

# Toxicidad de la proteína Bt en *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) alimentadas con estigmas de maíz en Paraguay

Bt protein toxicity in *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) fed on maize stigmas in Paraguay

 MAGIN GAMARRA<sup>1</sup>,  VICTOR GÓMEZ<sup>1\*</sup>,  OSMAR ARIAS<sup>1</sup>,  
 EDGAR GAONA<sup>1</sup>,  MARÍA RAMÍREZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay. [maginfo.jg@gmail.com](mailto:maginfo.jg@gmail.com), [victor.gomez@agr.una.py](mailto:victor.gomez@agr.una.py), [oarias@agr.una.py](mailto:oarias@agr.una.py), [egaonamena@hotmail.com](mailto:egaonamena@hotmail.com), [mramirez@agr.una.py](mailto:mramirez@agr.una.py)

## \* Autor de correspondencia

Víctor Gómez, Dpto. de Protección Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias. Ruta II Mariscal Estigarribia Km 10.5, Universidad Nacional de Asunción, San Lorenzo, Paraguay. [victor.gomez@agr.una.py](mailto:victor.gomez@agr.una.py)

## Citación sugerida

GAMARRA, M.; GÓMEZ, V.; ARIAS, O.; GAONA, E.; RAMÍREZ, M. 2022. Toxicidad de la proteína Bt en *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) alimentadas con estigmas de maíz en Paraguay. Revista Colombiana de Entomología 48 (1): e11215. <https://doi.org/10.25100/socolen.v48i1.11215>

Recibido: 07-May-2021

Aceptado: 01-Feb-2022

Publicado: 12-Mar-2022

Revista Colombiana de Entomología

ISSN (Print): 0120-0488

ISSN (On Line): 2665-4385

<https://revistacolombianaentomologia.univalle.edu.co>

## Open access



BY-NC-SA 4.0  
[creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es)

Publishers: Sociedad Colombiana de Entomología  
SOCOLEN (Bogotá, D. C., Colombia)

<https://www.socolen.org.co>

Universidad del Valle (Cali, Colombia)

<https://www.univalle.edu.co>

© 2021 Sociedad Colombiana de Entomología -  
SOCOLEN y Universidad del Valle - Univalle

**Resumen:** La “plaga del cogollo” *Spodoptera frugiperda* (Smith) es considerada plaga clave en el cultivo del maíz. Los maíces genéticamente modificados, evento o maíz Bt (*Bacillus thuringiensis*) contienen genes que expresan proteínas tóxicas para esta plaga, diferentes por cada evento. El objetivo de esta investigación fue evaluar la toxicidad entre los eventos Bt determinándose la mortalidad y los parámetros biológicos de importancia. La población de *S. frugiperda* previamente colectada del campo fue criada en condiciones de laboratorio alimentada con estigmas de MIR162<sup>TM</sup> (Vip3A19), VT3Pro<sup>TM</sup> (Cry1A105, Cry2Ab2, Cry3Bb), PowerCore<sup>TM</sup> (Cry1A105, Cry1F, Cry2Ab2) y un tratamiento con maíz no Bt BR106<sup>TM</sup>. El evento con la proteína VIP3A19 (MIR162<sup>TM</sup>) presentó una alta toxicidad en la expresión de los estigmas de la planta contra *S. frugiperda*. Los eventos VT3Pro<sup>TM</sup> (Cry1A105, Cry2Ab2, Cry3Bb) y PowerCore<sup>TM</sup> (Cry1A105, Cry1F, Cry2Ab2) presentaron baja toxicidad en la expresión de los estigmas de la planta. El evento VT3Pro<sup>TM</sup> (Cry1A105, Cry2Ab2, Cry3Bb) afectó la fecundidad de la población de insectos sobrevivientes.

**Palabras clave:** *Bacillus thuringiensis*, cultivos transgénicos, maíz Bt, manejo de resistencia, OGM, *Spodoptera frugiperda*.

**Abstract:** The “The fall armyworm” *Spodoptera frugiperda* (Smith) is considered a key pest in the maize crop. Genetically modified maize, event or Bt maize (*Bacillus thuringiensis*) contain genes that express toxic proteins for this pest, different for each event. The objective of this research was to evaluate the toxicity between Bt events, determining the mortality and the biological parameters of importance. The *S. frugiperda* population previously collected from the field was reared under laboratory conditions fed with stigmas of MIR162<sup>TM</sup> (Vip3A19), VT3Pro<sup>TM</sup> (Cry1A105, Cry2Ab2, Cry3Bb), PowerCore<sup>TM</sup> (Cry1A105, Cry1F, Cry2Ab2), and treatment with non-Bt BR106 maize. The event with the VIP3Aa19 protein (MIR162<sup>TM</sup>) had high toxicity in the expression of the plant stigmas against *S. frugiperda*. The VT3Pro<sup>TM</sup> (Cry1A105, Cry2Ab2, Cry3Bb) and PowerCore<sup>TM</sup> (Cry1A105, Cry1F, Cry2Ab2) events showed low toxicity in the expression of plant stigmas. The VT3Pro<sup>TM</sup> event (Cry1A105, Cry2Ab2, Cry3Bb) can affect the fecundity of the surviving insect population.

**Keywords:** Bt corn, *Bacillus thuringiensis*, GMOs, resistance management, *Spodoptera frugiperda*, transgenic crops.

## Introducción

A nivel mundial, el maíz junto con el trigo y el arroz constituyen los cereales más importantes para la alimentación. En el Paraguay el maíz en la campaña 2019/20 se encuentra en segundo lugar en cuanto a superficie cultivada (1.100.000 hectáreas) y volumen de producción (5.834.593 toneladas) (UNA 2020).

El cultivo de maíz es afectado por plagas y enfermedades que generan grandes pérdidas con una productividad baja en la cosecha. Entre las diferentes plagas que atacan al cultivo, se encuentran diversas larvas de insectos del orden Lepidoptera que pueden atacar en cualquier estado fenológico del maíz; la oruga cogollera *Spo-*

*doptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) es considerada plaga clave para este cultivo (Casmuz *et al.* 2010; Valdez *et al.* 2012; Gómez *et al.* 2017).

Es importante mencionar que *S. frugiperda* no solo puede dañar el cogollo y otras partes de las hojas del maíz. Adicionalmente, durante los primeros días de desarrollo de las plántulas, pueden ser dañadas a nivel del cuello; así como en los últimos estadios fenológicos la larva puede atacar la panoja dañando los estigmas o granos. Los daños causados en la panoja son de importancia relativa ya que no se pierde toda la panoja y el polen puede ser producido por plantas cercanas vecinas; no obstante, los daños en los estigmas y granos afectan directamente al rendimiento (Sosa 2003).

Dentro del manejo integrado de plagas por mucho tiempo se han utilizado insecticidas para el control de *S. frugiperda*. En la actualidad, con la incorporación de cultivos OGM (Organismos Genéticamente Modificados), material genético con inserciones de genes que producen proteínas insecticidas provenientes de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt) se ha contribuido significativamente en la disminución en el uso de insecticidas sintéticos (Bortolotto *et al.* 2016). Con los maíces transgénicos se logró el control de la *S. frugiperda* (Aragón 2004; Trumper 2014). En el Paraguay se han liberado maíces Bt transgénicos que expresan diferentes proteínas Cry1F (Herculex<sup>TM</sup>); Cry1A105, Cry1F, Cry2Ab2 (PowerCore<sup>TM</sup>); Cry1A105, Cry2Ab2, Cry3Bb (VT3Pro<sup>TM</sup>); Vip3A19 (MIR162<sup>TM</sup>) (Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas SENAVE 2020). Gómez *et al.* (2017) mencionaron que con el tiempo de utilización en las siembras se verifica pérdida de eficacia de los maíces Bt a nivel de campo, debido probablemente a una fuerte presión de selección de individuos resistentes por el uso continuo de la misma tecnología. La eficacia del maíz Bt para controlar a *S. frugiperda* se ha evaluado en diferentes países, y existen reportes de éxitos y fracasos (Williams *et al.* 1997; Waquil *et al.* 2002; Giaveno *et al.* 2010; Flores y Balbi 2014; Grandis de Lima y Assmann 2015; Monnerat *et al.* 2015). Por otro lado, en Puerto Rico, Brasil y el sur de Estados Unidos se detectó resistencia de *S. frugiperda* a maíces Bt que expresan las proteínas Cry1F o Cry1Ab (Storer *et al.* 2010; Farias *et al.* 2014; Huang *et al.* 2014; Omoto *et al.* 2016).

En Paraguay, los productores han detectado daños producidos por *S. frugiperda* en maíces Bt. Huang *et al.* (2011) mencionaron que puede existir variabilidad de expresión de la proteína entre variedades y en diferentes estructuras de las plantas. Además de la pérdida de eficacia; las proteínas se encuentran expresadas en diferentes concentraciones dependiendo de la estructura vegetal u órgano de la misma, o de la fase en la cual se encuentra la planta (Bernardi *et al.* 2016; Jiang *et al.* 2016); por lo tanto, la actividad biológica de las larvas que atacan un órgano específico (estigmas, granos, hojas, etc.) se ve afectada debido a estas variaciones, que genera una dosis sub-letal que disminuye el control de las larvas, y expone a las sobrevivientes a adquirir resistencia ante las proteínas (Onstad y Gould 1998). Esta expresión diferenciada de proteínas entre los eventos puede generar diferentes respuestas en la plaga, siendo algunas de las proteínas más tóxicas que otras (Adamczik y Mahaffey 2008; Sena *et al.* 2009; Figueiredo *et al.* 2013). La variación de la concentración de toxina ocurre naturalmente, pero también puede constituir un criterio de selección de eventos Bt en la etapa de desarrollo, debido a que la concentración de la toxina puede variar en los tejidos de la planta transgénica a través de su desarrollo fenológico,

o bajo diferentes condiciones ambientales, la dominancia y por lo tanto la intensidad de la selección en las plagas blanco como *S. frugiperda* son condiciones muy dinámicas (Onstad y Gassmann 2014).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la toxicidad de la proteína Bt expresada en los estigmas de diferentes eventos de maíces Bt liberados comercialmente en Paraguay. Para esto, se evaluaron los parámetros (i) porcentaje de mortalidad, (ii) determinación de la duración del periodo larval, (iii) peso y longitud de pupas, (iv) periodo de pre-oviposición, (v) longevidad de los adultos y (vi) el ciclo de vida.

## Material y métodos

**Recolección y cría de *Spodoptera frugiperda*.** Los primeros ejemplares de larvas de *S. frugiperda* se colectaron de cultivos de trigo *Triticum aestivum* en el Distrito de J. Eulogio Estigarribia, departamento de Caaguazú, Paraguay (latitud: 25°17'56"S, longitud: 57°31'47"O; altitud 272 m.s.n.m. Los ejemplares fueron llevados al laboratorio de cría de insectos en condiciones controladas de temperatura (27 ± 1 °C), humedad relativa (60 ± 10%) y fotoperiodo (14:10 horas L: O), colocados en frascos de plásticos desechables (100 ml) con dieta artificial hasta la fase de pupas (Parra 2001; Da Silva y Parra 2013).

Las pupas fueron agrupadas y colocadas en recipientes con una solución de hipoclorito de sodio al 1% para desinfectarlas, luego fueron colocadas dentro de una jaula para apareamiento hasta la emergencia de los adultos. Esta jaula de apareamiento consistió en un tubo blanco de PVC, de 21 cm de altura y 10 cm de diámetro, revestido internamente con papel blanco que permitió el reposo de los adultos y la oviposición de las hembras. La parte superior del tubo PVC se cerró con tela tipo tul, la cual era sujeta mediante una banda elástica. Dentro de la jaula los adultos fueron alimentados mediante una solución de agua y miel de abeja al 10%, agregada a trozos de algodón dispuesta en la parte superior de la jaula en contenedores de 1,5 cm de longitud y 2 cm de diámetro (Bernardi *et al.* 2016). La extracción de las posturas se realizó diariamente, cortando la porción de papel que contenía las posturas al momento de la revisión. Luego, se colocaron los trozos de papel con las posturas en el interior de frascos de plásticos con tapas para la emergencia de larvas, dentro del frasco fueron colocados papel de filtro humedecidos con agua destilada para mantener una humedad adecuada. Una vez eclosionadas las larvas neonatas se colocaron en frascos plásticos con dieta artificial. La separación de las larvas se realizaba al alcanzar el tercer instar, en frascos plásticos con 2 a 3 larvas en cada frasco con dieta artificial. Una parte de la primera generación de larvas eclosionadas fue usada para el trabajo experimental (larvas neonatas con máximo de 24 h de edad), y la otra parte se separó para el mantenimiento de la población en el laboratorio.

**Material vegetal.** Para obtener los estigmas de los diversos tratamientos considerados, se realizó una siembra para cada variedad de maíz. La primera siembra se realizó en el mes de julio el evento MIR162<sup>TM</sup> (Vip3A19), se sembraron 50 plantas bajo invernadero. La siguiente siembra se realizó con el evento VT3Pro<sup>TM</sup> (Cry1A105, Cry2Ab2, Cry3Bb), en una parcela de 5x5 metros, en el mes de agosto y por último la siembra del evento PowerCore<sup>TM</sup> (Cry1A105, Cry1F, Cry2Ab2) en el mes de septiembre junto con la variedad BR106<sup>TM</sup> no Bt (Tabla 1), en 2 parcelas de 15x10 metros. To-

das las variedades de maíz fueron sembradas en un campo experimental con el distanciamiento de 15 cm entre plantas y 80 cm entre hileras.

**Tabla 1.** Tratamiento con los eventos de maíz y la proteína expresada por cada evento

Tratamiento	Proteína	Evento
1	Vip3A19	MIR162 <sup>TM</sup>
2	Cry1A105, Cry2Ab2, Cry3Bb	VT3Pro <sup>TM</sup>
3	Cry1A105, Cry1F, Cry2Ab2	PowerCore <sup>TM</sup>
4	Testigo	Variedad BR106 <sup>TM</sup> (no Bt)

### Bioensayos

**Determinación de mortalidad.** Una vez obtenida la cantidad requerida de larvas del primer instar, las mismas fueron alimentadas con los estigmas de las mazorcas de cada evento correspondiente a los tratamientos. Se extrajeron los estigmas que sobresalían de la mazorca del maíz en estado fenológico R<sub>1</sub> (He *et al.* 2002; Bernardi *et al.* 2016), esto fue realizado cada 2 días en las parcelas establecidas y los estigmas eran colocados dentro de un recipiente de polietileno con cierre hermético, mantenidos frescos en la parte inferior de la heladera, para evitar que pierdan turgencia. Para el experimento; dentro de los recipientes plásticos (100 ml) se colocó ágar-agua 2% previamente autoclavado (2 ml por recipiente), por encima de este medio se colocó un disco de papel de filtro con 4,3 cm de diámetro y sobre este papel se colocaron los estigmas con una larva por recipiente, en cámara climatizada a 27 ± 1 °C, 60 ± 10% de HR y 14 horas de fotofase. Se establecieron 2 experimentos, uno con larvas neonatas L1 con 10 larvas por unidad experimental y 12 repeticiones; y el segundo experimento con larvas del tercer estado L3 con 10 larvas por unidad experimental y 5 repeticiones. De esta forma 120 larvas por tratamiento para el experimento con larvas L1 y 50 larvas por tratamiento para el experimento con larvas L3. Los estigmas fueron utilizados para la alimentación de las larvas y se reemplazaron cada 48 horas de acuerdo con el aumento del tamaño de la plaga y su consumo, todo el proceso según la metodología adaptada de Bernardi *et al.* (2016). Para el cálculo del porcentaje de mortalidad se tuvo en cuenta la diferencia con el total de individuos que no completaron su ciclo; corregida por la fórmula de Henderson y Tilton (1955), considerando al testigo el material no Bt BR106<sup>TM</sup>.

**Duración de los estadios larval y prepupal.** Mediante las observaciones diarias, se determinó la duración en días de los estadios de pre-pupa y luego al de pupa.

**Duración del estadio de pupa, peso y longitud por sexo.** Se tuvo en cuenta el primer día de formación de pupa hasta la emergencia del adulto para la determinación de la duración de la fase pupal, teniendo en cuenta a individuos que lograron sobrevivir y completar esta fase.

Luego de 24 horas de formarse la pupa, se pesó con una balanza de precisión (RADWAG WTB 200 Exactitud 0,001 g) y con regla milimetrada se determinó la longitud (mm). También se determinó el sexo de cada individuo basado en la diferencia morfológica presente en el último segmento abdominal (Santos-Amaya *et al.* 2015).

Posteriormente, las pupas fueron colocadas en una bandeja con papel de filtro humedecido en la parte inferior y tapadas con vasos de plásticos con una respectiva numeración para identificarlos. Permanecieron cubiertas hasta la emergencia del adulto.

**Relación de sexos y porcentaje de emergencia.** Para la evaluación de estas variables se utilizaron las fórmulas según García y Iannacone (2011).

$$\%H = N^{\circ}H \times 100 / N^{\circ}AE$$

$$\%M = N^{\circ}M \times 100 / N^{\circ}AE$$

Donde: %H = Porcentaje de hembras.; %M = Porcentaje de machos.; N<sup>°</sup>H = Número de hembras.; N<sup>°</sup>M = Número de machos.; N<sup>°</sup>AE = Número de adultos emergidos.

$$\%E = T - (PnE + AmE) / T$$

Donde: %E = Porcentaje de emergencia.; T = Número total de pupas.; PnE = Pupas no emergidas.; AmE = Adultos medio emergidos.

**Periodo de pre-oviposición, post-oviposición (días), fecundidad de hembras y viabilidad de huevos.** Las 10 parejas de insectos se colocaron en cantidad de 1 pareja por cada jaula. A partir de esto se han medido las siguientes variables: Fecundidad, utilizando la fórmula según García y Iannacone (2011).

$$N^{\circ}HV / N^{\circ}Hvs$$

Dónde: N<sup>°</sup>HV = Número de huevos puestos.; N<sup>°</sup>Hvs = Número de hembras.

Fertilidad o viabilidad, según la fórmula utilizada por Hernández *et al.* (2010).

$$N^{\circ}Hvs / N^{\circ}N$$

Donde: N<sup>°</sup>Hvs = Número de huevos puestos.; N<sup>°</sup>N = Número de Neonatas.

**Duración del ciclo de vida.** Se tuvo en cuenta a aquellos individuos que lograron completar todas las fases de larva hasta adulto.

**Análisis estadístico.** Los datos obtenidos en ambos experimentos fueron sometidos al análisis de varianza (ANAVA), también se realizó una comparación de medias por medio de la prueba de Tukey ( $\alpha = 5\%$ ), mediante el Software INFOS-TAT-2014 (Di Rienzo *et al.* 2014).

### Resultados

**Mortalidad en larvas L1 y larvas L3 de *Spodoptera frugiperda*.** Las larvas neonatas L1 y larvas del tercer instar L3 expuestas a los diferentes eventos muestran las medias de los porcentajes de mortalidad (Tabla 2)

A los 7 días del inicio de la alimentación de larvas L1 y L3 con los estigmas de los eventos considerados; se verificó una mortalidad total de insectos en el tratamiento MIR162<sup>TM</sup>, con diferencia estadística significativa con relación a los demás eventos; en larvas neonatas evaluadas a los 7 días. Las larvas del estado L3 de los eventos VT3Pro<sup>TM</sup> y PowerCore<sup>TM</sup> se

diferenciaron entre sí a los 7 días de evaluación, no así en el ciclo de larva a prepupa, considerándose bajo el porcentaje de mortalidad observado, atendiendo la corrección de la mortalidad realizada por la fórmula Henderson y Tilton. La variedad BR106™ (no Bt) presentó menor porcentaje de mortalidad debido a la falta de las proteínas insecticidas.

**Duración y porcentaje de los estadios larval y prepupal de los insectos sobrevivientes a los maíces Bt y convencio-**

**nal.** La mortalidad de larvas en el evento MIR162™ fue de 100%, no se tienen en cuenta la duración de su estadio larval, pre-pupal ni el porcentaje de sobrevivencia para los estadios; sí verificada en otros eventos, se obtuvo duraciones del estadio larval en media no diferenciadas entre los eventos Bt; mayor duración en la variedad BR106™ (no Bt) con diferencias estadísticas como se muestra en la Tabla 3. En prepupa se detectó menor duración en los insectos alimentados con VT3Pro™.

**Tabla 2.** Porcentajes de mortalidad obtenidos en larvas neonatas y larvas del tercer instar por efecto del consumo de estigmas de maíz Bt y no Bt, evaluados a los 7 días y durante el ciclo total.

Tratamiento	Porcentaje de mortalidad					
	Experimento larvas L1			Experimento larvas L3		
	7 días	Larva, pre-pupa y pupa	Porcentaje Corregido H&T	7 días	Larva, pre-pupa y pupa	Porcentaje Corregido H&T
MIR162™	100 a*	-	100	100 a	-	100
VT3Pro™	21 b	38 b	22,5	16 b	24 b	35,3
PowerCore™	8 c	30 b	20,4	2 c	22 b	5,9
BR106™ (no Bt)	3 c	28 b		2 c	2 c	
Gl	3	3		3	3	
F	266,1	46,5		332,7	132,5	
P-valor	0,0001	0,0001		0,0001	0,0001	
CV (%)	29,2	35,8		27,8	32,2	

ha\* Medias en las columnas con letras iguales son estadísticamente similares a un nivel de significancia del 5% ( $p \leq 0,05$ ). Prueba de Tukey. Porcentaje corregido por la fórmula de Henderson-Tilton.

**Tabla 3.** Duración media (días) de los estadios larval y pre-pupal obtenidas en larvas neonatas alimentadas con los estigmas de diferentes eventos de maíz Bt y una variedad de maíz no Bt.

Tratamiento	Estadio larval	Estadio pre-pupal
VT3Pro™	18,32 a*	1,73 a
PowerCore™	18,62 a	1,97 b
BR106™ (no Bt)	20,16 b	1,97 b
Gl	2	2
F	7,85	16,46
P-valor	0,0005	0,0001
CV (%)	17,97	17,06

\*Medias en las columnas con letras iguales son estadísticamente similares a un nivel de significancia del 5% ( $p \leq 0,05$ ). Test de Tukey.

Los porcentajes de sobrevivencia de los estadios larval, pre-pupal y pupal se presentan en la Tabla 4. En el estadio larval y pupal no se observaron diferencias significativas entre las medias de porcentajes de sobrevivientes. En cuanto al estadio pre-pupal se encontró una diferencia significativa entre PowerCore™ siendo en este menor porcentaje que en el evento VT3Pro™ y la variedad BR106™ (no Bt).

**Duración, peso y longitud de pupas por sexo.** Valores de las medias de las variables separadas por sexo se pueden observar en la Tabla 5. La longitud y el peso de las pupas de los machos fueron mayores estadísticamente en el evento VT3Pro.

Mayores valores de longitud, peso y duración en insectos

**Tabla 4.** Porcentajes de sobrevivencia en los estadios de larva, pre-pupa y pupa.

Tratamiento	Estadio larval	Estadio pre-pupal	Estadio pupal
VT3Pro™	70 a*	100 b	89 a
PowerCore™	86 a	92 b	88 a
BR106 (no Bt)	81 a	100 b	90 a
Gl	2	2	2
F	2,41	5,45	0,1
P-valor	0,1059	0,009	0,8759
CV (%)	22,91	7,04	14,3

\*Medias en las columnas con letras iguales son estadísticamente similares a un nivel de significancia del 5% ( $p \leq 0,05$ ). Test de Tukey.

hembras y machos se verificaron en el tratamiento VT3Pro™. El evento PowerCore™ presentó menores valores en la longitud y peso de pupa en hembras y machos con relación a la variedad BR106™ (no Bt). A pesar de verificarse mayor peso y longitud en las pupas provenientes de la alimentación con el material VT3Pro™. Las mismas presentaron mayor duración en 0,6 y 0,9 días comparativamente con el material no Bt, prolongando el ciclo del insecto.

**Relación de sexos y porcentaje de emergencia.** Entre las medias de los porcentajes de hembras y machos emergidos entre los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas; así como en las medias del porcentaje de emergencia de adultos y en la proporción hembra: macho (Tabla 6).

**Tabla 5.** Medias de la longitud, peso y duración de pupas por sexo de *Spodoptera frugiperda*.

Tratamiento	Macho			Hembra		
	Longitud (mm)	Peso (g)	Duración (días)	Longitud (mm)	Peso (g)	Duración (días)
VT3Pro™	16,2 a*	0,2 a	10,5 a	15,6 a	0,2 a	9,0 a
PowerCore™	15,3 b	0,1 b	9,6 b	14,7 b	0,17 b	8,1 b
BR106™ (no Bt)	15,7 ab	0,1 ab	9,6 b	15,2 ab	0,2 a	8,4 b
G1	2	2	2	2	2	2
F	8,5	10,6	29,1	4,5	13,81	25,5
P-valor	0,0003	0,0001	0,0001	0,0130	0,0001	0,0001
CV (%)	5,9	16,0	6,1	8,6	16,7	6,3

\*Medias en las columnas con letras iguales son estadísticamente similares a un nivel de significancia del 5% ( $p \leq 0,05$ ). Test de Tukey.

**Tabla 6.** Medias de los porcentajes de hembras, machos, emergencia de adultos y proporción hembras: machos de *Spodoptera frugiperda* en maíz Bt y no Bt en condiciones de laboratorio.

Tratamiento	Hembras (%)	Machos (%)	Emergencia (%)	Proporción sexual ♀:♂
VT3Pro™	43,6 a*	56,4 a	87,1 a	1: 2,06 (0,4) a
PowerCore™	49,5 a	50,4 a	88,4 a	1: 1,2 (0,5) a
BR106™ (no Bt)	40,5 a	59,4 a	90,6 a	1: 2,1 (0,4) a
G1	2	2	2	2
F	0,5	0,5	0,2	0,7
P-valor	0,5808	0,5808	0,8258	0,5180
CV (%)	45,7	36,8	14,9	46,1

\*Medias en las columnas con letras iguales son estadísticamente similares a un nivel de significancia del 5% ( $p \leq 0,05$ ). Test de Tukey.

**Adultos, periodo de pre-oviposición, oviposición, post-oviposición (días), fecundidad y fertilidad de huevos.** De los casales seleccionados (Tabla 7) el periodo de pre-oviposición de mayor duración entre los materiales estudiados se verificó en el tratamiento VT3Pro™ con diferencias significativas; la misma presentó 2,5 veces más duración que el material no Bt, y 1,7 veces más que el material

PowerCore™. En el periodo de oviposición el tratamiento BR106™ (no Bt) denotó el periodo más largo de postura de 8 días como media, seguido de PowerCore™; el material VT3Pro™ tuvo el menor periodo de oviposición. Para el periodo de post-oviposición no se observaron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos.

La mayor cantidad de huevos por cada hembra por casal

**Tabla 7.** Medias de los periodos del pre-oviposición, oviposición y post-oviposición en días de los casales de *S. frugiperda* alimentados durante la fase larval con estigmas de maíz Bt y no Bt.

Tratamiento	Pre-oviposición (Días)	Oviposición (Días)	Post-Oviposición (Días)
VT3Pro™	6,1 a*	5,0 a	0,5 a
PowerCore™	3,5 b	6,7 ab	1,4 a
BR106™ (no Bt)	2,4 b	8,0 b	0,8 a
g1	2	2	2
F	6,5	5,8	1,5
P-valor	0,0054	0,0084	0,2508
CV (%)	54,8	27,3	122,0

\*Medias en las columnas con letras iguales son estadísticamente similares a un nivel de significancia del 5% ( $p \leq 0,05$ ). Test de Tukey.

se observó en el tratamiento BR106™ (no Bt) con 1.472,30 huevos, 37% más que VT3Pro™ y 16% más que PowerCore™; seguidas por el tratamiento PowerCore™ (Tabla 8). Con relación a neonatas, el material BR106™ (no Bt) pre-

sentó 47 % más eclosiones que VT3Pro™. En la viabilidad, aunque no se detectaron diferencias estadísticas; los materiales BR106™ (no Bt) y PowerCore™ presentaron mejores porcentajes; 23 y 26% más que VT3Pro™, respectivamente.

**Tabla 8.** Medias del número de huevos (fecundidad), números de neonatas obtenidas y fertilidad o viabilidad de huevos en los casales alimentados durante la fase larval con estigmas de maíz Bt y no Bt en condiciones de laboratorio.

Tratamiento	Fecundidad <sup>1</sup>	Neonatas/casal	Viabilidad % <sup>2</sup>
VT3Pro <sup>TM</sup>	928,1 a*	513,3 a	42,4 a
PowerCore <sup>TM</sup>	1.244,6 ab	913,6 ab	68,5 a
BR106 <sup>TM</sup> (no Bt)	1.472,3 b	972,2 b	65,6 a
G1	2	2	2
F	3,2	4,2	3,0
P-valor	0,0562	0,0243	0,0640
CV (%)	41,2	50,1	46,0

<sup>1</sup> Fecundidad calculada según la fórmula de García y Iannacone (2011).

<sup>2</sup> Fertilidad o viabilidad de acuerdo con la fórmula de Hernández *et al.* (2010).

\*Medias en las columnas con letras iguales son estadísticamente similares a un nivel de significancia del 5% ( $p \leq 0,05$ ). Test de Tukey.

**Duración del ciclo total de *Spodoptera frugiperda*.** La longevidad de los adultos de insectos hembras se puede observar en la Tabla 9.

En el estadio de larva no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. En el estadio de pre-pupa tuvo un menor valor para el tratamiento VT3Pro<sup>TM</sup> con diferencias estadísticas; para el estadio de pupa se observó el mismo tratamiento con media más elevada de 9 días con diferencia significativa. En la fase de adulto las hembras no presentaron diferencias significativas. Para la longevidad, el tratamiento VT3Pro<sup>TM</sup> fue de 44 días con diferenciación estadística, seguido por BR106<sup>TM</sup> (no Bt).

En los estadios observados en los insectos machos (Tabla 10); se verificó una mayor duración en el tratamiento BR106<sup>TM</sup> (no Bt), que alcanzó 20,58 días. En el estadio de pre-pupa se tuvo al tratamiento VT3Pro<sup>TM</sup> como el menor, mientras para el estadio de pupa el mismo tratamiento presentó la mayor media significativa. En el estado adulto no se verificaron diferencias; sin embargo, en la longevidad del tratamiento VT3Pro<sup>TM</sup> fue de 44,27 días presentando la mayor duración del periodo.

**Tabla 9.** Medias de la duración en días de los estadios en hembras de *S. frugiperda* con maíces Bt y convencional bajo condiciones de laboratorio.

Tratamiento	Hembras				
	Larva	Pre-pupa	Pupa	Adulto	Total
VT3Pro <sup>TM</sup>	18,5 a*	1,6 a	9,0 a	13,3 a	44,0 a
PowerCore <sup>TM</sup>	17,6 a	1,9 b	8,1 b	11,6 a	39,4 b
BR106 <sup>TM</sup> (no Bt)	19,1 a	1,9 b	8,3 b	11,2 a	41,1 ab
G1	2	2	2	2	2
F	2,3	6,9	25,5	1,3	7,2
P-valor	0,1073	0,0015	0,0001	0,2880	0,0030
CV (%)	16,3	18,7	6,3	26,5	6,8

\*Medias en las columnas con letras iguales son estadísticamente similares a un nivel de significancia del 5% ( $p \leq 0,05$ ). Test de Tukey.

**Tabla 10.** Medias de la duración en días de los estadios de machos de *S. frugiperda* con maíces Bt y convencional bajo condiciones de laboratorio.

Tratamiento	Machos				
	Larva	Pre-pupa	Pupa	Adulto	Total
VT3Pro <sup>TM</sup>	18,1 a*	1,7 a	10,5 a	13,1 a	44,3 a
PowerCore <sup>TM</sup>	18,3 a	2,0 b	9,7 b	10,4 a	39,4 b
BR106 <sup>TM</sup> (no Bt)	20,6 b	1,9 b	9,6 b	11,2 a	41,1 b
g1	2	2	2	2	2
F	8,3	7,4	29,6	2,9	18,4
P-valor	0,0004	0,0009	0,0001	0,0697	0,0001
CV (%)	17,0	15,1	6,1	23,2	4,5

\*Medias en las columnas con letras iguales son estadísticamente similares a un nivel de significancia del 5% ( $p \leq 0,05$ ). Test de Tukey.

Los estadios de *S. frugiperda* sin discriminar el sexo presentaron los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 11. Para el estadio de larva, los eventos de maíces transgénicos presentaron menores medias significativamente comparado con el maíz no Bt; en el estadio pre-pupal, el evento VT3Pro<sup>TM</sup> presentó menor duración; en el estadio de

pupa el evento VT3Pro<sup>TM</sup> tuvo la mayor duración, así como en el estadio adulto y el total con diferencias estadísticas. El evento PowerCore<sup>TM</sup> tuvo un ciclo numéricamente menor con relación al maíz no Bt, sin embargo, esta diferencia no fue significativa.

**Tabla 11.** Medias de la duración en días de los estadios de *S. frugiperda* sin discriminación de sexos con maíces Bt y no Bt.

Tratamiento	Estadios de <i>S. frugiperda</i>				
	Larva	Pre-pupa	Pupa	Adulto	Total
VT3Pro™	18,3 a*	1,7 a	9,8 a	13,2 a	44,1 a
PowerCore™	17,9 a	1,9 b	8,9 b	11,0 b	39,4 b
BR106™ (no Bt)	19,9 b	1,9 b	9,1 b	11,2 ab	41,1 b
gl	2	2	2	2	2
F	9,8	14,2	20,5	3,8	22,4
P-valor	0,0001	0,0001	0,0001	0,0278	0,0001
CV (%)	16,8	16,7	9,8	24,5	5,6

\*Medias en las columnas con letras iguales son estadísticamente similares a un nivel de significancia del 5% ( $p \leq 0,05$ ). Test de Tukey.

### Discusión

Estudiar la toxicidad de los eventos liberados y sembrados en una región o país resulta en un apoyo importante en el manejo de la tecnología en un periodo de tiempo atendiendo las plagas albo que controla. Sin duda existen diferencias en relación con la eficacia en la supresión de poblaciones de plagas con diferentes mortalidades verificadas de acuerdo con las proteínas Bt; Mendes y Waquil (2009) mencionaron que se pueden tener respuestas diferentes en el control de la *S. frugiperda* dependiendo del evento utilizado; esto debido a que cada evento tiene una expresión diferenciada de las proteínas Bt incorporadas. Por lo tanto, el evento MIR162™ (VIP3A19) de esta investigación, de más reciente utilización en Paraguay; debe su alto porcentaje de mortalidad sobre *S. frugiperda* a la proteína Vip3A19 (MIR162™), resultados también obtenidos por Adamczik y Mahaffey (2008), Sena *et al.* (2009), Figueiredo *et al.* (2013), y Santos-Amaya *et al.* (2015) que observaron mayor sensibilidad por parte de *S. frugiperda* ante la proteína Vip3A19 (MIR162™) versus las proteínas Cry1A y Cry1F; otros estudios; Sivasupramaniam *et al.* (2008) mencionaron que la proteína Cry2Ab2 presenta una baja toxicidad para *S. frugiperda*.

Ya mencionado anteriormente, la proteína VIP3Aa20 (MIR162™) presenta una alta toxicidad y ha ocasionado la mortalidad de todas las larvas alimentadas con el estigma de la misma. Los porcentajes de mortalidad de los eventos evaluados con larvas L1 y L3; PowerCore™ (Cry1A.105, Cry1F, Cry2Ab2) y VT3Pro™ (Cry1A.105, Cry2Ab2, Cry3Bb) presentaron baja mortalidad contra *S. frugiperda*; con elevada supervivencia larval en estigmas; próximas a resultados de Jiang *et al.* (2016), quienes reportaron porcentajes de mortalidad de entre 27 y 47% para los tratamientos con maíz Bt. Otros trabajos, Williams *et al.* (1998), y Bernardi *et al.* (2016) informaron que las larvas alimentadas con maíz Bt llegan a sobrevivir a estadios mayores al tercer instar, como en este estudio, donde las larvas alimentadas a partir de L3 pudieron sobrevivir e incluso llegar al estado de pupa.

En el seguimiento del ciclo de las larvas sobrevivientes (L3); el evento VT3Pro™ con las proteínas Cry1A105, Cry2Ab2, Cry3Bb presentaron diferencias con relación al PowerCore™ (Cry1A105, Cry1F, Cry2Ab2); existe una similitud de datos estadísticos entre PowerCore™ y la variedad BR106™ (no Bt) considerándose la longitud de las pupas, peso, duración de machos, longitud y duración de hembras.

Santos-Amaya *et al.* (2015) obtuvieron pesos de pupas en maíz Bt similares estadísticamente a los obtenidos en el maíz convencional no Bt, estas larvas neonatas de *S. frugiperda* fueron alimentadas con maíz Bt que expresaban proteínas Cry1A105 y Cry2Ab2 las cuales pertenecen a las proteínas del maíz VT3Pro™ utilizado en este experimento, y en aquellas alimentadas con estigmas y granos de maíz Bt con proteínas Cry1F, Cry1A105 y Cry2Ab2 pertenecientes al evento PowerCore™, también se ha notado que no existen diferencias significativas comparando los eventos con la variedad convencional (Bernardi *et al.* 2016).

La diferencia que demuestra el evento VT3Pro™ en el periodo de duración de las pupas, tanto en machos y hembras con respecto al maíz no Bt, así como la diferencia en la postura verificada (Fecundidad) con menor postura y viabilidad con relación al PowerCore™ y la variedad BR106™ (no Bt); con reducción significativa en la fecundidad. Algunos investigadores han informado resultados de efectos de antibiosis similares (Cássio 2002; Bernardi *et al.* 2016). Un factor que afectará a la dinámica poblacional de *S. frugiperda* a nivel de campo.

Esta investigación muestra que todavía se hace necesario realizar varios estudios a nivel local para ir ajustando la tecnología de los cultivos genéticamente modificados (GM), así como el monitoreo constante de la expresión y toxicidad de las proteínas incorporadas. La presión de selección para la resistencia, el uso de refugios con cultivos susceptibles, la evolución de la resistencia está muy relacionada con la eficacia y el plazo de validez tecnológico en el control de plagas claves. De esta forma, esta línea de investigación y su continuidad en regiones con grandes superficies de cultivos GM sembradas, será de gran auxilio para el manejo de las plagas.

### Conclusiones

El evento con la proteína VIP3A19 (MIR162™) presenta alta expresión de los estigmas en función de la alta mortalidad observada sobre larvas de *S. frugiperda* alimentadas con estigmas procedentes de materiales de maíz que expresan esta proteína. Los eventos VT3Pro™ (Cry1A.105, Cry2Ab2, Cry3Bb) y PowerCore™ (Cry1A.105, Cry1F, Cry2Ab2) presentan baja toxicidad en la expresión de los estigmas de la planta. El evento VT3Pro™ (Cry1A.105, Cry2Ab2, Cry3Bb) puede afectar la fecundidad de la población de insectos sobrevivientes.

## Literatura citada

- ADAMCZYK, J. J. & MAHAFFEY, J. S. 2008. Efficacy of vip3A and transgenic traits in cotton against various lepidopteran pests. *Florida Entomologist* 91 (4): 570-575. <https://doi.org/10.1653/0015-4040-91.4.570>
- ARAGÓN, J. 2004. Maíz Bt resistente al barrenador del tallo: adopción de área de refugio. (en línea). Buenos Aires, AR. <https://agointroduccionalaquimica.files.wordpress.com/2016/12/maiz-bt-resistente.pdf>
- BERNARDI, D.; BERNARDI, O.; JUN, R.; SALMERON, E.; MIYUKI, D.; OMOTO, C. 2016. Biological activity of Bt proteins expressed in different structures of transgenic corn against *Spodoptera frugiperda*. *Ciencia Rural* 46 (6): 1019-1024. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20150047>
- BORTOLOTO O.; BUENO, A.; QUEIROZ, A.; SILVA, G. 2016. Larval development of *Spodoptera frugiperda* fed on fresh ear of field corn expressing the Bt proteins (Cry1F and Cry1F+Cry1A.105+Cry2Ab2). *Ciencia Rural* 46 (11): 1898-1901. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20151461>
- CÁSSIO, R. 2002. Danos e biología de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em genótipos de milho. Tesis de Maestría en Entomología. Universidad de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- DA SILVA, C. S. B.; PARRA, J. R. P. 2013. New method for rearing *Spodoptera frugiperda* in laboratory show that larval cannibalism is not obligatory. *Revista Brasileira de Entomologia* 57 (3): 347-349. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262013005000029>
- CASMUZ, A.; JUÁREZ, M. L.; SOCÍAS, M. G.; MURÚA, M. G.; PRIETO, S.; MEDINA, S.; WILLINK, E.; GASTAMINZA, G. 2010. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista de la Sociedad Entomológica de Argentina* 69 (3-4): 209-231. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=322028487010>
- DI RIENZO, J. A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M. G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C. W. 2014. InfoStat versión 2014. Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. AR. Disponible en: <http://www.infostat.com.ar> [Fecha de revisión: 17 abril 2015].
- FARIAS, J. R.; ANDOW D. A.; HORIKOSHI R. J.; SORGATTO, R.; FRESIA, P.; DOS SANTOS, A. C.; OMOTO, C. 2014. Field-evolved resistance to Cry1F maize by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazil. *Crop Protection* 64: 150-158. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.019>
- FIGUEIREDO, C. S.; MARUCCI, S. C.; DOZZI, R. I.; FRANCO, M. V.; DESIDÉRIO, J. A. 2013. Caracterização do gene vip3A e toxicidade da proteína Vip3Aa50 à lagarta-do-cartucho e à lagarta-da-soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 48 (9): 1220-1227. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000900005>
- FLORES, F. & BALBI, E. 2014. Evaluación del daño de oruga militar (*Spodoptera frugiperda*) en diferentes híbridos comerciales de maíz transgénicos. Disponible en: [http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_plagas\\_maiz\\_mj\\_14.pdf](http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_plagas_maiz_mj_14.pdf). [Fecha de revisión: 06 febrero 2016].
- GARCÍA, J.; IANACONE, J. 2011. Viabilidad de huevos y modelo de jaula para la cría artificial masiva de *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 70 (3-4): 267-276. <https://www.biotaxa.org/RSEA/article/view/24812>
- GIAVENO, C. D.; PARAVANO, A. S.; CELLA, M.; CURIS, M. C. 2010. Efecto de diferentes maíces Bt en la biología de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera, Noctuidae). *Revista FAVE, Ciencias Agrarias* 9 (1-2): 45-54. <https://doi.org/10.14409/fa.v9i1/2.1353>
- GÓMEZ, V. A.; VILLALBA, G. E.; ARIAS, O. R.; RAMÍREZ, M. B.; GAONA, E. F. 2017. Toxicidad sobre *Spodoptera frugiperda* de la proteína Bt expresada en hojas de diferentes eventos de maíz transgénico liberados en Paraguay. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 76 (1-2): 1-10. <https://doi.org/10.25085/rsea.761201>
- GRANDIS DE LIMA, L. & ASSMANN, A. S. 2015. Desfolha causada pela *Spodoptera frugiperda* em milho com diferentes biotecnologias. Brasil. *Cultivando O Saber*, Ed. especial. p. 56-66. Disponible en: [https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando\\_o\\_saber/566ec3e902fe8.pdf](https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/566ec3e902fe8.pdf) [Fecha de revisión: 15 marzo 2018].
- HE, K.; WANG, Z.; ZHOU, D.; WEN, L.; SONG, Y.; YAO, Z. 2002. Resistance of Bt maize to the Asian Corn Borer (Lepidoptera: Pyralidae) in China. *Proceedings of the 8th Asian Regional Maize Workshop* 96 (3): 19-26. <https://doi.org/10.1093/jee/96.3.935>
- HENDERSON, F.; TILTON, W. 1955. Test with acaricides against the Brown wheat mite. In: *Journal of Economic Entomology* 48 (2): 157-161. <https://doi.org/10.1093/jee/48.2.157>
- HERNÁNDEZ, E.; RIVERA, P.; OROZCO-DÁVILA, D.; SALVADOR, M.; TOLEDO, J. 2010. An artificial larval diet for rearing of *Anastrepha striata* (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomologist Society* 93 (2): 167-174. <https://doi.org/10.1653/024.093.0204>
- HUANG, F.; ANDOW, D. A.; BUSCHMAN, L. L. 2011. Success of the high dose/refuge resistance management strategy after 15 years of Bt crop use in North America. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 140 (1): 1-16. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2011.01138.x>
- HUANG, F.; QURESHI J. A.; MEAGHER, R. L. JR.; REISIG, D. D.; HEAD, G. P.; ANDOW D. A.; NI X.; KERNS, D.; BUNTIN, G. D.; NIU Y.; YANG, F.; DANGAL, V. 2014. Cry1F resistance in fall armyworm *Spodoptera frugiperda*: single gene versus pyramided Bt maize. *PLOS ONE* 9 (11): 1-10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112958>
- JIANG, F.; ZHANG, T.; BAI, S.; WANG, Z.; HE, K. 2016. Evaluation of Bt corn with pyramided genes on efficacy and insect resistance management for the Asian corn borer in China. *PLOS ONE* 11 (12): e0168442. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168442>
- MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M. 2009. Uso do milho Bt no manejo integrado de lepidópteros-praga: recomendações de uso (Comunicado técnico, 170). Sete Lagoas. Disponible en: <https://www.embrapa.br: Embrapa Milho e Sorgo>. [Fecha de revisión: 06 febrero 2018].
- MONNERAT, R.; MARTINS, E.; MACEDO, C.; QUEIROZ, P.; PRAÇA, L.; SOARES, M.; MOREIRA, H.; GRISI, I.; SILVA, J.; SOBERON, M.; BRAVO, A. 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 (4): 1-12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119544>
- OMOTO, C.; BERNARDI, O.; SALMERON, E.; SORGATTO, R.; DOURADO, P.; CRIVELLARI, A.; CARVALHO, R.; WILLSE, A.; MARTINELLI, S.; HEAD, G. 2016. Field-evolved resistance to Cry1Ab maize by *Spodoptera frugiperda* in Brazil. *Pest Management Science* 72 (9): 1727-1736. <https://doi.org/10.1002/ps.4201>
- ONSTAD, D. W.; GOULD, F. 1998. Do dynamics of crop maturation and herbivorous insect life cycle influence the risk of adaptation to toxins in transgenic host plants?. *Environmental Entomology* 27 (3): 517-522. <https://doi.org/10.1093/ee/27.3.517>
- ONSTAD, D. W.; GASSMANN, A. 2014. Concepts and complexities of population genetics. pp. 149-183. En: *Onstand, D. W. Insect Resistance Management. Second Edition. Academic Press, DE, USA. 538 p.* <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396955-2.00005-9>
- PARRA, J. R. P. 2001. Técnicas de criação de insetos para programas de control biológico. FEALQ, Piracicaba. Brasil, 134 p.
- SÁNCHEZ, I. 2014. Maíz I (*Zea mays*). *Revista Reduca* 7 (2): 151-171. Disponible en: <http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/1739> [Fecha de revisión: 06 febrero 2018].
- SANTOS-AMAYA, O. F.; RODRIGUES, V. C.; SOUZA, T. C.; TAVARES, C. S.; CAMPOS, S. O.; GUEDES, R. N. C.; PEREIRA, E. J. G. 2015. Resistance to dual-gene Bt maize in *Spodoptera frugiperda*: selection, inheritance, and cross-resistance to other transgenic events. (5): 18243. <https://doi.org/10.1038/srep18243>



- SENA, J. A. D.; HERNÁNDEZ-RODRIGUEZ, C. S.; FERRÉ, J. 2009. Interaction of *Bacillus thuringiensis* Cry1 and Vip3A proteins with *Spodoptera frugiperda* midgut binding sites. *Applied and Environmental Microbiology* 75 (7): 2236-2237. <https://doi.org/10.1128/AEM.02342-08>
- SERVICIO NACIONAL DE CALIDAD Y SANIDAD VEGETAL Y DE SEMILLAS (SENAVE). 2020. Maíz: listado de eventos con modificación genética liberados en el país. Asunción, PY. Disponible en: <http://web.senave.gov.py:8081/docs/Listado%20de%20eventos%20liberados%20comercialmente%20en%20el%20país-2019.pdf> [Fecha de revisión: 10 Agosto 2020].
- SIVASUPRAMANIAM, S.; MOAR, W. J.; RUSCHKE, L. G.; OSBORN, J. A.; JIANG, C.; SEBAUGH, J. L.; BROWN, G. R.; SHAPPLEY, Z. W.; OPPENHUIZEN, M. E.; MULLINS, J. W.; GREENPLATE, J. T. 2008. Toxicity and characterization of cotton expressing *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac and Cry2Ab2 proteins for control of lepidopteran pests. *Journal Economic Entomology* 101 (2): 546-554. <https://doi.org/10.1093/jee/101.2.546>
- SOSA, M. A. 2003. Daño por *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en maíz bajo siembra directa en diferentes épocas en el noreste santafesino. Santa Fe, AR, INTA. 4 p. Disponible en: <http://www.unne.edu.ar>. [Fecha de revisión: 21 mayo 2017].
- STORER, N. P.; BABCOCK, J. M.; SCHLENZ, M.; MEADE, T.; THOMPSON, G. D.; BING, J. W.; HUCKABA, R. M. 2010. Discovery and characterization of field resistance to Bt maize: *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Puerto Rico. *Journal of Economic Entomology* 103 (4): 1031-1038. <https://doi.org/10.1603/EC10040>
- TRUMPER, E. V. 2014. Resistencia de insectos a cultivos transgénicos con propiedades insecticidas: teoría, estado del arte y desafíos para la República Argentina. *AgriScientia* 31 (2): 109-126. <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v31.n2.16538>
- UNA (Universidad Nacional de Asunción). 2020. MAÍZ Datos, estadísticas y comentarios. [http://www.agr.una.py/ecorural/cultivo/maiz\\_mayo\\_2020.pdf](http://www.agr.una.py/ecorural/cultivo/maiz_mayo_2020.pdf) [Fecha de revisión: 19 noviembre 2021].
- VALDEZ-TORRES, J. B.; SOTO-LANDEROS, F.; OSUNA-ENCISO, T.; BÁEZ-SAÑUDO, M. A.;. 2012. Modelos de predicción fenológica para maíz blanco (*Zea mays* L.) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith). *Agrociencia* 46 (4): 399-410. <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/963>
- WAQUIL, J. M.; VILLELA, F. M.; FOSTER, J. E. 2002. Resistencia do milho (*Zea mays* L.) transgénico a lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Brasileira de Milho e Sorgo* 1 (3): 1-11. <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v1n03p%25p>
- WILLIAMS, W. P.; BUCKLEY, P. M.; SAGERS, J. B.; HANTEN, J. A. 1998. Evaluation of transgenic corn for resistance to corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae), fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae), and southwestern corn borer (Lepidoptera: Crambidae) in laboratory bioassay. *Journal of Agricultural Entomological* 15 (2): 105-112. <https://www.cabi.org/isc/abstract/19981108746>
- WILLIAMS, W. P.; SAGERS, J. B.; HANTEN, J. A.; DAVIS, F. M.; BUCKLEY, P. M. 1997. Transgenic corn evaluated for resistance to fall armyworm and southwestern corn borer. *Crop Science* 37 (3): 957-962. <https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X0037000300042x>

### Origen y financiación

*El origen de los datos del presente artículo corresponde a un proyecto de investigación propio e insertado en el Departamento de Protección Vegetal de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Asunción.*

### Contribución de los autores

*Todos los autores contribuyeron en mayor o menor medida en la elaboración del presente artículo y sus contribuciones puntuales son las siguientes:*

*Gamarra M. realizó los experimentos a nivel de laboratorio y campo con la supervisión de Arias O. y Gaona E.*

*Gómez V. elaboró el protocolo de la investigación con la colaboración de Arias O.; Gaona E. y Ramírez M.*

*Gómez V. coordinó el Proyecto y realizó el primer manuscrito del artículo conjuntamente con Gamarra M. y Ramírez M. Todos los autores discutieron los resultados y contribuyeron con el manuscrito final.*

### Conflictos de interés

*Los autores que participan en esta publicación han realizado importantes contribuciones al manuscrito; todos los autores están de acuerdo y expresan que no hay conflictos de intereses en este estudio.*