

Uso de baculovirus como agentes de control biológico contra el gusano cogollero del maíz

Use of baculoviruses as biological control agents against the fall armyworm

Fernando Antonio Aguilar Campos¹, Paloma Juliet Pacheco Gutiérrez¹, Jonatan Carmen Rangel Núñez¹, María de los Angeles Bivián Hernández¹, y María Cristina Del Rincón Castro¹

¹Departamento de Alimentos y Posgrado en Biociencias, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato. Km. 9.0 Libramiento Irapuato-León. Ex Hacienda El Copal, CP36500, Irapuato, Gto. México
cdelrincon@ugto.mx¹

Resumen

El maíz es el grano más producido a nivel mundial, y en México representa la principal fuente de alimentación en la dieta del mexicano, por lo que es crucial asegurar una producción sostenible de éste. Dentro de los retos a los que se enfrenta su producción, se encuentra la pérdida de rendimiento por plagas, específicamente por el ataque del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda*. Este insecto ya ha desarrollado resistencia al uso de agroquímicos. Como alternativa para su control, se plantea el uso de agentes de control biológico, tales como los baculovirus, potenciados por el uso de aditivos de origen viral que puedan incrementar su efecto bioinsecticida. En el presente trabajo se utilizó una quitinasa producida por un baculovirus altamente virulento, denominado SfNPV-Gto, y ésta se expresó en el bácido BACCHIA, utilizando la línea celular Sf9. El sobrenadante del medio de cultivo que contenía a esta quitinasa recombinante, se mezcló con una cepa de baculovirus poco virulenta, la cepa SfNPV-Sin, para analizar si su virulencia se incrementaba. Esta combinación de quitinasa más virus, incrementó la mortalidad en las larvas de *S. frugiperda* infectadas con el virus SfNPV-Sin, a las 120 horas post-infección (hpi), de un 70% de forma natural, a un 97% por el efecto de la quitinasa añadida. Al observar los datos de mortalidad, se detectó que, desde las 24 hpi, existía un aumento de mortalidad en el tratamiento donde se combinó al virus SfNPV-Sin y la quitinasa, al compararse la infección con el virus solo. Se pudo concluir que las quitinasas de origen viral de cepas de baculovirus muy virulentas, pueden ser usadas como aditivos, para aumentar la virulencia de cepas de baculovirus con baja actividad y mejorar el potencial bioinsecticida de los baculovirus empleados en el control biológico del gusano cogollero del maíz.

Palabras clave: baculovirus, maíz, gusano cogollero, control biológico.

Introducción

El maíz es originario de México, tiene una importancia económica, social y cultural y es la base de la dieta del mexicano. En el ciclo 2023-2024 se sembraron más de 6 millones de hectáreas de este cultivo, representando alrededor del 3.3% de la producción mundial (SIAP, 2024). Además, el maíz es uno de los cereales más cultivados a nivel mundial, sembrándose para este mismo ciclo (2023-2024) aproximadamente 203 millones de hectáreas, según informes de Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) (Panorama Agroalimentario Maíz, 2024). Sin embargo, la producción y calidad de este cultivo se ven afectados por diversos factores, entre ellos los insectos plaga, destacándose el gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda*, el cual es la plaga de mayor importancia económica a nivel mundial, causando daños en el rendimiento del cultivo de maíz, de alrededor del 60% (Trejo *et al.*, 2018). Para contrarrestar los daños ocasionados por el gusano cogollero del maíz, se ha empleado principalmente el control químico, sin embargo, este tipo de control ha ocasionado serios daños al medio ambiente, la salud humana, y ha tenido efectos en *S. frugiperda*, ya que esta ha generado resistencia a ellos (Carvalho *et al.*, 2013).

Una de las alternativas inocuas y seguras para el control del gusano cogollero el maíz *S. frugiperda*, la representa el control biológico de plagas. Dentro de estas alternativas se han utilizado los virus entomopatógenos, específicamente los miembros de la familia *Baculoviridae*. Los baculovirus, son virus de

ADN de doble cadena, circular, superenrollado, con un genoma de 80 a 180 kilo pares de bases (kpb) y codifican entre 80 y 180 genes (Vásquez *et al.*, 2022). Estos virus expresan genes tempranos inmediatos, inmediatos, tardíos y muy tardíos, dependiendo del tiempo en el que se expresan durante la infección (Gutiérrez *et al.*, 2021). Dentro de los genes de expresión muy tardía se encuentran las quitinasas, estas enzimas promueven la licuefacción de las larvas infectadas facilitando de esta manera la dispersión del virus al medio ambiente. Además, algunos estudios han demostrado que estas enzimas pueden alterar la estructura de la membrana peritrofica de los insectos y facilitar el paso de los viriones de baculovirus a las células del intestino medio de estos (Salvador *et al.*, 2014).

Los bioinsecticidas a base de baculovirus se han empleado solos, en combinación con otros agentes de control biológico, o agregando algunos aditivos a la formulación. Estos últimos, son agregados con la finalidad de potenciar la virulencia de las cepas. Por ejemplo, el calcofluor, es un compuesto que puede aumentar la susceptibilidad de las larvas a la infección por baculovirus (Wang y Granados, 2000), generando poros en la membrana peritrofica, haciendo que los viriones del patógeno entren en contacto con las células columnares del intestino medio. Por todo lo anterior, en este trabajo se seleccionaron dos cepas de baculovirus, una altamente virulenta, la SfNPV-Gto y otra con baja patogenicidad, la cepa SfNPV-Sin, hacia el gusano cogollero del maíz. A partir del aislado SfNPV-Gto, se extrajo el gen que codifica para la enzima quitinasa, el cual fue clonado en un bácmido de baculovirus y posteriormente expresado en células Sf9 provenientes del insecto *S. frugiperda*. Esta enzima heteróloga, expresada en el sistema *in vitro*, fue purificada y utilizada en combinación con la cepa SfNPV-Sin, con el objetivo de que al realizar esta combinación, se potenciará el efecto bioinsecticida de esta cepa, y así poder incrementar su virulencia hacia larvas de *S. frugiperda*.

Materiales y métodos

Mantenimiento de la colonia de *S. frugiperda*

La colonia de *S. frugiperda* utilizada en este trabajo, fue establecida en el Laboratorio de Biotecnología Alimentaria y Vegetal de la Universidad de Guanajuato, desde hace más de 10 años, para su establecimiento se usó dieta artificial a base de maíz, frijol de soya y levadura, según lo descrito por Rangel Núñez *et al.*, 2014. Dicha colonia se mantuvo bajo condiciones controladas de 25 °C, 60% humedad relativa y un fotoperiodo de 14:10 horas luz: oscuridad. Los adultos se alimentaron con miel diluida al 10%.

Producción de la cepa de baculovirus

Se utilizó la cepa nativa de baculovirus SfNPV-Sin descrita por Zanella-Saenz *et al.*, 2022, la cual se amplificó contaminando la superficie de dieta artificial para *S. frugiperda* con una dosis de 1×10^6 cuerpos de occlusión (CO's) por placa y se colocaron 10 larvas de *S. frugiperda*, estas se incubaron entre 6-7 días bajo condiciones controladas, se colectaron y se les extrajo el virus macerándolas en un mortero de porcelana, con una solución de SDS al 0.5%, esto se filtró usando una malla de organza, se centrifugó a 13,000 rpm por 10 minutos, en una centrifuga Hermle (Z326K) y se desechó el sobrenadante, realizando esto por triplicado. Finalmente, la pastilla se disolvió en 10 ml de agua destilada estéril (ADE). Posteriormente los CO's se purificaron en gradientes continuos de sacarosa del 66-40% peso-peso, en una ultracentrífuga Beckman Coulter (XPN-100) a 24,000 rpm por 1.5 horas a 4°C, se colectó la banda correspondiente a los CO's y se disolvió con ADE, se centrifugó a 13,000 rpm por 10 minutos, la pastilla se disolvió en ADE y se repitió el proceso tres veces. Una vez purificados los CO's, estos se cuantificaron usando una cámara de Neubauer.

Producción y extracción de quitinasa

La enzima quitinasa utilizada en este estudio, fue aislada de la cepa de baculovirus SfNPV-Gto y producida por Rangel-Núñez *et al.*, 2025 (datos sin publicar). Esta quitinasa se clonó en el bácmido BACCHIA, se expresó en la línea celular Sf9, la cual se mantuvo en medio Sf900 III sin suero de bovino fetal. Se usaron 10 μ l del vector BACCHIA y se colocaron en una monocapa de células de Sf9, a una concentración de 2×10^6 células diluidas en dos ml de medio de cultivo Sf900 III. Las células se incubaron por 5 días a 28°C, se separaron del sobrenadante, y éste último se sometió a sonicación en un ultrasonido Branson 2800 a 40 kHz por 15 minutos, posteriormente se centrifugó a 2,500 rpm por 10 minutos y se volvió a colectar el sobrenadante para almacenarse finalmente a -20°C.

Cuantificación de la quitinasa

La proteína total presente en el sobrenadante de las células infectadas con el bácmido BACCHIA, se cuantificó utilizando el método de Bradford, con el kit Bradford II Protein assay (BioRad) siguiendo las recomendaciones del proveedor. Se emplearon microplacas de 96 pozos Nunc MaxiSorp (Thermo Scientific),

las cuales se analizaron en un espectrofotómetro de microplaca Mark (BioRad), a una longitud de onda de 595 nm. Se utilizó como blanco el medio de cultivo Sf900 III sin suero bovino.

Geles de SDS-PAGE

Las proteínas presentes en el sobrenadante de las células infectadas con el bácmido BACCHIA, se analizaron en un gel de acrilamida SDS-PAGE al 13%. Se usaron 25 µg del sobrenadante de las células infectadas con BACCHIA y se mezclaron con la solución 4x de Laemmli (500 µL de Tris 0.5 M pH 6.8, 200 µL de SDS 20%, 200 µL de Glicerol y 100 µL de azul de Bromofenol 0.002%), hasta obtener una concentración final de la solución de Laemmli 1x, junto con 0.5 µL de β-mercaptoetanol. 10 µL de volumen se hirvieron por cinco minutos. El gel separador se preparó usando 1.822 mL de agua destilada estéril, 1.125 mL de Tris 1.5 M pH 8.8, 1.4 mL de acrilamida al 40%, 45 µL de SDS al 10%, 4.5 µL de TEMED y 45 µL de persulfato de amonio al 10%. El gel concentrador se preparó al 5% con: 1.095 mL de agua destilada estéril, 187 µL de Tris 0.5 M pH 6.8, 187 µL de acrilamida al 40%, 15 µL de SDS al 10%, 1.5 µL de TEMED y 15 µL de persulfato de amonio al 10%. Los geles se colocaron la cámara vertical Mini PAGE System (Select BioProducts) con buffer de corrida para el SDS-PAGE (250 mM Tris base, 1.92 M Glicina, 1% SDS, pH 8.8). Las muestras se sometieron a electroforesis a 60 volts por 30 minutos seguidas de 120 volts por 1.5 horas. Los geles se fijaron con una solución de 50% de agua destilada, 40% de metanol y 10% de ácido acético por 30 minutos, a 30 rpm. Posteriormente se tiñeron con solución de Coomassie (0.25% azul brillante de Coomassie G-250, 45 % metanol, 5% ácido acético, 50% agua destilada) durante 10 minutos a 30 rpm, se destiñeron toda la noche con una solución de destinción (7.5% ácido acético, 5% metanol, 87.5% agua) y se observaron en un fotodocumentador Gel Doc™ EZ Imagen (BioRad).

Extracción de ADN y PCR para la identificación del gen de la quitinasa

El ADN se extrajo del sobrenadante de las células infectadas con el bácmido BACCHIA, se tomaron 100 µl de éstas, se les añadieron 400 µl del buffer de proteinasa K (0.01 M Tris base; 0.005 M EDTA; 0.5% SDS) y 10 µl de proteinasa K (10 mg/ml), y la reacción se incubó a 60 °C por 30 minutos. Pasado ese tiempo, se agregó un volumen de Fenol:Cloroformo:Alcohol Isoamílico 50:49:2, la mezcla se homogenizó manualmente y se centrifugó a 14,000 rpm por 10 minutos. Se recuperó la fase acuosa superior en un tubo nuevo y se mezcló con un volumen de Isopropanol y 20 µl de NaCl 5M, se homogenizó manualmente, se centrifugó a 14,000 rpm por 10 minutos, y se desechó el sobrenadante. La pastilla obtenida se lavó con 500 µl de etanol absoluto, se centrifugó a 14,000 rpm por 5 minutos, se desechó el sobrenadante, se dejó secar y el DNA se analizó en un gel de agarosa al 0.8 %, el resultado se visualizó en un fotodocumentador Gel Doc™ EZ Imagen (BioRad).

Se realizó un PCR para determinar la presencia del bácmido BACCHIA del ADN extraído anteriormente. Se utilizaron los oligonucleótidos PolProm-D 5'-CTGGAAGGGAAGCAAGGTAAT-3' y ChiaStop-R 5'-TTACAATTCATCTTTTATAACTTG-3', bajo las siguientes concentraciones de reacción: ADE 38.8 µl, buffer 10X 5 µl, ClMg₂ 2.5 µl, dNPT's 1 µl, PolProm-D 1 µl, ChiaStop-R 1 µl, taqDNApol 0.2 µl, DNA 1 µl. Lo anterior se sometió a 35 ciclos de reacción en un termociclador BioRad T100, bajo las siguientes condiciones: 95 °C por 3 minutos, seguido de 35 ciclos de 95 °C por 30 segundos, 50 °C por 30 segundos y 72 °C por dos minutos. Finalmente se sometió a 72 °C por 3 minutos. El resultado se analizó en un gel de agarosa al 0.8 % y se visualizó en un fotodocumentador Gel Doc™ EZ Imagen (BioRad).

Actividad conjunta de la quitinasa con el baculovirus SfNPV-Sin

Para medir la efectividad de la quitinasa producida por el bácmido BACCHIA en las células Sf9, se mezcló 1 µg de proteína total del sobrenadante, con una concentración equivalente a la CL₅₀ de la cepa SfNPV-Sin (de 1,619 cuerpos de oclusión/mm² (Zanella-Saenz *et al.*, 2022)). Como testigos se utilizó a la cepa viral SfNPV-Sin sin mezclar con la quitinasa, a la misma concentración descrita anteriormente, y a la quitinasa purificada a una concentración de 1 µg. Como control negativo, se utilizó agua destilada estéril. Tanto el tratamiento del virus con la quitinasa añadida, como los controles, se completaron a un volumen de 1,000 µl con agua destilada estéril y esto se dividió en dos volúmenes iguales. Cada volumen de 500 µl se esparció en una caja Petri de 6,000 mm². Para cada tratamiento y control, se usaron 10 larvas de primer instar de *S. frugiperda*, adaptadas a la dieta artificial y se realizaron tres réplicas de cada tratamiento. Las mortalidades se registraron cada 24 horas, por un periodo de cinco días y se compararon los resultados obtenidos.

Resultados y discusión

Mantenimiento de la colonia de *S. frugiperda* y amplificación del inoculo viral

El mantenimiento de la colonia de *S. frugiperda* fue una etapa vital para poder llevar a cabo todos los experimentos de este estudio. La colonia se mantuvo con una producción sostenida de 4,000 larvas de diferentes instares, así como un promedio de 300 pupas y 150-200 adultos por ciclo de un mes (Fig. 1A, B, C y D). Por otro lado, se utilizaron larvas sanas de *S. frugiperda* para amplificar al virus SfNPV-Sin, y las larvas muertas se recolectaron entre los 5 y 7 días post infección. Estas se procesaron y los cuerpos de oclusión se purificaron en gradientes continuos de sacarosa y fueron cuantificados, obteniéndose una producción de 1×10^9 CO's de la cepa SfNPV-Sin.



Figura 1. Colonia de *S. frugiperda*. A: Adultos en bolsa; B: Larvas neonatas; C: Larvas de 2° y 3° instar en dieta artificial; D: Larvas en vaso

Efecto de la sobreexpresión de la quitinasa en células Sf9

Para corroborar la producción de la quitinasa, se infectó la línea celular Sf9 con el bácmido BACCHIA, observándose que a los 5 días posinfección, las células presentaron una deformación de su núcleo, que no presentaban las células sanas (Fig.2A y B). Las células infectadas se sonicaron y se observaron en el microscopio invertido, detectándose una deformación de estas y una lisis en las células más afectadas por la infección, lo que propició la liberación de partículas densas de color negro, que podrían ser cristales de quitinasa, tal como se observó en la Fig. 2C. Al centrifugar este lisado a bajas revoluciones (2,000 rpm), dichas partículas no precipitaron junto con los restos celulares, como pudo observarse en la Fig.2D. El hecho de haber clonado la secuencia de la quitinasa bajo un promotor fuerte, como lo es el promotor de la poliedrina (Grose *et al.*, 2021), pudo provocar la hiperexpresión de ésta en las células afectadas por el bácmido BACCHIA, y como consecuencia, las células se tornaron inestables y sufrieron una lisis muy marcada, igual que una alta fragilidad (Fig. 2B). En cuanto a los gránulos observados en las células expuestas a la quitinasa sobreexpresada, estos podrían deberse a la acumulación de quitina expresada en grandes cantidades (Fig.2D).

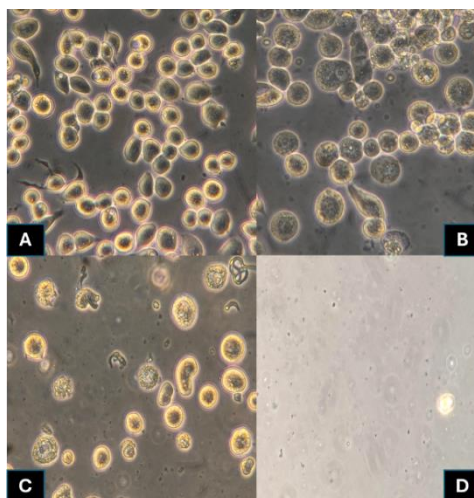


Figura 2. Infección de la línea celular Sf9. A: Sf9 sana; B: Sf9 infectada con el bácmido BACCHIA; C: Sf9 infectada con el bácmido BACCHIA sonificado; D: Sobrenadante de Sf9 infectada con el bácmido BACCHIA, sonicada y centrifugada

Geles de SDS-PAGE

Las células Sf9 infectadas con el bácmido BACCHIA, se colectaron cinco días después de la infección junto con el medio, estas se sonicaron y se centrifugaron, posteriormente se cuantifico la cantidad de proteína en el sobrenadante, por el método de Bradford y se utilizaron 25 ug para analizarlos en un gel desnaturizante SDS-PAGE, en dónde se pudo observar la Fig. 3, en el carril 1, la presencia de una banda de 63 kDa, correspondiente a la quitinasa producida por el bácmido BACCHIA en las células Sf9. Este peso molecular corresponde al predicho por el análisis de las secuencias de las quitinasas encontradas en los genomas de las cepas SfNPV-Ar, SfNPV-Fx, SfNPV-Ho, SfNPV-Sin y SfNPV-An1 (Rangel *et al.*, 2025) (datos sin publicar). Asimismo, este peso molecular se encuentra dentro del rango de peso de las quitinasas de otros baculovirus, el cual puede oscilar de los 58 hasta los 65 kDa (Hawtin *et al.*, 1997, Wang *et al.*, 2013).

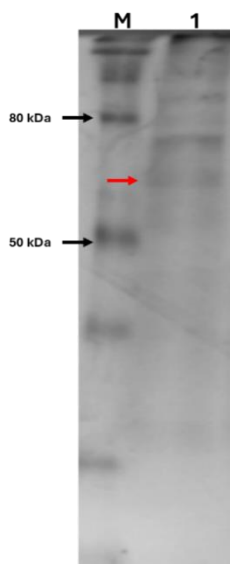


Figura 3. Gel SDS-PAGE del sobrenadante de células Sf9 infectadas. M: Marcador de peso molecular Benchmark. Carril 1: Sobrenadante de células Sf9 infectadas con BACCHIA.

Extracción de ADN y PCR de la quitinasa

Para corroborar la replicación del bácmido BACCHIA en la línea celular Sf9, se tomó el sobrenadante de las células infectadas previamente con éste, sin sonicar, y se le extrajo ADN. Tal como se observó en la Fig. 4A, en el carril 1, se pudo observar un ADN integro de más de 12,000 pb, correspondiente al ADN del bácmido BACCHIA. Con ese ADN se realizó un PCR con los oligonucleótidos PolProm-D y ChiaStop-R, con los cuales se obtuvo un amplicón de aproximadamente 1,769 pb (Fig. 4B, carril 2), de las cuales, 1,719 pb correspondieron al gen de la quitinasa y 50 pb correspondían al promotor de la poliedrina. Esta amplificación fue posible debido a que el gen de la quitinasa se clonó bajo el promotor de la poliedrina, un promotor ampliamente usado para producir proteínas recombinantes en el sistema de baculovirus utilizando células de insecto (Grose *et al.*, 2021).

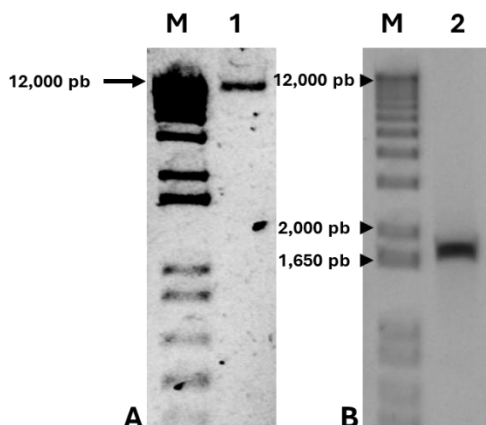


Figura 4.- Extracción de DNA y PCR para verificar la expresión de la quitinasa. A: Carril 1: DNA del sobrenadante de células infectadas con el bácmido BACCHIA. B. Carril 2: PCR con los oligonucleótidos PolProm-D y ChiaStop-R con el DNA del sobrenadante del carril 1. M: marcador de peso molecular 1 kb plus.

Actividad conjunta de la quitinasa con el baculovirus SfNPV-Sin

Se evaluó la mortalidad de larvas neonatas de *S. frugiperda* con cuatro tratamientos, a) el primero de ellos fue infectar larvas solamente con agua, b) el segundo tratamiento, consistió en la infección de larvas solamente con la quitinasa del sobrenadante; c) el tercer tratamiento fueron larvas infectadas solamente con la cepa SfNPV-Sin sin quitinasa añadida y d) el último tratamiento, consistió en infectar a las larvas de *S. frugiperda* con la cepa SfNPV-Sin, más 1 µg de la quitinasa expresada en las células Sf9. La mortalidad fue evaluada cada 24 horas durante 5 días. Como se pudo observar en la Fig. 5, en las larvas del testigo negativo solo con agua, estas presentaron una baja mortalidad durante todo el experimento. En cuanto a la actividad del tratamiento dos, larvas tratadas con la quitinasa sola, se observó un ligero incremento de mortalidad, específicamente a las 120 hpi. Esto sugiere un efecto mínimo por parte de la quitinasa por sí sola. En cuanto al tercer tratamiento, larvas infectadas solamente con el virus SfNPV-Sin, estas mostraron un incremento progresivo en la mortalidad a través del tiempo, observándose un porcentaje de mortalidad del 20% para las 48 hpi y alcanzando el 72.5% de mortalidad a las 120 hpi. Por último, con el último tratamiento (virus SfNPV-Sin más quitinasa) el efecto detrimental fue mucho más evidente desde las 48 hpi, con una tendencia al alza en cada tiempo medido, alcanzando un porcentaje de mortalidad superior al 97.5% a las 120 hpi, siendo superior al porcentaje presentado que si solamente se hubiera inoculado el virus SfNPV-Sin solo.

Estos resultados sugieren una posible sinergia entre la quitinasa sobreexpresada y el virus SfNPV-Sin, en donde esta enzima podría estar potenciando el efecto infectivo del virus o ayudando a que los viriones liberados del mismo puedan llegar más fácilmente a las células columnares del insecto, al estar degradando esta quitinasa la membrana peritrófica de los mismos. Resultados similares a estos fueron observados, cuando se utilizó 1 µg/ mL de una quitinasa recombinante expresada y purificada de *Escherichia coli*, en larvas del quinto instar del gusano de seda (*Bombix mori*), donde se observó una mortalidad del 100% (Rao *et al.*, 2004). Por otro lado, hay estudios que muestran que algunas quitinasas de baculovirus tienen un efecto insecticida de amplio espectro, es decir, no solo actúan sobre el mismo insecto hospedero. Por ejemplo, la quitinasas del Nucleopoliedrovirus de *Dendrolimus kikuchii*, mostró actividad insecticida contra diversas

especies tales como *Spodoptera exigua*, *Hyphantria cunea*, *Helicoverpa armigera* y *Lymantria dispar* (Q. Wang et al., 2013).

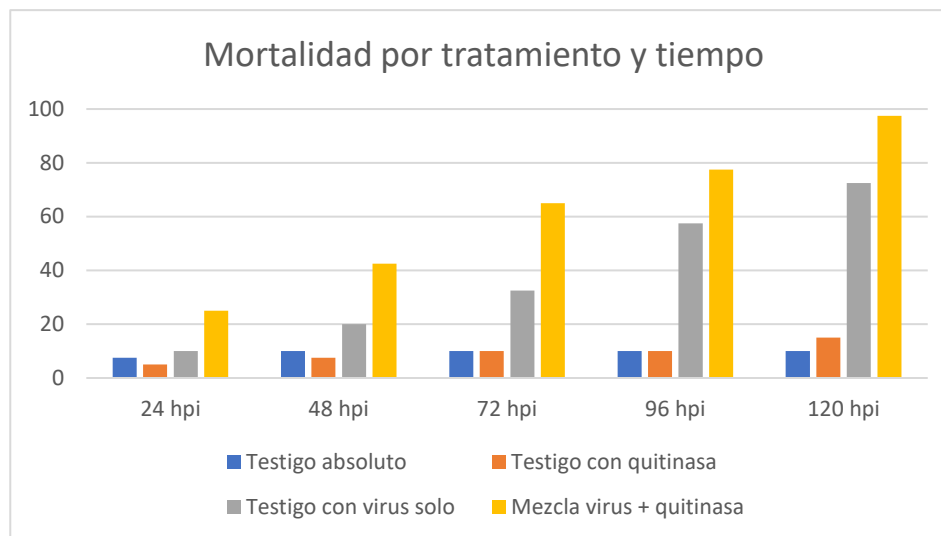


Figura 5. Porcentaje de mortalidad en larvas de *S. frugiperda* tratadas con agua solamente (línea azul); larvas inoculadas solamente con quitinasa recombinante (línea naranja); larvas infectadas con el virus SfNPV-Sin sin quitinasa (línea gris) y larvas infectadas con el virus SfNPV-Sin más quitinasa (línea amarilla)

Conclusiones

En el presente trabajo se evaluó el efecto de una quitinasa recombinante expresada en un bácmido en la línea celular Sf9, proveniente de un baculovirus altamente virulento (SfNPV-Gto) hacia el insecto plaga *S. frugiperda*, la cual, al usarse como aditivo a una concentración de 1 µg, en combinación con CO's de una cepa viral SfNPV-Sin poco virulenta (CL_{50} de 1,619 CO's/mm²) incrementó la mortalidad de esta cepa en un 25% a las 120 hpi. Asimismo, se observó que este efecto fue muy distinto al control negativo, en donde las larvas solo tratadas con agua nunca sufrieron daño alguno durante el transcurso del experimento. Más aún, cuando se probó la quitinasa sola en larvas de *S. frugiperda*, la mortalidad de estas no superó el 15% a las 120 hpi. En cuanto al virus SfNPV-Sin por sí solo, este mostró un aumento de la mortalidad hasta las 72 hpi (40%), tiempo en que la combinación de virus más quitinasa, presentó el doble de la mortalidad en este mismo tiempo (80%). En el presente trabajo se determinó que las quitinasas de baculovirus, pueden ser utilizadas como aditivos para incrementar la virulencia de las cepas de baculovirus poco infectivas, y este tipo de formulaciones mejoradas, pueden incrementar el potencial de los baculovirus dentro de los programas de control de plagas de importancia agrícola, como lo es el gusano cogollero del maíz, sin afectar al medio ambiente y representando una alternativa de control sustentable y ecológicamente inocua.

Referencias

- Carvalho, R. A., Omoto, C., Field, L. M., Williamson, M. S., and Bass, C. (2013). Investigating the molecular mechanisms of organophosphate and pyrethroid resistance in the fall armyworm *Spodoptera frugiperda*. *PLoS ONE*, 8(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062268>
- Grose, C., Putman, Z., and Esposito, D. (2021). A review of alternative promoters for optimal recombinant protein expression in baculovirus-infected insect cells. In *Protein Expression and Purification* (186). <https://doi.org/10.1016/j.pep.2021.105924>
- Gutierrez, A. L. M., Villaseñor, V. F., y Ocegüera, C. E. (2021). Baculovirus, un patógeno versátil. *Revista Ciencia. Academia Mexicana de Ciencias*. 72 (2): 1-8.
- Panorama Agroalimentario del maíz 2024. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-chapingo/biologia-vegetal/panorama-agroalimentario-del-maiz-2024-analisis-y-perspectivas/129337093>. Consultado el 15 de julio de 2025.
- Rangel Núñez, J. C., Vázquez Ramírez, M. F., and Del Rincón Castro, M. C. (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. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33930879005.pdf>

- Rao, R., Fiandra, L., Giordana, B., De Eguileor, M., Congiu, T., Burlini, N., Arciello, S., Corrado, G., and Pennacchio, F. (2004). AcMNPV ChiA protein disrupts the peritrophic membrane and alters midgut physiology of *Bombyx mori* larvae. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 34(11), 1205–1213. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2004.08.002>
- Salvador, R; Ferrelli, M. L; Sciocco-Cap, A., and Romanowski, V. (2014). Analysis of a chitinase from EpapGV, a fast killing betabaculovirus. *Virus Genes*, 48(2), 406–409. <https://doi.org/10.1007/s11262-013-1019-7>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Base de datos 2023. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Vásquez, J., Zeddám, J. L., and Tresierra, A. A. (2022). Vázquez et al., 2002. *Folia Amazónica*, 13, 1–2.
- Wang, P. and Granados, R. R. (2000). Calcofluor disrupts the midgut defense system in insects. In *Insect Biochemistry and Molecular Biology* (Vol. 30). www.elsevier.com/locate/ibmb
- Wang, Q., Qu, L., Zhang, Z., Wang, Y., and Zhang, Y. (2013). Characterization of a novel chitinase, DkChi, from *Dendrolimus kikuchii* nucleopolyhedrovirus. *Archives of Virology*, 158(12), 2523–2530. <https://doi.org/10.1007/s00705-013-1775-7>
- Wang, Y., Choi, J. Y., Roh, J. Y., Tao, X. Y., Liu, Q., Lee, J. H., Kim, J. S., Kim, W. J., and Je, Y. H. (2013). Insecticidal activity of the chitinase from the *Spodoptera litura* nucleopolyhedrovirus. *Entomological Research*, 43(1). <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12004>
- Zanella-Saenz, I; Herniou, E. A; Ibarra, J. E; Huerta-Arredondo, I. A; and Del Rincón-Castro, M. C. (2022). Virulence and genetic characterization of six baculovirus strains isolated from different populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Archives of Microbiology*, 204(1). <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02722-8>