

**EVALUACIÓN DEL EFECTO CONJUNTO DE *Bacillus thuringiensis* CON
BACULOVIRUS SfNPV SOBRE LARVAS DE *Spodoptera frugiperda*****EVALUATION OF THE COMBINED EFFECT BACILLUS THURINGIENSIS WITH
BACULOVIRUS SfNPV ON *Spodoptera frugiperda***Braca-Arellano, V.¹; Rangel-Núñez, J.C.²; Del Rincón-Castro, M.C.³¹Posgrado en Biociencias, División de Ciencias de la Vida (DICIVA), Universidad de Guanajuato Campus Irapuato-Salamanca, Carretera Irapuato-Silao, Irapuato, Gto. CP 36500.²Investigador Postdoctoral SECIHTI, División de Ciencias de la Vida (DICIVA), Universidad de Guanajuato Campus Irapuato-Salamanca, Carretera Irapuato-Silao, Irapuato, Gto. CP 36500 jc.rangelnuñez@ugto.mx³Departamento de Alimentos, División de Ciencias de la Vida (DICIVA), Universidad de Guanajuato Campus Irapuato-Salamanca, Carretera Irapuato-Silao, Irapuato, Gto. CP 36500[*cdelrincon@ugto.mx](mailto:cdelrincon@ugto.mx)

Fecha de envío: 31, mayo, 2025

Fecha de publicación: 28, septiembre, 2025

Resumen:

En los últimos 20 años la superficie establecida y volumen de producción de maíz se incrementó 50 y 100 % respectivamente (FAOSTAT, 2024). Este incremento contribuyó al aumento del ataque de plagas, siendo *Spodoptera frugiperda* (Sf) la de mayor incidencia en el mundo, a pesar de ser una plaga originaria de centro América. En los últimos 5 años se expandió a 4 de los 5 continentes. El método de control más usado es el químico, que ha generado resistencia en la plaga y un bajo nivel de control, por este motivo el uso de bioinsecticidas elaborados a base de organismos entomopatógenos es una opción viable. En este trabajo se analizó el efecto al combinar diferentes proporciones de la cepa LBIT-13 de *Bacillus thuringiensis* y la cepa SfNPV-Ar y SfNPV-Sin de baculovirus sobre larvas neonatas de Sf. El análisis se realizó el segundo semestre del 2024, en el Laboratorio de Biotecnología Alimentaria y Vegetal de la DICIVA. Se realizaron bioensayos con la combinación de la CL₅₀ de la cepa LBIT-13 con la CL₅₀ de la cepa SfNPV-Ar; y de la combinación de la CL₅₀ de la cepa LBIT-13 con la CL₅₀ de la cepa SfNPV-Sin de baculovirus, se tomaron lecturas de mortalidad cada 24 horas y se estimó el tipo de interacción con el factor de cotoxicidad, los resultados mostraron un efecto aditivo en ambas combinaciones, en el caso de la combinación de la CL₁₀ de LBIT-13 con la CL₁₀ de la cepa SfNPV-Ar y la CL₁₀ de la cepa LBIT-13 con la CL₁₀ de la cepa SfNPV-Sin se observó un efecto sinérgico en ambas combinaciones. Estos resultados demuestran que es factible obtener sinergias al combinar bajas concentraciones de ambos organismos de control biológico, contribuyendo así al estudio de opciones viables e inocuas para el control efectivo de *Spodoptera frugiperda*.

Palabras clave: Maíz, Control Biológico, Sinergismo.

Abstract:

Over the past 20 years, the cultivated area and production volume of maize have increased by 50% and 100%, respectively (FAOSTAT, 2024). This growth has contributed to a rise in pest infestations, with *Spodoptera frugiperda* (Sf) being the most prevalent worldwide, despite originating in Central America. In the last five years, this pest has spread to four out of five continents. The most method control used is chemical, which has led to resistance in the pest population and reduced efficacy. Consequently, the use of bioinsecticides based on entomopathogenic organisms has emerged as a viable alternative. This study analyzed the effects of combining different proportions of the LBIT-13 strain of *Bacillus thuringiensis* with the SfNPV-Ar and SfNPV-Sin strains of baculovirus on neonate larvae of Sf. The analysis was conducted during the second half of 2024 at the Food and Plant Biotechnology Laboratory of DICIVA. Bioassays were performed using combinations of the LC_{50} of the LBIT-13 strain with the LC_{50} of the SfNPV-Ar strain, and the LC_{50} of the LBIT-13 strain with the LC_{50} of the SfNPV-Sin strain. Mortality readings were taken every 24 hours, and the type of interaction was estimated using the co-toxicity factor. The results showed an additive effect in both combinations. In contrast, when combining the LC_{10} of LBIT-13 with the LC_{10} of SfNPV-Ar, and the LC_{10} of LBIT-13 with the LC_{10} of SfNPV-Sin, a synergistic effect was observed in both cases. These findings demonstrate the feasibility of achieving synergistic effects by combining low concentrations of both biological control agents, thereby contributing to the development of safe and effective alternatives for the management of *Spodoptera frugiperda*.

Keywords: Corn, Biological Control, Synergism.

INTRODUCCIÓN

Spodoptera frugiperda (Sf) conocido comúnmente como gusano cogollero, es una plaga polífaga, que se alimenta de gramíneas, principalmente del maíz, es originaria de América central; sin embargo, a partir del 2018 se reportó su presencia en África. Actualmente se encuentra presente en cuatro de los cinco continentes a nivel mundial, con algunas colonias encontradas en Grecia en la Unión Europea (EPPO Global, LAPHFR, 2025). Es una plaga importante del maíz, en México se encuentra en los 32 estados de la República Mexicana, con mayor presencia en regiones tropicales (DGSV, 2021). El control de esta plaga es principalmente químico, en México los productores reportan que *Spodoptera frugiperda* es una plaga difícil de manejar, con un estimado de 3,000 toneladas de insecticidas sintéticos utilizados al año para su control (Blanco et al., 2014). Como resultado Sf es resistente a 29 ingredientes activos de insecticidas sintéticos con 6 modos de acción (Mota-Sánchez et al., 2017).

Una opción de control es mediante el uso de agentes entomopatógenos como la bacteria *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) que produce diferentes tipos de toxinas insecticidas, cada una de las cuales afecta a un grupo taxonómico estrecho de insectos. El modo de acción de las toxinas Cry se observa a partir de que las larvas de insectos susceptibles ingieren los cristales y esporas de *Bt* cese de la ingesta, parálisis del intestino, diarrea, parálisis total y finalmente la muerte (Soberón y Bravo, 2007). También se promueve el uso de baculovirus, los cuales son virus de ADN que infectan exclusivamente a insectos, principalmente del orden lepidóptera. Son muy específicos y cada especie infecta a una o a muy pocas especies de insectos (Herrero, 2020).

La presencia de *Sf* en grandes regiones productoras de maíz a nivel mundial, así como el daño que provoca en etapas tempranas del cultivo, y el desarrollo de resistencia a varias moléculas químicas, la convierten en una plaga difícil de manejar, por este motivo es de gran importancia continuar con el estudio de nuevas formas de mantenerla bajo control. En este trabajo se analizó el efecto conjunto al combinar una cepa de *Bacillus thuringiensis* altamente tóxica contra *Sf* con una cepa del baculovirus SfNPV-Ar altamente virulenta hacia *Sf*, así como la cepa SfNPV-Sin reportada como poco virulenta hacia *Sf*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Cepa de *Bacillus thuringiensis*

La cepa nativa de *Bt* denominada LBIT-13 fue proporcionada por el Dr. Jorge E. Ibarra Rendón del cepario del Laboratorio de Bioinsecticidas del CINVESTAV IPN Unidad Irapuato.

Cepas SfNPV-Ar y SfNPV-Sin

La cepa SfNPV-Ar fue donada por el Dr Trevor Williams del Instituto de Ecología en México y la cepa SfNPV-Sin fue colectada en el estado de Sinaloa, ambas cepas fueron aisladas e identificadas en el Laboratorio de Biotecnología Alimentaria y Vegetal del Departamento de Alimentos de la DICIVA de la Universidad de Gto.



Reproducción masiva del insecto *Spodoptera frugiperda*.

La colonia de *S. frugiperda* se mantuvo a 27°C y 65 % de humedad relativa en una cámara de crecimiento. Los fueron adultos colocaron en bolsas de papel estraza, las bolsas se cambiaron cada tres días, se recortaron los huevos y se colocaron en cajas Petri con dieta artificial (a base de maíz y frijol soya), las larvas de 1er hasta 3er instar se mantuvieron en cajas Petri con dieta artificial, a partir del cuarto instar se colocan en vasos con dieta hasta pupar (Núñez et al., 2014).

Bioensayos con diferentes combinaciones de las cepas LBIT-13 de *B. thuringiensis* con las cepas de baculovirus SfNPV-Ar y SfNPV-Sin.

Se inocularon 2 cajas Petri con la combinación de 137.2 ng/cm² de la cepa LBIT-13 equivalente a su CL₅₀ con 4.9 x 10⁴ CO/mL equivalente a la CL₅₀ de SfNPV-Ar, disueltos en Agua destilada estéril (ADE), 2 cajas Petri con la combinación de 137.2 ng/cm² de la cepa LBIT-13 equivalente a su CL₅₀ con 1.83 x 10⁶ CO/mL equivalente a la CL₅₀ de SfNPV-Sin disueltos en ADE, se dejaron secar a temperatura ambiente, después se colocaron 10 larvas neonatas de *Sf* por caja, se incubaron a 27°C y una humedad del 65%, se tomaron lecturas de mortalidad cada 24 h hasta llegar a 5 días después de la inoculación.

Bioensayos con la CL₁₀ de LBIT-13 con SfNPV-Ar; y la CL₁₀ de LBIT-13 con la CL₁₀ de SfNPV-Sin.

Se inocularon 2 cajas Petri con la combinación de 26.3 ng/cm² de la cepa LBIT-13 equivalente a su CL₁₀ con 1.5 x 10⁴ CO/mL equivalente a la CL₁₀ de SfNPV-Ar, disueltos en Agua destilada estéril (ADE), 2 cajas Petri con la combinación de 26.3 ng/cm² de la cepa LBIT-13 equivalente a su CL₁₀ con 5.31 x 10⁵ CO/mL equivalente a la CL₁₀ de SfNPV-Sin disueltos en ADE, se dejaron secar a temperatura ambiente, después se colocaron 10 larvas neonatas de *Sf* por caja, se incubaron a 27°C y una humedad del 65%, se tomaron lecturas de mortalidad cada 24 horas hasta llegar a 5 días después de la inoculación.

Se evaluó la eficacia de cinco tratamientos (Cuadro 1) contra larvas neonatas de *S. frugiperda* (*Sf*). Para ello, se inocularon dos cajas Petri con ADE y se dejaron secar a temperatura ambiente. Posteriormente, se colocaron 10 larvas neonatas por caja y se incubaron bajo condiciones previamente establecidas. El diseño experimental fue completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. La variable de

respuesta fue el número de larvas muertas. Los datos obtenidos se analizaron mediante un ANOVA, seguido de una prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de confianza del 95%, con el fin de identificar diferencias significativas entre los tratamientos evaluados.

Cuadro 1. Número de tratamientos, tratamientos y número de larvas probadas en cada uno.

Table 1. Numbers of treatment, Treatment and Number of larvae tested in each treatment.

No. Tratam.	Tratamiento	No de larvas probadas
1	137.2 ng/cm ² de LBIT-13 / 4.9 x 10 ⁴ CO/mL de SfNPV-Ar	60
2	137.2 ng/cm ² de LBIT-13/1.83 x 10 ⁶ CO/mL de SfNPV-Sin	60
3	26.3 ng/cm ² de LBIT-13/1.5 x 10 ⁴ CO/mL de SfNPV-Ar	60
4	26.3 ng/cm ² de LBIT-13/5.31 x 10 ⁵ CO/mL de SfNPV-Sin	60
5	Testigo	60

Se calculó el porcentaje de mortalidad y para estimar el tipo de interacción se utilizó el factor de cotoxicidad con la siguiente fórmula:

$$\text{Factor de cotoxicidad} = \frac{\% \text{ mortalidad observada} - \% \text{ mortalidad esperada}}{\% \text{ mortalidad esperada}} \times 100$$

Donde:

% de mortalidad observado: es el porcentaje observado por cada una de las combinaciones.

% de mortalidad esperado: es la suma del porcentaje de mortalidad de cada uno de los agentes que participan en la combinación.

El resultado del factor de cotoxicidad se divide entre tres categorías: un valor de 20 o más indica sinergismo, un valor de -20 a 20 indica aditividad, un valor menor a -20 indica un efecto antagónico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se muestran los porcentajes de mortalidad obtenidos al combinar la CL₅₀ de LBIT-13 con la CL₅₀ de SfNPV-Ar (CL₅₀ 137.2 ng/cm² de LBIT-13 / CL₅₀ 4.9 x 10⁴ CO/mL de SfNPV-Ar) y CL₅₀ de LBIT-13 con la CL₅₀ de SfNPV-Sin (CL₅₀ 137.2

ng/cm² de LBIT-13/ CL₅₀ 1.83 x 10⁶ CO/mL de SfNPV-Sin), así como los porcentajes de mortalidad obtenidos al combinar la CL₁₀ de LBIT-13 con la CL₁₀ de SfNPV-Ar (CL₁₀ 26.3 ng/cm² de LBIT-13/ CL₁₀ 1.5 x 10⁴ CO/mL de SfNPV-Ar) y CL₁₀ de LBIT-13 con la CL₁₀ de SfNPV-Sin (CL₁₀ 26.3 ng/cm² de LBIT-13/ CL₁₀ 5.31 x 10⁵ CO/mL de SfNPV-Sin). Los tratamientos con la CL₅₀ de la cepa SfNPV-Ar combinada con la CL₅₀ LBIT-13 de *Bt* obtuvieron un 46.7 % de mortalidad a las 24 horas, 51.7 % a las 48 horas, 53.3 % a las 72 horas, 55 % a las 96 horas y 56.7 % a las 120 horas; para la combinación de la CL₅₀ de la cepa SfNPV-Sin con la CL₅₀ de LBIT-13 de *Bt* se obtuvo un 30 % a las 24 horas, 35 % a las 48 horas, 55 % a las 72 horas, 60 % a las 96 horas y 63.3 % a las 120 horas. Los tratamientos con la combinación de la CL₁₀ de la cepa SfNPV- Ar con la CL₁₀ LBIT-13 de *Bt* obtuvieron un 35 %, 38.3 %, 45 %, 48.3 % y 58.3 % de mortalidad a las 24, 48, 72, 96 y 120 horas respectivamente, para el caso de la combinación con la CL₁₀ de la cepa SfNPV-Sin con la CL₁₀ de LBIT-13 de *Bt* se obtuvo un 31.7 %, 36.7 %, 43.3 %, 46.7 % y 53.3 % de mortalidad a las 24, 48, 72, 96 y 120 horas respectivamente.

Cuadro 2. Tratamiento y porcentaje de mortalidad de larvas de *S. frugiperda* de 24 h a 120 h.

Table 2. Treatment and mortality percentage of *Spodoptera frugiperda* larvae from 24 to 120 hours post-exposure

Tratamiento	Porcentaje de mortalidad (%)				
	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h
Testigo	5	5	5	10	10
CL ₅₀ SfNPV-Ar + CL ₅₀ LBIT-13	46.7	51.7	53.3	55.0	56.7
CL ₅₀ SfNPV-Sin + CL ₅₀ LBIT-13	30.0	35.0	55.0	60.0	63.3
CL ₁₀ SfNPV-Ar + CL ₁₀ LBIT-13	35.0	38.3	45.0	48.3	58.3
CL ₁₀ SfNPV-Sin + CL ₁₀ LBIT-13	31.7	36.7	43.3	46.7	53.3

El porcentaje de mortalidad de los tratamientos testigo estuvo en un máximo del 10 %, lo cual es aceptable cuando se trabaja con organismos vivos, en el caso de los diferentes tratamientos analizados el porcentaje esta desde un 30 % en el caso de la combinación de la CL₅₀ SfNPV-Sin + CL₅₀ LBIT-13 a las 24 horas post infección, hasta un 60 % en esta misma combinación a las 120 horas post infección, el resto de las combinaciones caen dentro de este rango; y, de acuerdo al ANOVA y a la prueba de comparación de medias Tukey con un intervalo de confianza del 95 %, existe diferencias significativas con el testigo, no así dentro de los tratamientos analizados con las diferentes concentraciones y las diferentes combinaciones.

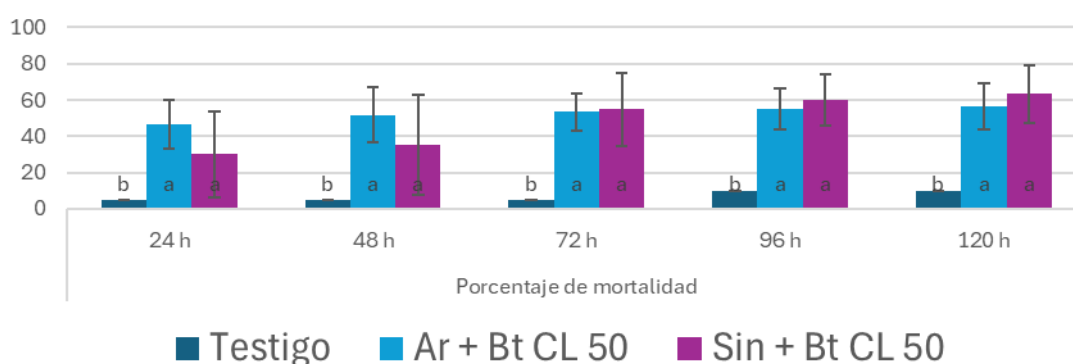


Figura 1. Porcentaje de mortalidad de *Sf* a partir de 24 hasta 120 h después de la inoculación.

Figure 1. Mortality percentage of *Spodoptera frugiperda* from 24 to 120 hours post-inoculation.

Al combinar dos organismos entomopatógenos, como es el caso de *Bacillus thuringiensis* con un baculovirus, es importante conocer el tipo de interacción para saber si el efecto al mezclarlos contribuye a mejorar su nivel de toxicidad o interfiere haciendo que disminuya su nivel de toxicidad, por este motivo se calculó el tipo de interacción con el factor de cotoxidad.

Los resultados obtenidos en este trabajo demostraron que al combinar 137.2 ng/cm² de la cepa LBIT-13 de *Bt* con 4.9x10⁴ CO/mL de la cepa SfNPV-Ar y 137.2 ng/cm² de la cepa LBIT-13 de *Bt* con 1.83x10⁶ CO/mL de la cepa SfNPV-Sin equivalente a la CL₅₀ de cada uno, se tiene una interacción de tipo antagónica, esto se puede atribuir a que se combinó la CL₅₀ de la cepa de *Bt* con la CL₅₀ de una cepa de

SfNPV; por lo tanto la mortalidad esperada es el 100 %, así que cualquier porcentaje de mortalidad por debajo de éste será un efecto antagónico, por lo cual el factor de cotoxicidad es de -43 para el caso de LBIT-13 con SfNPV-Ar y de -36.7 para la combinación de LBIT-13 con SfNPV-Sin, ambos por debajo del rango de -20 a 20 que da un efecto aditivo y muy por debajo de 20 que denota un efecto sinérgico. Por este motivo se realizó la combinación de las CL₁₀ de la cepa LBIT-13 con cada cepa de SfNPV, equivalente a 26.3 ng/cm² de la cepa LBIT-13 con 1.5x10⁴ CO/mL de la cepa SfNPV-Ar, y la combinación de 26.3 ng/cm² de la cepa LBIT-13 con 5.31x10⁵ CO/mL de la cepa SfNPV-Sin, en este caso como el porcentaje de mortalidad esperado al sumar ambas dosis es del 20% y se observó un porcentaje mayor al 50 %; al sustituir los valores en la fórmula de cotoxicidad se obtiene un valor de 191.7 para la combinación LBIT-13 con SfNPV-Ar y un valor de 133.3 para combinación LBIT-13 con SfNPV-Sin; por lo tanto, el efecto encontrado es de sinergia (Cuadro 3).

Cuadro 3. Concentración, combinación, porcentaje de mortalidad y factor de cotoxicidad para las diferentes combinaciones de *Bacillus thuringiensis* con las cepas de SfNPV.

Table 3. Concentration, treatment combinations, larval mortality rates, and co-toxicity factors for the interaction between *Bacillus thuringiensis* and SfNPV strains.

Concentración	Combinación	% mortalidad 120 hdi*	Factor cotoxicidad
CL50	SfNPV-Ar + LBIT-13	56.70 %	-43.3 Antagónico
	SfNPV-Sin + LBIT-13	63.30 %	-36.7 Antagónico
CL10	SfNPV-Ar + LBIT-13	58.30 %	191.7 Sinérgico
	SfNPV-Sin+ LBIT-13	53.30 %	133.3 Sinérgico

*Horas después de la inoculación.

Los resultados de este trabajo mostraron que al combinar la CL₁₀ de la cepa LBIT-13 de *Bt* con la CL₁₀ de la cepa SfNPV-Ar y la CL₁₀ de la cepa LBIT-13 de *Bt* con la CL₁₀ de la cepa SfNPV-Sin, es posible encontrar sinergia. Esto concuerda con lo reportado por Magholli et al. (2013) quienes analizaron diferentes concentraciones de una cepa de *Bt* combinada con una cepa de HasSNPV sobre larvas de *Plutella xylostella*, analizaron combinaciones desde 2.4×10^1 esporas/mL de *Bt* hasta 4.7×10^5 esporas/mL combinadas con 2.3×10^3 CO/mL hasta 6.6×10^5 CO/mL, encontrando sinergismo sólo en la combinación de 2.4×10^1 esporas/mL de *Bt* con 2.3×10^3 CO/mL, donde el porcentaje de mortalidad esperado era de 48.7 % y ellos obtuvieron el 58.7 %, esto les dio como resultado un factor de cotoxicidad de 20, lo que indica sinergismo. En el caso de este estudio se combinó 26.3 ng/cm² de *Bt* con 1.5×10^4 CO/mL de la cepa SfNPV-Ar donde la mortalidad esperada era del 20 % y se obtuvo el 58.3 % de mortalidad y el factor de cotoxicidad fue de 191.7; y en el caso de la combinación de 26.3 ng/cm² de *Bt* con 5.31×10^5 CO/mL de la cepa SfNPV-Sin, donde también el porcentaje de mortalidad esperado era del 20%, se obtuvo un 53.3 %, y el factor de cotoxicidad fue de 133.3, lo que expresa en ambos casos un sinergismo. Esto se puede atribuir a que bajas concentraciones de *Bacillus thuringiensis* puede haber alterado la membrana peritrófica del intestino medio de la larva de tal manera que el NPV pueda llegar a tejidos susceptibles más rápido que si se aplica en solitario, actuando así de manera sinérgica en larvas de *Spodoptera frugiperda*.

Larvas tratadas con baculovirus comienzan a morir a partir de los 5 días, larvas tratadas con *Bt* comienzan a morir a partir de los 3 días (Magholli et al., 2013) y larvas de *Plutella xylostella* tratadas con ambos entomopatógenos comenzaron a morir a partir de las 72 horas, en este estudio se encontraron larvas muertas a partir de las 24 horas lo que es posible corresponda con el efecto de *Bt* (Li et al., 2024). Por este motivo la combinación de *Bt* con una cepa SfNPV de baculovirus contribuye a mejorar el efecto bioinsecticida sobre larvas neonatas de *Spodoptera frugiperda*.

Esto contrasta con lo reportado por Guido-Cira et al. (2017), quienes analizaron la combinación de diferentes dosis de *Bt* y SfNPV, iniciando con 700 µg/mL hasta 1000 µg/mL de *Bt*, con el baculovirus SfNPV, donde iniciaron con 5×10^6 CO/mL hasta 2.5×10^8 CO/mL, obteniendo en la combinación de 700 µg/mL de *Bt* + 5×10^6

CO/mL de SfNPV y combinación de 700 µg/mL de *Bt* + 2.5×10^8 CO/mL de SfNPV un factor de cotoxicidad de -69.79 y de -40 respectivamente, lo que indica un efecto aditivo; además en las combinaciones de 850 µg/mL de *Bt* + 5×10^7 CO/mL de SfNPV y la combinación de 1000 µg/mL de *Bt* + 2.5×10^8 CO/mL de SfNPV un factor de cotoxicidad de -1.34 y de -2.67 respectivamente lo que expresa un efecto aditivo, esto se atribuye al modo de acción de *Bt*, quien por su actividad actúa más rápido sobre las células epiteliales del intestino medio lisándolas, lo que hace que el virus no tenga sitio para iniciar su proceso de infección (Li et al., 2024).

Nuestros resultados también difieren con lo reportado por Carrazco-Baeza *et al.*, 2023, quién analizó la interacción entre el baculovirus PxlyNPV y la cepa LBIT-229 de *Bt* a nivel de laboratorio y de campo, en ambos casos ellos obtuvieron un resultado antagónico, el cual atribuyeron a la diferencia en el modo de acción de *Bt* y del baculovirus. Los baculovirus desarrolla una infección en dos fases en el insecto, la primera ocurre cuando penetran en las células columnares del intestino medio del huésped, mientras que la infección por *Bacillus thuringiensis* se basa en la destrucción del epitelio del intestino medio del huésped debido a la lisis masiva de las células por las toxinas Cry (Heckel, 2020) , por lo tanto si *Bt* destruye el epitelio del intestino medio del insecto antes de que el baculovirus inicie la infección secundaria, este ya no tendrá tejidos que infectar y por lo tanto la dispersión del virus se verá disminuida.

CONCLUSIÓN

La combinación de una cepa de *Bacillus thuringiensis* con la cepa SfNPV-Ar y la cepa SfNPV-Sin de baculovirus a bajas concentraciones tiene un efecto sinérgico, lo que contribuye a mejorar la actividad de ambos sobre larvas neonatas de *Spodoptera frugiperda* en comparación con su aplicación individual, ya que las larvas tratadas con la combinación comienzan a morir a los 3 días, un periodo más rápido que si fueran tratadas sólo con el baculovirus que es de 5 días. Estos resultados contribuyen al estudio de opciones viables para mejorar las formulaciones bioinsecticidas enfocadas al control de *Spodoptera frugiperda*.

LITERATURA CITADA

- Blanco, C. A., Pellegaud, J. G., Nava-Camberos, U., Lugo-Barrera, D., Vega Aquino, P., Coello, 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), 1–9.
- Dirección General de Sanidad Vegetal, Centro Regional de Referencia Fitosanitaria. (2021). *Ficha técnica. Gusano cogollero Spodoptera frugiperda (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae)* (25 pp.).
- EPPO Global Database. (2025). *Spodoptera frugiperda (LAPHFR)*. <https://gd.eppo.int/taxon/LAPHFR>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *FAOSTAT (Database)*. <https://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Guido-Cira, N. D., Tamez-Guerra, P., Mireles-Martínez, M., Villegas-Mendoza, J. M., & Rosas-García, N. M. (2017). Activity of *Bacillus thuringiensis*- and baculovirus-based formulations to *Spodoptera* species. *Southwestern Entomologist*, 42(1), 191–201.
- Heckel, D. G. (2020). How do toxins from *Bacillus thuringiensis* kill insects? An evolutionary perspective. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 104(2), e21673.
- Herrero, A. (2020). Baculovirus: un aliado en la lucha contra la COVID-19. *The Conversation*. <https://theconversation.com/baculovirus-un-aliado-en-la-lucha-contra-la-covid-19-135056>
- Li, J., Guo, Q., Yang, B., & Zhou, J. (2024). Combined analysis of metabolomics and transcriptome revealed the effect of *Bacillus thuringiensis* on the 5th instar larvae of *Dendrolimus kikuchii* Matsumura. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(21), 11823.
- Magholli, Z., Marzban, R., Abbasipour, H., Shikhi, A., & Karimi, J. (2013). Interaction effects of *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* and single nuclear polyhedrosis virus on *Plutella xylostella*. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 120, 173–178.
- Mota-Sanchez, D., Hollingworth, R. M., Grafius, E. J., & Moyer, D. D. (2006). Resistance and cross-resistance to neonicotinoid insecticides and spinosad in the Colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae). *Pest Management Science*, 62(1), 30–37.
- Núñez, J. C. R., Ramírez, M. F. V., & Castro, M. C. D. R. (2014). Caracterización biológica y molecular de cepas exóticas de baculovirus SfNPV, con actividad bioinsecticida hacia una población mexicana del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Interciencia*, 39(5), 320–326.
- Soberón, M., & Bravo, A. (2007). Las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis*: modo de acción y consecuencias de su aplicación. *Biotecnología*, 14, 303–314.