin aplicar)	153.1 a ±5.9	138.2 b ±5.8	22.0 b ±0.29	5.5 b ±0.08	5.7 b ±0.24
Clorpirimifos (CI)	160.5 a ±4.3	148.0 ab ±4.2	22.9 ab ±0.16	5.8 b ±0.06	6.1 a ±0.21
Benzoato de emamectina (Be)	173.4 a ±5.1	166.6 a ±5.1	23.4 a ±0.16	6.1 a ±0.06	6.8 a ±0.21

Prueba de Tukey ($P < 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. Valores (\pm) es la desviación estándar.

Tabla IV. Efecto de la aplicación de los probióticos en el control de *S. frugiperda* y su impacto en el rendimiento y sus componentes en el cultivo del maíz.

Productos Biológicos	Peso de la mazorca (g)	Peso del grano de la planta ⁻¹ (g)	Longitud de la mazorca (cm)	Diámetro de la mazorca (cm)	Rendimiento del grano (ton ha ⁻¹)
Testigo (Sin aplicar)	148.9 b ±5.3	139.1 b ±5.3	22.3 b ±0.26	5.7 b ±0.07	5.7 b ±0.22
<i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt)	168.9 a ±5.2	157.9 a ±5.42	23.0 ab ±0.22	5.8 ab ±0.07	6.5 a ±0.22
<i>Beauveria bassiana</i> (Bb)	169.3 a ±4.8	155.8 a ±5.0	23.1 a ±0.18	5.9 a ±0.06	6.4 a ±0.20

Prueba de Tukey ($P < 0.05$). Cifras con las mismas letras dentro de una misma columna son estadísticamente iguales. Valores (\pm) es la desviación estándar.

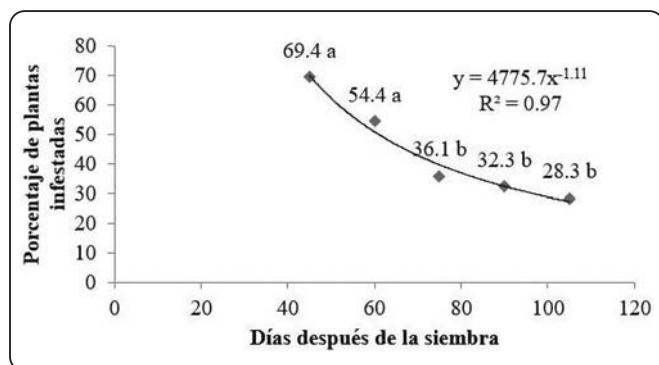


Figura 1. Dinámica del porcentaje de plantas infestadas por el “gusano cogollero” *S. frugiperda*, en diferentes fechas de muestreo. Cifras con la misma letra sobre la línea, no son estadísticamente diferentes.

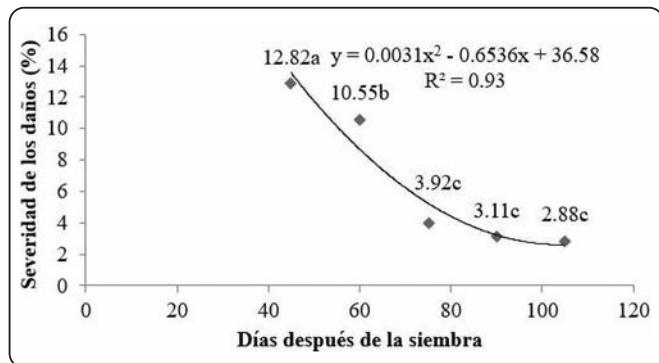


Figura 2. Dinámica de la severidad de los daños en la planta por el “gusano cogollero” *S. frugiperda*, en diferentes fechas de muestreo. Cifras con la misma letra sobre la línea, no son estadísticamente diferentes.

del cual los daños dejan de ser significativos, sin la necesidad de aplicar prácticas de control de esta plaga, y menos de tipo químico. Lo anterior, depende de las condiciones ambientales prevalentes, puesto que las temperaturas cálidas superiores a los 25 °C y baja humedad relativa (HR) producto de una menor precipitación pluvial (Martínez-Jaime, Salas-Araiza & Díaz-García, 2018), son las condiciones más favorables para la reproducción de *S. frugiperda* (Yáñez, Vázquez, Arreguín, Soria & Quijano, 2019).

El efecto del decremento en las plantas infestadas y severidad de los daños por la plaga durante los primeros 75 DDS, mostró en consecuencia un incremento significativo en el vigor de la planta, a partir de los 75 DDS con valores de 4.4 hasta alcanzar el máximo de 4.5 a los 90 DDS y posteriormente decaer significativamente a un valor de 4.2 ($R^2 = 0.84$) por haber llegado la planta de maíz al estado de madurez fisiológica (Figura 3). Un comportamiento similar sucedió con su altura, el incremento fue más sostenido a una tasa logarítmica de 0.58 hasta los 90 DDS cuando se estabilizó debido a su madurez ($R^2 = 0.86$).

0.86) (Figura 4). Este comportamiento de respuesta de mejorar el vigor y el crecimiento al disminuir la condición de estrés, impuesto por el daño de la plaga, es congruente con la mejor condición anatómica y fisiológica de la planta para una mayor productividad, aunque, se debe considerar que la efectividad de toda práctica química y/o biológica de tipo fitosanitario, depende en gran medida de las condiciones climáticas, etapa fenológica del cultivo y la interacción de la plaga con su hospedero (Hernández-Trejo *et al.*, 2019).

CONCLUSIONES

La aplicación conjunta de sustancias químicas y microorganismos biológicos en el cultivo del maíz, para el control del “gusano cogollero” (*S. frugiperda*) no fue eficaz, al manifestarse entre ellos una acción independiente. El control químico fue el que mostró mejores resultados, a diferencia de los probióticos, demostrado con el uso del Benzoato de emamectina (Be), al presentarse un menor porcentaje de plantas infestadas, así

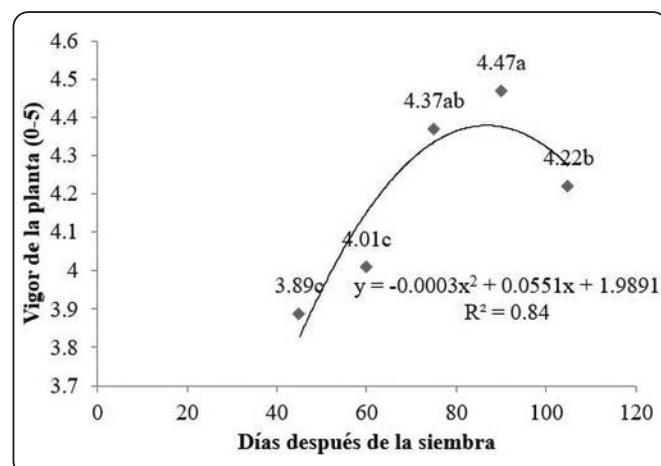


Figura 3. Dinámica del vigor de la planta en diferentes fechas de muestreo. Cifras con la misma letra sobre la línea, no son estadísticamente diferentes.

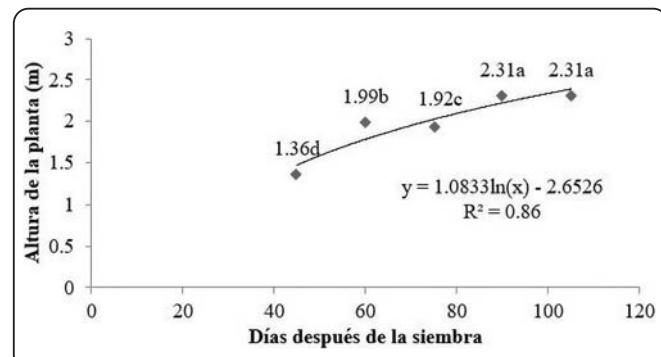


Figura 4. Dinámica de la altura de la planta en diferentes fechas de muestreo. Cifras con la misma letra sobre la línea, no son estadísticamente diferentes.

como una menor severidad en los daños producidos por la plaga y por consecuencia más vigor y crecimiento de la planta del maíz, con un rendimiento del grano de 6.8 t ha⁻¹ reflejado en el peso de éste, la longitud y el diámetro de la mazorca. El insecticida Clorpirifos (Cl) registró un comportamiento intermedio entre el Be y el testigo, éste último es el de más baja respuesta. El mejor efecto de control se observó durante los primeros 75 días después de la siembra (DDS). En lo que se refiere a los probióticos *Bacillus thuringiensis* (Bt) y *Bauveria bassiana* (Bb), de nula eficacia para controlar la plaga, pero positiva respuesta en el rendimiento de la planta, respecto del testigo.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca de maestría otorgada a José Terrones Salgado y al Departamento de Parasitología Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, por el financiamiento para el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- AGROSCIENCES. (2014). Ficha técnica del insecticida Lorsban® 4 EC. Insumos Agrícolas Internacionales S. A. <http://www.insagrin.co/FICHAS%20dOW/LORS4EC.pdf>
- ASPROS. (2014). Características de los genotipos de maíz. http://www.asprosemillas.com/documentos/manual_aspros.pdf
- Benezer-Benezer, M., Castro-Mercado, E. & García-Pineda, E. (2008). La producción de especies reactivas de oxígeno durante la expresión de la resistencia a enfermedades en Plantas. *Revista Mexicana de Fitopatología*, **26**, 56-61. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092008000100009&lng=es&tln_g=es.
- Blanco, C. A., Pellegaud, J. G., Nava-Camberos, U., Lugo-Barrera, D., Vega-Aquino, C., J., Terán-Vargas, A. P. & Vargas-Camplis, J. (2014). Maize pests in Mexico and challenges for the adoption of integrated pest management programs. *Journal of Integrated Pest Management*, **5**, 1-9.
- Cherres, R. N. & Chango, A. L. I. (2013). Control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de Ingeniería Agrícola. 81 p. <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/3174>.
- Del Puerto, R. A. M., Suárez, T. S. & Palacio, E. D. E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, **52**, 372-387. <http://scielo@infomed.sld.cu>.
- Díaz, R. E. E., Cerna, Ch. E., Sánchez, V. M. & Rodríguez, V. M. M. (2018). Compatibilidad del control químico y biológico sobre larvas de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) bajo condiciones de laboratorio. Tesis de Ingeniero Agrónomo Parasitólogo, UAAAN. 34 p. <http://repositorio.aaaan.mx>xmlui>handle>
- DGSV-CNRF. (2019). Gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria. Ficha Técnica. 25 p. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/635234/Gusano_cogollero_en_ma_z_y_arroz.pdf.
- Gavito, M. E., Hans van der, W., Aldasoro, E. M., Ayala-Orozco, B., Bullén, A. A., Cach-Pérez, M., Casas-Fernández, A., Fuentes, A., González-Esquível, C., Jaramillo-López, P., Martínez, P., Masera-Cerruti, O., Pascual, F., Pérez-Salicrup, D. R., Robles, R., Ruiz-Mercado, I. & Villanueva, G. (2017). Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: retos y perspectivas en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **88**, 150-160. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.09.001>
- García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México, D. F. 246 p. <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/book/83>.
- González, C. M., Gómez, M. N. O., Muñiz, E. J., Valencia, E. F., Gutiérrez, D. G. & Figueroa, L. H. O. (2012). Rendimiento del maíz de riego tratado con zeolita más fertilizantes en el estado de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, **3**, 1129-1144. <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i6.1364>.
- González-Morales, S., Benavides-Mendoza, A., García-Enciso, E. L., Rodríguez-Campos, E. M. & Flores-Olivas, A. (2015). Efecto de las alcámidas como inductores de tolerancia al estrés biótico en tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, **6(spe12)**, 2371-2382. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015001002371&lng=es&nrm=iso.
- Guedes, R., Smagghe, G., Stark, J. & Desneux, N. (2016). Pesticide-induced stress in arthropod pests for optimized integrated pest management programs. *Annual Review Entomology*, **61**, 3.1-3.20. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023646>.
- Hernández-Trejo, A., Estrada, D. B., Rodríguez-Herrera, R., García, G. J. M., Patiño-Arellano, S. A. & Osorio-Hernández, E. (2019). Importancia del control biológico de plagas en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, **10(4)**, 803-813. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1665>
- Lira, S. R., Méndez, A. B., De los Santos, V. G. & Vera, R. I. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta Universitaria*, **28**, 9-24. <https://doi.org/10.15174/au.2018.1575>.
- León-García, I., Rodríguez-Leyva, E., Ortega-Arenas, L. D. & Solís-Aguilar, J. F. (2014). Susceptibilidad de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a insecticidas asociada a césped en Quintana Roo, México. *Agrociencia*, **46**, 279-287. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000300007&lng=es&tln_g=es.

- Martínez, G. A. (1988). Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. Editorial Trillas, S. A. de C. V. México, D. F. 756 p. <https://biblioteca.ecosur.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=000000681>.
- Martínez-Jaime, O. A., Salas-Araiza, M. D. & Díaz-García, J. A. (2018). Curva de crecimiento poblacional de *Spodoptera frugiperda* en maíz en Irapuato, Guanajuato, México. *Agronomía Mesoamericana*, **29**(2), 315-323. <https://doi.org/ISSN2215-3608>.
- Monnerat, R., Martins, E., Macedo, C., Queiroz, P., Praça, L. & Soares, C. M. (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**, e0119544. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119544>.
- Muñoz, C. X. C., Comboza, Q. W. F., Lara, O. E. J., Mendoza, G. M. V., Mejía, Z. N. N, López, M. J. C. & Moran, S. N. L. (2017). Insecticidas biológicos para el control de *Spodoptera frugiperda* Smith, su incidencia en el rendimiento. *Centro Agrícola*, **44**, 20-27. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852017000300003&lng=es&tlang=es.
- ODEPA. (2013). Cambio climático impacto en la agricultura heladas y sequía. Informe Final, diciembre de 2013. Santiago de Chile. 36 p. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2013/12/cambioClimatico2013.pdf>.
- Pedroza, S. A. & Samaniego, J. A. (2009). En tópicos selectos de estadística aplicados a la fitosanidad. (Eds. Bautista, M.N., Soto R.L. y Pérez, P.R.) 179-189. Texcoco Edo. de México. [http://doi.org/10.13140/2.1.4475.7767](https://doi.org/10.13140/2.1.4475.7767).
- Pérez, T. E., Neira de, P. M. & Calderón, A. C. (2019). Alternativas ecológicas en el control de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en el cultivo de maíz amarillo duro. *Scientia Agropecuaria*, **10**, 541-550. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.04.11>
- Pernia, J. C. (2021). El manejo integral de plagas y enfermedades en cultivos como una alternativa de compromiso para el cumplimiento de la responsabilidad social ambiental en la agricultura. *Dissertare*, **6**, 1-21. <https://revistas.uclave.org/index.php/dissertare/article/view/3170>
- Polanczyk, R. A., Da Silva, R. F. P. & Fiuza, L. M. (2000). Effectiveness of *Bacillus thuringiensis* strains against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Brazilian Journal of Microbiology*, **3**, 165-167. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822000000300003>
- PTI. (2014). Ficha técnica del insecticida BeaB ®. <http://www.agroquimicos-organicosplm.com/spectrum-bea-b-1994-9#inicio>.
- Ramírez, Z., Santillán, J., Drouaillet, B., Hernández, E., Pecina, J., Mendoza, M. & Reyes C. (2018). Aptitud combinatoria y resistencia al daño foliar de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) en germoplasma de maíz nativo de Tamaulipas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, **9**, 81-93. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.849>
- Ruiz, A. E. M., Cabral, A. C. C. & Pino, Q. C. (2004). Eficiencia de *Bacillus thuringiensis* Linea HD-1 en el control de *Spodoptera frugiperda* (Smith), Lepidoptera: Noctuidae en condiciones de campo y de laboratorio en el cultivo de maíz dulce *Zea mays* Saccharata. *Investigación Agraria*, **6**, 10-14. <http://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/198>
- SIAP. (2020). Producción nacional, estatal y municipal de maíz. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- SYNGENTA. (2014a). Ficha técnica del insecticida DENIM® 19 CE. <http://www.syngenta.com.mx/denim-19-ce.aspx>.
- SYNGENTA. (2014b). Ficha técnica del insecticida CRYMAX ® GDA. <http://www.syngenta.com.mx/crymax-gda.aspx>.
- Tinoco, A. C. A. (2002). Evaluación de genotipos de maíz durante el ciclo de primavera-verano del 2002 en el sur de Veracruz. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Acayucan, Veracruz, México 7 p.
- Thompson, L. (2013). Pesticide impacts on beneficial species. Grape and wine research and development corporation. <http://research.agwa.net.au/wp-content/uploads/2012/09/2012-05-FS-Pesticide-Impacts2.pdf>.
- Trujillo, C. A. (2005). Evaluación del rendimiento de genotipos comerciales de maíz en la región tropical (zona baja) del estado de Morelos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Zacatepec, Morelos, México. 27 p.
- Veobides-Amador, H., Guridi-Izquierdo, F. & Vázquez-Padrón, V. (2018). Las sustancias húmidas como bioestimulantes de plantas bajo condiciones de estrés ambiental. *Cultivos Tropicales*, **39**, 102-109. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-5936201800400015&lng=es&tlang=es.
- Vergara, O., Pitre, H. & Parvin, D. (2001). Economic evaluation of lepidopterous pests in intercropped sorghum and maize in southern Honduras. *Tropical Agriculture*, **78**, 190-199. <https://www.researchgate.net/publication/233698989>
- Villarreal-Delgado, M. F., Villa-Rodríguez, E. D., Cira-Chávez, L. A., Estrada-Alvarado, M. I., Parra-Cota, F. I. & De los Santos-Villalobos, S. (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista Mexicana de Fitopatología*, **36**, 95-130. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-5>.
- Vivas-Carmona, L. E. (2017). El Manejo Integrado de Plagas (MIP): Perspectivas e importancia de su impacto en nuestra región. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, **5**, 67-69. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592017000200001&lng=es&tlang=es.
- Yáñez, L. R., Vázquez, O. A., Arreguín, C. J. H., Soria, R. J. & Quijano C. J. Á. (2019). Sistema de alerta contra el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Insecta: Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, **10**, 405-416. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i2.803>