

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



RESISTENCIA DE MAÍZ GENÉTICAMENTE MODIFICADO A PLAGAS
Y SU EFECTO SOBRE ARTRÓPODOS NO BLANCO

Tesis

Que presenta AGUSTÍN HERNÁNDEZ JUÁREZ

como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS EN PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

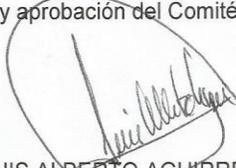
Saltillo, Coahuila

Diciembre 2015

RESISTENCIA DE MAÍZ GENÉTICAMENTE MODIFICADO A PLAGAS
Y SU EFECTO SOBRE ARTRÓPODOS NO BLANCO

Tesis

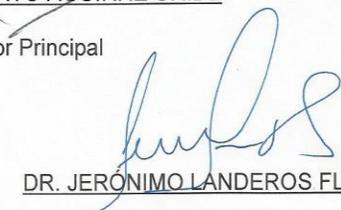
Elaborada por AGUSTÍN HERNÁNDEZ JUÁREZ como requisito parcial para
obtener el grado de Doctor en Ciencias en Parasitología Agrícola con la
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría


DR. LUIS ALBERTO AGUIRRE URIBE

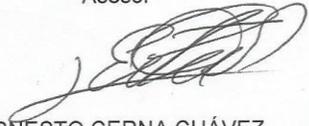
Asesor Principal


DR. MARIANO FLORES DÁVILA

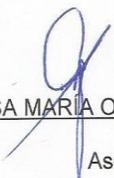
Asesor


DR. JERÓNIMO LANDEROS FLORES

Asesor


DR. ERNESTO CERNA CHÁVEZ

Asesor


DRA. YISA MARÍA OCHOA FUENTES

Asesor


DR. ALBERTO SANDOVAL RANGEL

Subdirector de Postgrado
UAAAN

Saltillo Coahuila

Diciembre 2015

Agradecimientos

Me gustaría expresar mi agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo brindado, parte fundamental para la obtención del grado de Doctor en Ciencias en Parasitología Agrícola.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, al Departamento de Parasitología Agrícola y Subdirección de Postgrado, por el apoyo, asistencia y orientación durante mis estudios de Posgrado.

También me gustaría agradecer a la compañía Syngenta Agro S.A de C.V., por el apoyo con los materiales genéticos para la realización de la presente investigación.

Mi mayor agradecimiento a todos los maestros del Departamento de Parasitología por los conocimientos y amistad brindada; particularmente a mi comité de tesis, por su asesoramiento y su profesionalismo, que han hecho que mis estudios sean gratificantes.

Agradezco sinceramente a mi mentor, **Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe**, por su amistad, estímulo y apoyo incondicional; cuya guía me ha beneficiado en gran medida en muchos aspectos de mi educación en posgrado y por darme la confianza para la impartición de cursos en licenciatura.

Mi especial agradecimiento al **Dr. Ernesto Cerna Chávez**, por su asesoramiento, apoyo en la presente investigación, amistad, por el apoyo en mi desarrollo en el área docente y por los comentarios hacia mi persona en lo personal y profesional.

También quiero agradecer al **Dr. Mariano Flores Dávila**, por su tiempo, sus conocimientos, por el apoyo en la presente investigación, la oportunidad y confianza de formar parte de sus cátedras de licenciatura y por el apoyo brindado durante estas.

Del mismo modo deseo expresar mi gratitud al **Dr. Jerónimo Landeros Flores**, por formar parte de la presente investigación, por el apoyo dentro del aula, por las palabras de aliento y superación hacia mi persona y principalmente por la amistad brindada.

Me gustaría agradecer a la **Dra. Yisa María Ochoa Fuentes**, por el apoyo brindado en la presente investigación, por el apoyo académico durante la estancia en el posgrado, la confianza y principalmente por esas palabras que recibí de su parte sobre mi desempeño académico,

Mi más profundo agradecimiento a mi mejor amiga y esposa **Aideé González Ruíz**, por el apoyo incondicional, por tu amistad, por tu comprensión, aliento y amor a través de todos mis esfuerzos. Te doy gracias por tus sacrificios y paciencia, que me han permitido lograr este objetivo

Agradezco a **Gustavo Frías “Ito”**, por tu amistad y por tu apoyo incondicional previo a la entrada al doctorado.

Eternamente agradecido con **Teresita, Lucy, Ceci, Juanita Almanza**, en el Departamento de Parasitología y en la subdirección de Posgrado a **Juanita Alvizo, Ericka, Zulema, Cony, Alicia y Lupita**; gracias muchachas, a todas ustedes por la atención, por su valioso apoyo y amistad durante mi estancia en el posgrado.

A todos mis compañeros y amigos del posgrado, por el apoyo en los cursos que llevamos juntos, durante los trabajos de investigación realizados, durante las jornadas de evaluación científica, en las bienvenidas de posgrado que compartimos, congresos, en la política universitaria y principalmente por la amistad brindada.

A todos y cada uno de ustedes muchas gracias



Dedicatoria

Dedico esta tesis a mi familia

A mi esposa, amiga y compañera de vida.

Quien ha estado a mi lado en todo momento, quien hizo que esta experiencia fuera emocionante y que valiera la pena.

Hoy que culmina este esfuerzo y esperando que comprendas que mis logros son también tuyos e inspirados en ti, hago de este un triunfo y quiero compartirlo por siempre contigo.

A mis hijos que son el motor que me obliga a funcionar y ser cada día mejor

Porque ustedes han tenido que soportar días sin la compañía de papa.

Por el tiempo que no dedique a ustedes, tiempo que invertí para cumplir con este objetivo.

Hijos míos

Austin Joseph Hernández González
Alessandra Elizabeth Hernández González

Ustedes son el amor de mi vida y todo lo hago por ustedes.

*"Por el bien de la humanidad,
más vale que esta tecnología funcione
y funcione bien"*

(Villalobos A. Víctor M. 2008)

Resumen

RESISTENCIA DE MAÍZ GENÉTICAMENTE MODIFICADO A PLAGAS
Y SU EFECTO SOBRE ARTRÓPODOS NO BLANCO

POR

AGUSTÍN HERNÁNDEZ JUÁREZ

DOCTOR EN CIENCIAS
EN PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. LUIS ALBERTO AGUIRRE URIBE - ASESOR –

Saltillo, Coahuila

Diciembre 2015

La aprobación por parte del gobierno federal de siembras controladas de maíz genéticamente modificado (GM), permitió evaluar los híbridos con los eventos Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3110 y Agrisure® Viptera™ 3111, con genes de *Bacillus thuringiensis* (Bt), que codifican para las proteínas Cry1Ab, Vip3Aa20 y mCry3A, en cuatro localidades del estado de Sinaloa, durante el 2011-2013. Se evaluó la resistencia de estos híbridos al daño foliar por gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*; al daño en mazorca por gusano elotero *Helicoverpa zea*; al daño en tallo por gusano barrenador *Diatraea saccharalis*; la incidencia y severidad de pudrición de mazorca provocada por *Fusarium* sp., y el efecto sobre la abundancia de artrópodos no blanco. Estos parámetros se compararon con su híbrido convencional y un tratamiento insecticida químico según correspondió en cada caso. Todos los tratamientos fueron analizados mediante un ANVA y comparación de medias, mientras que el efecto sobre artrópodos se determinó con los atributos de la comunidad; con el número de familias y abundancia de artrópodos se estimó la diversidad, riqueza y uniformidad. La abundancia se analizó con la prueba de Kruskal-Wallis y U Mann Whitney con el objetivo de detectar diferencias entre las poblaciones de maíz GM y convencional. La evaluación del daño foliar y daño en mazorca, demostró que la tecnología con la inserción de genes de Bt es resistente al daño provocado por gusano cogollero y elotero. En el caso del barrenador del tallo se presentó una baja incidencia de daño, observándose solamente en 2012 y 2013; sin embargo, en todos los casos, el daño fue menor en los híbridos GM con respecto a sus convencionales. La pudrición de mazorca durante los años 2011 y 2013 se presentó en mayor incidencia y severidad en los híbridos convencionales en comparación con los híbridos GM; sin embargo, en El Camalote en 2013, estas diferencias numéricas, no fueron estadísticamente significativas. Se encontró un gran número de artrópodos asociados al maíz, con mayor abundancia en el GM, principalmente fitófagos y depredadores, mientras que los parasitoides y saprófagos, se distribuyeron entre los híbridos evaluados; cuyo análisis no reveló diferencias significativas entre las parcelas de maíz GM y convencional en los tres años de evaluación. El manejo de las plagas del maíz evaluadas mediante

hibridos GM, es una estrategia para ser incorporada en un manejo integrado de plagas; incrementando las posibilidades de obtener una mejor calidad y rendimiento de grano. Adicionalmente, aunque el maíz GM no fue desarrollado para el manejo de enfermedades, le confiere un beneficio adicional indirecto al de resistencia a insectos plaga, reduciendo la formación de puntos de entrada para fitopatógenos como *Fusarium* sp; que se desarrollan en el tejido susceptible, provocando pudrición de mazorca. No se encontraron efectos negativos sobre la abundancia de artrópodos no blanco, brindando una mejor oportunidad de uso a esta tecnología, al reducir los insumos de productos químicos. Por lo tanto esta tecnología puede contribuir a preservar la biodiversidad del agroecosistema en relación a otras opciones de manejo de plagas.

Palabras clave: Artrópodos no blanco, *Bacillus thuringiensis*, *Fusarium*, Lepidoptera, maíz transgénico.

Abstract

RESISTANCE OF GENETICALLY MODIFIED CORN TO PEST
AND EFFECT OVER NON-TARGET ARTHROPODS

BY

AGUSTÍN HERNÁNDEZ JUÁREZ

DOCTOR IN SCIENCES
AGRICULTURAL PARASITOLOGY

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DR. LUIS ALBERTO AGUIRRE URIBE - ADVISER –

Saltillo, Coahuila

December 2015

The approval of genetically modified corn (GM) by Mexican government under controlled conditions, allowed to evaluate corn hybrids with the Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3110 and Agrisure® Viptera™ 3111 events, with the inclusion of several genes coding for proteins Cry1Ab, Vip3Aa20 and mCry3A of *Bacillus thuringiensis* (Bt), in four localities at Sinaloa, during years 2011-2013. Resistance to foliar damage to fall armyworm *Spodoptera frugiperda*; ear damage to corn earworm *Helicoverpa zea*; stalk damage to sugarcane borer *Diatraea saccharalis*; incidence and severity of *Fusarium* sp. ear rot and the effect over non-target arthropods abundance was evaluated. These parameters are compared with their conventional hybrid, and an insecticide treatment as corresponded in each case. An ANOVA test and a mean comparison were conducted to evaluate all treatments, whereas the effect over arthropods was determined by the community attributes; with the number of families and arthropods abundance, diversity, richness and population uniformity were estimated. A Kruskal-Wallis and U Mann Whitney test was used to estimate abundance in order to detect differences between populations of GM and conventional corn. Foliar damage and ear damage evaluations, showed that corn with the Bt gene insertion was resistant to fall armyworm and corn earworm damage. In case of stalk borer, a low incidence of the pest was found, only in 2012 and 2013; however, in all cases, damage was lower in the GM hybrids tested as compared to their conventional hybrids. Cob rot during 2011 and 2013, showed higher incidence and severity in conventional hybrids than the GM hybrids; however, at El Camalote in 2013, these numerical differences, were not statistically significant. A large number of arthropods associated with maize were found, more abundant in the GM events, mainly phytophagous and predators, while parasitoids and saprophagous were evenly distributed among evaluated hybrids; where the statistical analysis showed no significant differences between the GM events and their respective conventional hybrids during the three year evaluation. Management of evaluated corn pests with GM hybrids is a control strategy to be incorporated into an integrated pest management program; increasing the possibility of obtaining better grain quality and yield. Although GM

corn was not developed for disease control, they give an indirect additional benefit to insect pests resistance, by reducing points of entry for pathogens such as *Fusarium* sp, causing ear rot. No adverse effects on the abundance of non-target arthropods associated with corn was found; providing better opportunity to use this technology, as they have a considerable potential to reduce the use of chemical insecticides. Therefore this technology can help preserve agroecosystem biodiversity in relation to other pest management options.

Key words: Non-target arthropods, *Bacillus thuringiensis*, *Fusarium*, Lepidoptera, transgenic corn.

Índice de contenido

Índice de cuadros.....	xvi
Índice de figuras.....	xvii
Introducción.....	1
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
Hipótesis.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
1. El cultivo de maíz.....	5
1.1. Descripción botánica.....	6
1.2. Importancia del maíz.....	8
1.3. Plagas del maíz.....	9
1.3.1. Plagas del suelo.....	9
1.3.2. Vectores de enfermedades.....	10
1.3.3. Barrenadores de tallo.....	11
1.3.4. Plagas de granos almacenados.....	13
1.3.5. Plagas del tallo y follaje.....	13
1.3.6. Plagas de la mazorca.....	16
1.3.7. Enfermedades.....	17
2. Organismos genéticamente modificados.....	19
2.1. Adopción y situación de los cultivos genéticamente modificados.....	24
3. Cultivos genéticamente modificados para resistencia a insectos... ..	28
3.1. <i>Bacillus thuringiensis</i>	29
3.1.1. Modo de acción de <i>Bacillus thuringiensis</i>	31
3.1.2. Importancia de <i>Bacillus thuringiensis</i>	33
4. Artrópodos no blanco del maíz genéticamente modificado.....	34
EVALUATION OF FOLIAR DAMAGE BY <i>Spodoptera frugiperda</i> (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) IN GENETICALLY MODIFIED CORN IN MEXICO.....	40
Abstract.....	40
Key words.....	40
Introduction.....	41
Materials and Methods.....	42
Results.....	45
Discussion.....	48
Acknowledgments.....	50
References.....	50

GENETICALLY MODIFIED MAIZE RESISTANT TO CORN EARWORM (LEPIDOPTERA: NOCTUIDAE) IN SINALOA, MEXICO.....	55
Abstract.....	55
Key Words.....	56
Resumen.....	56
Palabras Clave.....	56
Introduction.....	57
Materials and Methods.....	58
Results.....	59
Discussion.....	61
Acknowledgments.....	62
References Cited.....	62
RESISTENCIA DE HIBRIDOS DE MAÍZ GENÉTICAMENTE MODIFICADO AL BARRENADOR DEL TALLO.....	70
Resumen y palabras clave.....	70
Summary e index words.....	71
Introducción.....	71
Materiales y Métodos.....	73
Resultados y Discusión.....	76
Agradecimiento.....	80
Bibliografía.....	80
INTERACTION BETWEEN <i>Helicoverpa zea</i> DAMAGE WITH CORNCOB DISEASES ON GENETICALLY MODIFIED CORN IN SINALOA, MÉXICO.....	83
Abstract.....	83
Key words.....	84
Introduction.....	84
Materials and Methods.....	85
Results and Discussion.....	86
Conclusions.....	88
References.....	89
INCIDENCIA Y SEVERIDAD DE PUDRICIÓN DE MAZORCAS DE MAÍZ GENÉTICAMENTE MODIFICADO Y CONVENCIONAL EN SINALOA, MÉXICO.....	93
Resumen.....	93
Palabras clave adicionales.....	94
Abstract.....	94
Additional key words.....	94
Introducción.....	95
Materiales y Métodos.....	96
Resultados y Discusión.....	98
Agradecimientos.....	100
Literatura Citada.....	101

EFFECTO DEL MAÍZ GENÉTICAMENTE MODIFICADO SOBRE LA ABUNDANCIA DE ARTRÓPODOS NO BLANCO EN SINALOA, MÉXICO.....	104
Resumen.....	104
Palabras clave.....	105
Introducción.....	106
Materiales y métodos.....	107
Resultados.....	112
Discusión.....	151
Conclusión.....	167
Agradecimientos.....	167
Literatura Citada.....	167
LITERATURA CITADA.....	172

Índice de cuadros

Cuadro 1.	Clasificación taxonómica del Maíz (USDA, 2015).....	6
Cuadro 2.	Área (millones de hectáreas) global de cultivos biotecnológicos por país en el año 2014.....	26

Índice de figuras

Figura 1.	Adulto con alas extendidas (arriba, izquierda) y en reposo (arriba, derecha), larva (abajo, izquierda) y pupa (abajo, derecha) de <i>Diatraea saccharalis</i> . Imágenes: SIPOVE, 2015.....	12
Figura 2.	Adulto, pupa y larva de gusano cogollero <i>Spodoptera frugiperda</i> (señalando características distintivas de la larva. Imágenes: Matt Bertone, 2014.....	15
Figura 3.	Adulto (Troubridge J. T. y J. D. Lafontaine, 2015), pupa (Matz, K. S., 2005) y larva (Gilligan T. M. y S. C. Passoad, 2014) de gusano elotero <i>Helicoverpa zea</i> (señalando características distintivas de la larva.....	17
Figura 4.	Pudrición de mazorca por <i>Fusarium</i> sp., en maíz. Imágenes: INTA, 2015.....	18
Figura 5.	Representación simplificada de un transgén construido, que contiene los componentes necesarios para la integración y expresión con éxito (DSCS, 2015).....	22
Figura 6.	a. Agalla por <i>Agrobacterium tumefaciens</i> (Forster R. L. 2015) y b. Plásmido Ti.....	22
Figura 7.	Proceso de transformación de una planta a transgén mediante <i>Agrobacterium tumefaciens</i> y recuperación de plantas completas por cultivo de tejidos in vitro (Waldorph, P., 2015).....	24
Figura 8.	Mapa mundial de países productores de cultivos genéticamente modificados en 2014.....	25
Figura 9.	Microfotografía de <i>Bacillus thuringiensis</i> en microscopio electrónico de transmisión, cristal proteínico romboide compuesto de toxinas Cry y una espora en proceso (Soberón y Bravo, 2008).....	30
Figura 10.	Esquema de los diferentes eventos en el modo de acción de las proteína Cry de <i>Bacillus thuringiensis</i> . 1. Solubilización, 2. Rompimiento de la protoxina, 3. Unión al receptor cadherina, 4. Formación de Pre-poro, 5. Unión receptor aminopeptidasa, 6. Inserción toxina (Soberón y Bravo 2008).....	32
Figura 11.	Modo de acción de la δ -endotoxina de <i>Bacillus thuringiensis</i> (Jurat-Fuentes, 2015).....	33

INTRODUCCIÓN

El maíz *Zea mays* L. (Poales: Poaceae) es uno de los cultivos más importantes en el mundo. En México, es la especie agrícola más diversa y una gran porción de su territorio forma parte de su centro de origen, domesticación y es uno de sus centros actuales de diversidad, con importancia desde el punto de vista alimenticio, industrial, cultural y social (CONABIO, 2006). Nuestro país es uno de los principales productores de maíz en el mundo, cuya producción de 2014 fue de 23, 273, 256.54 t, por encima de otros cereales como el trigo, sorgo, cebada y avena, destacando los estados de Sinaloa y Jalisco con la mayor producción con 3,686,274.43 y 3,472,284.51 t, respectivamente (SAGARPA/SIAP, 2015). Este cultivo, frecuentemente es afectado por numerosas plagas de interés económico, capaces de infestar el maíz en cualquier etapa de su desarrollo y cualquier parte de la planta (Ortega, 1987; Rodríguez *et al.*, 2003), con pérdidas que pueden variar desde el 30%, hasta la pérdida total por infestaciones severas (Rodríguez y Marín, 2008). De las principales plagas, se encuentra el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), que ocasiona pérdidas desde la etapa de plántula temprana hasta la pre-madurez (Ortega, 1987), cuyas infestaciones y daño severo pueden reducir el rendimiento en porcentajes superiores al 30% (Herrera, 1979; García-Gutiérrez *et al.*, 2012) y en casos extremos pérdida total del cultivo (Silva-Aguayo *et al.*, 2010). El gusano elotero *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae), causa daño principalmente en la mazorca directo a los granos, reduciendo el rendimiento, la calidad de la mazorca y aumenta la vulnerabilidad a la pudrición de mazorca (Ortega, 1987), que a menudo es producida por hongos fitopatógenos como *Fusarium* (Hypocreales: Nectriaceae), que penetra a través de lesiones en el grano (Wu, 2006) y que son muy importantes en zonas con alta humedad relativa, donde la pudrición de la mazorca tienen un efecto directo sobre el rendimiento, causando pérdidas que oscilan entre 6-55% en el centro de México (González *et al.*, 2007; Briones *et al.*, 2015) y pérdidas mayores al 30% en Sinaloa (García *et*

al., 2012), además de la contaminación por micotoxinas, peligrosas para la salud humana y animal (Bakan *et al.*, 2002). El barrenador del tallo *Diatraea saccharalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae), se distribuye principalmente en las regiones semitropicales y tropicales de México. Esta plaga en su fase larval daña diferentes partes de la planta, principalmente el cogollo, realizando galerías o túneles, mata el punto de crecimiento e indirectamente da paso a la invasión de hongos que pudren el tallo y su segunda generación puede coincidir con las etapas reproductivas del cultivo, dañando la mazorca, permitiendo la entrada de fitopatógenos causantes de pudrición (Ortega, 1987; CIMMYT, 2015).

La estrategia de manejo para estas plagas, a menudo es el control químico, dirigido principalmente al control de *S. frugiperda*; por ser esta la plaga primaria, sin embargo; las múltiples aplicaciones de estos insecticidas han generado en la plaga tolerancia y resistencia a una gama de ingredientes activos de diferente grupo toxicológico (Georghiou y Mellon, 1983; Yu, 1991; Pacheco-Covarrubias, 1993; Morillo y Notz, 2001; Yu *et al.*, 2003;). Por otro lado, el control del gusano elotero y el barrenador del tallo, es difícil, poco práctico y económicamente no es rentable, dado el nicho que ocupan en la planta, no obstante; para el gusano barrenador, en algunas regiones de México, debido al incremento de su población, se realizan aplicaciones convencionales cuando se encuentra el 10% de daño o presencia del barrenador (CESAVEG, 2015).

El desarrollo de híbridos genéticamente modificados con genes que codifican para proteínas de *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt) (Bacillales: Bacillaceae) para expresar la δ -endotoxina, que le confiere al maíz resistencia permanente a un amplio espectro de control de plagas, ha revolucionado la producción agrícola (Bruck *et al.*, 2006). Inicialmente estos híbridos se desarrollaron con una proteína cristal de Bt para reducir el daño de barrenadores del tallo, *Ostrinia nubilalis* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae), *Diatraea grandiosella* Dyar (Lepidoptera: Crambidae), *D. saccharalis*, gusano elotero *H. zea* y gusano cogollero *S. frugiperda* (Abel *et al.*, 2000; Castro *et al.*, 2004; Buntin, 2008; Duan *et al.*, 2008; Hardke *et al.*, 2011; Hussein *et al.*, 2012); sin embargo, para mejorar esta estrategia de manejo, se realizó la inserción de más de un gen (evento piramidal)

para expresar más variantes de la toxina Bt, intensificando su efectividad (Burkness *et al.*, 2001; Niu *et al.*, 2013; Yang *et al.*, 2013). Estos híbridos han sido adoptados en muchas regiones del mundo, confirmado su capacidad de reducir el daño a los cultivos y permitiendo disminuir el uso de insecticidas químicos (Burkness *et al.*, 2001; Duan *et al.*, 2008; Ghimire *et al.*, 2011; Hardke *et al.*, 2011; Shelton, 2012; Farias *et al.*, 2013). Además han demostrado que el maíz Bt posee menor pudrición de mazorca, comparado con el maíz convencional (Munkvold *et al.*, 1999; Clements *et al.*, 2003), convirtiéndose en la tecnología con más rápida aceptación en la historia de la agricultura moderna, a pesar de las controversias sobre los posibles riesgos de estos cultivos para la salud humana y el medio ambiente (Kotchoni *et al.*, 2005).

En un agro-ecosistema además de los insectos blanco de la toxina Cry, se presenta toda una red trófica que incluye a artrópodos pertenecientes o no a los órdenes bajo control y que están en contacto con los cultivos. La mayoría de ellos entrarían en contacto con la proteína Cry al consumir partes de la planta directa o indirectamente en las cadenas tróficas pudiendo quedar expuestos a la acción tóxica (Groot y Dicke, 2002). En distintas regiones del mundo se ha discutido si las toxinas de los cultivos Bt en el medio ambiente puede dañar a insectos que no son el objetivo de Bt (Dively y Rose, 2002; Candolfi *et al.*, 2004; Daly y Buntin, 2005; Harwood *et al.*, 2005) y aun cuando los efectos documentados en el caso del maíz Bt en campo parecen prácticamente inexistentes (Dively y Rose, 2002; Dutton *et al.*, 2003; Obrist *et al.*, 2006), en México existe preocupación con respecto a los efectos negativos sobre los componentes de la cadena trófica que no son blanco de la tecnología Bt.

Mexico ante nuevas alternativas de control de plagas y el desconocimiento de los efectos del maíz genéticamente modificado sobre insectos objetivo y artrópodos no blanco, requiere de la mayor información sobre el tema de organismos genéticamente modificados y bajo condiciones de bioseguridad resolver las especulaciones que se han suscitado.

Objetivo general

Evaluar la resistencia de maíz genéticamente modificado a plagas del cultivo

Evaluar el efecto de maíz genéticamente modificado sobre artrópodos no blanco.

Objetivos específicos

Evaluar la resistencia de maíz genéticamente modificado al gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*.

Evaluar la resistencia de maíz genéticamente modificado al gusano elotero *Helicoverpa zea*.

Evaluar la resistencia de maíz genéticamente modificado al gusano barrenador del tallo *Diatraea saccharalis*.

Evaluar la incidencia y severidad de pudrición de mazorcas por *Fusarium* sp., en maíz genéticamente modificado.

Evaluar el efecto del maíz genéticamente modificado en fitófagos no blanco.

Evaluar el efecto del maíz genéticamente modificado en depredadores no blanco.

Evaluar el efecto del maíz genéticamente modificado en parasitoides no blanco.

Evaluar el efecto del maíz genéticamente modificado en saprófagos no blanco.

Hipótesis

El maíz genéticamente modificado controlará las poblaciones plaga blanco y no presentara un efecto negativo sobre artrópodos no blanco por la exposición a la toxina de *Bacillus thuringiensis*.

REVISIÓN DE LITERATURA

1. El cultivo de maíz

El maíz fue descrito por Carlos Linneo quien lo clasificó dentro del género *Zea* y la especie *mays*. Hasta el momento no se sabe con precisión la época y el lugar exacto de la aparición del maíz, por lo que históricamente se consideró que el maíz era nativo de Asia y/o de América, este el último el más aceptado, ya que existen suficientes testimonios que lo avalan (Reyes, 1990). Con la suficiente evidencia ha quedado establecido que México (Mesoamérica) es el centro de origen primario, domesticación y es uno de sus centros actuales de diversidad en las más de 60 razas nativas reconocidas en nuestro territorio; principalmente los estados de Oaxaca y Puebla; estados donde se han encontrado los restos más antiguos de este cultivo y las migraciones humanas lo llevaron a Sudamérica (Reyes, 1990; Benz, 2001; Piperno y Flannery, 2001; CONABIO, 2006; Kato *et al.*, 2009; Benavidez *et al.*, 2010).

Después de 100 años de investigación, sobre el origen y domesticación del maíz, hay un consenso generalizado con la aceptación de que el teocintle es el ancestro del maíz, con suficiente validez científica, después de desechada en los años 70's la hipótesis tripartita que establecía que el teocintle es el producto de la hibridación del maíz con *Tripsacum*, eliminándose la idea del maíz silvestre extinto (Kato, 2009).

El maíz *Zea mays* L. ssp *mays*, el maíz cultivado propiamente, se distribuye en casi todo el territorio nacional (Mera y Mapes, 2009), catalogada como una especie central en la alimentación, sociedad, cultura y economía de México (Kato *et al.*, 2009).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del Maíz (USDA, 2015)

Maíz	
Reino:	Plantae
Subreino:	Tracheobiota
Superdivisión:	Spermatophyta
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Sub-clase:	Commelinidae
Orden:	Cyperales
Familia:	Poaceae/Gramineae
Tribu:	Maydeae
Género:	<i>Zea</i>
Especie:	<i>mays</i> L.

1.1. Descripción botánica

El maíz es una planta de porte robusto y de hábito anual; de tallo simple, erecto, de elevada longitud alcanzando alturas de uno a cinco m, con pocos macollos o ramificaciones, presenta nudos y entrenudos y una médula esponjosa. Las hojas nacen en los nudos de manera alterna a lo largo del tallo; se encuentran abrazadas al tallo mediante la vaina que envuelve el entrenudo y cubre la yema floral, de tamaño y ancho variable. Las raíces primarias son fibrosas presentando además raíces adventicias, que nacen en los primeros nudos por encima de la superficie del suelo, ambas tienen la misión de mantener a la planta erecta (Jugenheimer, 1988).

Es una planta monoica de flores unisexuales, que presenta flores masculinas y femeninas bien diferenciadas en la misma planta: la inflorescencia masculina es terminal, largamente pedunculada, conocida como panícula (o espiga) que consta de un eje central o raquis y ramas laterales; a lo largo del eje central se distribuyen los pares de espiguillas de forma polística y en las ramas con arreglo

dístico y cada espiguilla está protegida por dos brácteas o glumas, que a su vez contienen en forma apareada las flores estaminadas; en cada florecilla componente de la panícula hay tres estambres donde se desarrolla el polen. La coloración de la panícula está en función de la tonalidad de las glumas y anteras, que pueden ser de coloración verde, amarilla, rojiza o morada (Jugenheimer, 1988; Reyes, 1990; Benavidez *et al.*, 2010).

Las inflorescencias femeninas (mazorcas) se localizan en las una o más espigas solitarias y axilares de las hojas, son espigas de forma cilíndrica que consisten de un raquis central u olote donde se insertan las espiguillas por pares, cada espiguilla con dos flores pistiladas una fértil y otra abortiva, estas flores se arreglan en hileras paralelas, las flores pistiladas tienen un ovario único con un pedicelo unido al raquis, un estilo muy largo, con propiedades estigmáticas donde germina el polen. La inflorescencia femenina puede formar alrededor de 400 a 1000 granos, arreglados en promedio de ocho a 24 hileras por mazorca; todo esto encerrado en numerosas brácteas o vainas de las hojas, los estilos largos saliendo de la punta del raquis como una masa de hilo sedoso, saliente, filiforme y colgantes después de la floración, gruesos y enteramente cubiertas de vainas coriáceas, imbricadas en la madurez y se conocen como pelo de elote; el jilote es el elote tierno. Por las características mencionadas, el maíz es una planta de polinización abierta (anemófila) propensa al cruzamiento, la gran mayoría de los granos de polen viajan de 100 a 1000 m (Jugenheimer, 1988; Reyes, 1990; Benavidez *et al.*, 2010).

En la mazorca cada grano o semilla es un fruto independiente llamado cariósipide, sub-globoso y duro que está insertado en el olote; la cantidad de grano producido por mazorca está limitado por el número de granos por hilera y de hileras por mazorca. Como cualquier otro cereal, las estructuras que constituyen el grano del maíz (pericarpio, endospermo y embrión) le confieren propiedades físicas y químicas (color, textura, tamaño, etc.) que han sido importantes en la selección del grano como alimento (Mera y Mapes, 2009).

1.2. Importancia del maíz

El maíz es uno de los cultivos más importantes del mundo y es la especie agrícola más diversa en México. El agroecosistema mexicano actual, incluye aquel en el que el poblador de Mesoamérica domesticó al maíz hace más de 6500 años, habiéndolo adaptado como alimento básico mediante el mejoramiento genético autóctono de maíz (Turrent-Fernandez *et al.*, 2009).

Las más de 60 razas nativas de maíz y su vasta variación intrarracial desarrolladas por el productor mexicano para ser cultivadas desde cero hasta 3 000 m de altitud, desde condiciones lacustres y drenaje pobre hasta tierras bien drenadas, desde condiciones de humedad abundante hasta áridas y semiáridas, desde un corto periodo de desarrollo (110 días a madurez como en la meseta semiárida del norte), hasta 365 días en regiones tropicales; desde suelos de reacción hiper ácida hasta hiper alcalina, profundos a someros, planos a escarpados, productivos hasta degradados, lo cual representa una evolución continua, mejorando rendimiento y otras características agronómicas, ganando especificidad para sus nichos ecológicos con selección natural para usos especiales (CONABIO, 2008; Turrent *et al.*, 2010).

Las diversidades interracial e intrarracial desarrolladas mediante el mejoramiento genético autóctono dan plasticidad a la especie para enfrentar el mega diverso agroecosistema. Los materiales de maíz nativo, se manejan bajo condiciones también extremas en cuanto a su agronomía, desde poco intensa hasta intensa en el uso de agroquímicos, agrobiológicos y mano de obra (Turrent *et al.*, 2010). México, dentro de su diversidad cuenta con una amplia variedad de maíces, distinguiéndose siete clases que se diferencian por la naturaleza del endospermo y la forma de los granos: maíz vestido, harinero, palomero, dulce, pedernal, ceroso y diente. Las variedades se distinguen también por el color del grano: Morado, rojo, negro, azul, blanco y amarillo (Benavidez *et al.*, 2010). Aunque en México se hace mención principalmente a dos variedades de maíz: blanco y amarillo o forrajero. El maíz blanco se produce exclusivamente para el consumo humano, en virtud de su alto contenido nutricional; por lo que es posible generar una gran cantidad de productos finales: tortillas, tamales, almidones, glucosa,

fructosa, dextrosa, botanas; además de etanol para bebidas; aceites, como insumo en la producción de biocombustible, o en la fabricación de barnices, pinturas, cauchos artificiales y jabones; en tanto que el maíz amarillo también se puede utilizar para consumo humano en una amplia variedad de platillos, sin embargo; en la actualidad se tiene como destino el consumo pecuario en la alimentación del ganado, ya que la planta de maíz es un excelente forraje para el ganado, especialmente para las vacas lecheras y los animales de tiro. Se utiliza como forraje en varias etapas del crecimiento de la planta, especialmente en el momento de la emisión de la panoja o más adelante, y se utiliza también en la producción industrial (www.financierarural.gob.mx; SAGARPA/SIAP, 2015).

1.3. Plagas del maíz

Uno de los factores más importantes que limitan la producción de maíz, son las plagas; capaces de infestar el maíz en cualquier etapa de su desarrollo o en el almacén y además pueden atacar cualquier parte de la planta, a menudo con graves consecuencias (Ortega, 1987).

Este cultivo tiene aproximadamente 75 plagas insectiles de la raíz, follaje y la mazorca o elote, de importancia económica en el agroecosistema maíz mexicano (Sifuentes, 1985; Ortega, 1987) y numerosas enfermedades causadas por bacterias, hongos y virus (CIMMYT, 2004).

1.3.1. Plagas del suelo

El grupo de plagas de suelo está conformado por gusanos de la raíz (*Diabrotica balteata* LeConte, *Diabrotica virgifera* LeConte, *Diabrotica longicornis* Say, *Diabrotica speciosa* Germar, *Diabrotica undecimpunctata* Mannerheim y *Diabrotica spp.* [Coleoptera: Chrysomelidae]), gusanos de alambre (Coleoptera: Elateridae: *Agriotes* Eschscholtz y *Dalopius* Eschscholtz), (Coleoptera: Tenebrionidae: *Eleodes spp.*), el picudo del maíz *Nicentrites testaceipes* Champion (Coleoptera: Curculionidae), pulga saltona *Chaetocnema pulicaria*

Melsheimer (Coleoptera: Chrysomelidae), gallinas ciegas (especies de *Phyllophaga* Harris y de *Cyclocephala* Dejean) (Coleoptera: Scarabaeidae), gusano de la semilla *Hylemya* spp. Robineau-Desvoidy (Diptera: Anthomyiidae) y el escarabajo de la semilla *Stenolophus* sp. Dejean (Coleoptera: Carabidae). Estas plagas taladran y se alimentan de las raíces; perforan las semillas en germinación, dañan la base del tallo y/o se alimentan en el cogollo donde raspan pequeñas secciones irregulares de la epidermis sin llegar a perforarla; debilitándolo, lo que resulta primero en plántulas marchitas y después en zonas con baja población, tallos curvos e inclinados o acamados que crecen en forma irregular y/o muerte de cogollo; destruyen las semillas, lo que resulta en germinación pobre y espacios sin plantas y ocasionan daño en la superficie de las hojas, al raspar las nervaduras (Ortega, 1987; Rodríguez y Marín, 2008 CIMMYT, 2015).

1.3.2. Vectores de enfermedades

En el grupo de insectos que actúan como portadores (vectores) de organismos patógenos (virus, micoplasmas, bacterias y hongos); los que succionan savia (chicharritas y pulgones) son los más dañinos, como *Dalbulus maidis* DeLong y *Dalbulus* DeLong spp. (Hemiptera: Cicadellidae), por la alimentación directa y succión de la savia de la planta, transmisión de virus y espiroplasmas, incluyendo la espiroplasma del achaparramiento del maíz *Spiroplasma kunkelii* (DeLong y Wolcott) (Enteroplasmatales: Spiroplasmataceae), provocando maíz achaparrado con rayas cloróticas en las hojas jóvenes, hojas de color púrpura, macollamiento excesivo y formación de mazorcas estériles, acumulación de fumagina, donde las chicharritas depositan melaza pegajosa mientras se alimentan. El pulgón del cogollo *Rhopalosiphum maidis* (Fitch) (Hemiptera: Aphididae), afecta las plantas achaparrándolas, ocasionando manchas amarillas conspicuas que se vuelven rojizas conforme maduran y estas plántulas infectadas rara vez maduran (Ortega, 1987; CIMMYT, 2015).

1.3.3. Barrenadores de tallo

El grupo de los barrenadores ocasionan daño importante en el tallo, con un anillado en el tronco cerca de la superficie del suelo, larvas neonatas permanecen agrupadas detrás de la vaina foliar y comienzan a roer el tallo y la parte interna de la vaina, penetran el tallo, causan acame, dañan las hojas cuando se van desplegando del verticilo con hileras de pequeños agujeros y perforaciones, ocasiona daño al punto de crecimiento, resultando en hojas marchitas, tonalidad blanquizca y causan muerte de cogollo, retraso en el crecimiento o muerte de la planta, debilitan las plantas principales hasta el acame e interferencia con el agua y la translocación de nutrientes; se alimentan extensivamente de las espigas (panojas), los pedúnculos de las mazorcas, y las mazorcas mismas perforándolas y realizando túneles, resultando en daño a grano y una mayor vulnerabilidad a la pudrición de tallo; dentro de este grupo inciden *Diatraea lineolata* Walker, *Diatraea grandiosella* Dyar, *Chilo partellus* Swinhoe, *Ostrinia furnacalis* Guenée, *Eoreuma loftini* Dyar (Lepidoptera: Crambidae), *Busseola fusca* Fuller y *Sesamia calamistis* Hampson (Lepidoptera: Noctuidae) (Ortega, 1987; Rodríguez y Marín, 2008; CIMMYT, 2015).

Se destaca a *Diatraea saccharalis* F. (Lepidoptera: Crambidae) (Fig. 1), asociada con las gramíneas del continente americano. Se le encuentra desde la zona sureste de Estados Unidos hasta la faja maicera de Argentina. Este insecto en su fase larval daña diferentes partes de la planta. Los primeros indicios del ataque de este insecto son las hileras de pequeños agujeros que pueden observarse cuando las hojas se van desplegando durante la etapa del cogollo medio. Algunas larvas taladran el cogollo tan profundamente que matan el punto de crecimiento y cortan las hojas centrales en la base. A la larga, estas hojas se marchitan, mueren y se tornan blancas, un síntoma comúnmente conocido como muerte del cogollo. En las etapas más avanzadas del desarrollo de la planta, los barrenadores causan otro tipo de daños, incluyendo el macollamiento y achaparramiento. Las larvas más desarrolladas perforan el tallo, por lo general donde la hoja se une a éste. También pueden taladrar las nervaduras centrales y alimentarse en la sección de la hoja que envuelve al tallo. Los tallos muy

infestados están llenos de túneles, se rompen con facilidad y se acaman. Durante la floración, la segunda generación de gusanos se alimenta de las tiernas espigas (panojas) y perforan el tallo, provocando su acame. Asimismo, pueden penetrar en los pedúnculos de las mazorcas y en las mazorcas mismas, que se desprenden de la planta cuando el daño es intenso. Además del daño directo que ocasionan, los barrenadores indirectamente dan paso a la invasión de hongos que pudren el tallo y la mazorca, en la primera y segunda generación respectivamente (Ortega, 1987; CIMMYT, 2015).

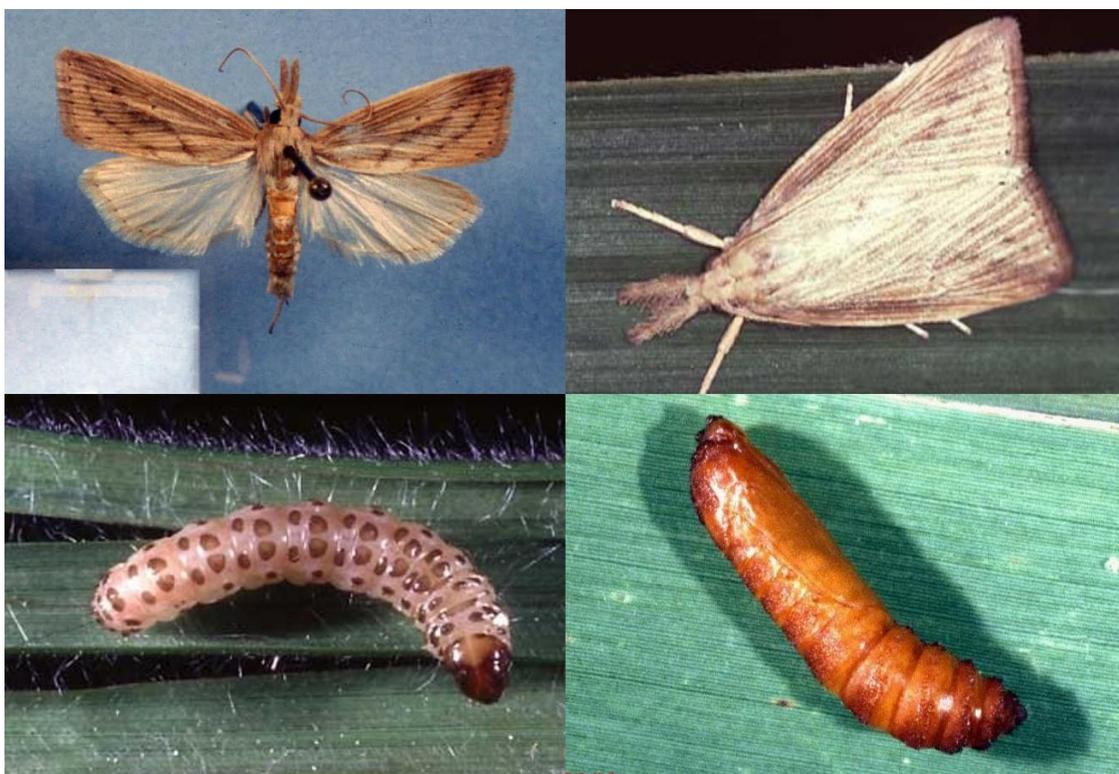


Figura 1. Adulto con alas extendidas (arriba, izquierda) y en reposo (arriba, derecha), larva (abajo, izquierda) y pupa (abajo, derecha) de *Diatraea saccharalis*. Imágenes: SIPOVE, 2015.

1.3.4. Plagas de granos almacenados

En el grupo de granos almacenados encontramos a la palomilla de los cereales *Sitotroga cerealella* Olivier (Lepidoptera: Gelechiidae), cuyas larvas penetran el grano y se alimentan de su interior, también puede infestar el cultivo en campo antes de la cosecha; la palomilla de la harina *Plodia interpunctella* Hübner (Lepidoptera: Pyralidae), plaga que solo ataca el grano almacenado, los gorgojos (*Sitophilus zeamais* Motschulsky, *Sitophilus orizae* L. y *Sitophilus granarius* L. [Coleoptera: Curculionidae]), infestan el grano almacenado o las mazorcas de maíz antes de la cosecha convirtiéndose de larva a pupa dentro del grano y los barrenadores de los granos *Rhyzopertha dominica* F. y *Prostephanus truncatus* Horn (Coleoptera: Bostrichidae), los cuales infestan tanto el grano almacenado como las mazorcas maduras en el campo, taladran y consumen los granos (Ortega, 1987; CIMMYT, 2015).

1.3.5. Plagas del tallo y follaje

En este grupo de plagas se encuentran las palomillas, grupo que más daño causa a nivel mundial, conformado por los gusanos cortadores (*Agrotis ipsilon* Hufnagel, *Peridroma saucia* Hübner y *Chorizagrotis auxiliaris* Grote [Lepidoptera: Noctuidae]), estas ocasionan daño al tallo de la planta, cortadas a ras del suelo o ligeramente por debajo de la superficie, ocasiona agujeros en las hojas y márgenes de las hojas y cavidades en la base del tallo, lo que resulta en plantas que tienden a marchitarse y acamarse. Otro grupo de palomillas son los gusanos soldados *Spodoptera exigua* Hübner y *Mythimna unipuncta* (= *Pseudaletia unipuncta*) Haworth (Lepidoptera: Noctuidae); las cuales ocasionan daño a hojas enteras, tallos cortados en la base, espigas y mazorcas, y plantas jóvenes pueden ser consumidas totalmente durante infestaciones severas (Ortega, 1987; CIMMYT, 2015). Se presentan otras plagas importantes que afectan la planta como las arañas rojas (*Tetranychus urticae* C. L. Koch, *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval y *Oligonychus* spp. Berlese (Acari: Tetranychidae); plagas que dañan la planta desde la etapa de plántula hasta la madurez,

perforando y succionando el tejido foliar, secando las hojas, presentando manchas amarillas pálidas (Ortega, 1987; Rodríguez y Marín, 2008; CIMMYT, 2015). Los trips, *Frankliniella* spp. Karny, *Anaphothrips* spp. Uzel y *Caliothrips phaseoli* Hood (Thysanoptera: Thripidae); estos insectos causan daños en cuanto las plantas emergen; observándose en las hojas dañadas una apariencia plateada y moteada, con estrías longitudinales provocadas por los trips al raspar y succionar, ocasionando desecación, achaparramiento, coloración amarilla y enrollamiento de las hojas (Ortega, 1987; Rodríguez y Marín, 2008). El frailecillo *Macrodactylus* spp. Dejean (Coleoptera: Scarabaeidae), destroza las hojas, estigmas y espigas (panojas) del maíz, afectando la producción de grano (Ortega, 1987; Rodríguez y Marín, 2008). El Gusano saltarín *Elasmopalpus lignosellus* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae), que causa daños severos, inicialmente a las plántulas, donde produce una serie de agujeros que se vuelven visibles conforme se despliegan las hojas (Ortega, 1987; Rodríguez y Marín, 2008).

En este grupo destaca el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) (Fig. 2). Este insecto es una de las plagas más importantes del maíz en el continente Americano. La distribución de esta plaga va desde el sur de Canadá hasta el norte de Argentina e incluye el Caribe, consideradas la región Norte y Centroamericana las más afectadas por esta plaga (Sena *et al.*, 2003; Casmuz *et al.*, 2010). En México, es la plaga primaria de mayor importancia en el maíz; plaga muy voraz y dañina del cultivo, (Sena *et al.*, 2003), localizada prácticamente en todas las regiones donde se cultiva maíz, aunque sus daños son más severos en el trópico y sub trópico (Ortega, 1987; Rodríguez y Marín, 2008; CIMMYT, 2015), ocasionando pérdidas desde la etapa de plántula temprana hasta la pre-madurez (Ortega, 1987), cuyas infestaciones y daño severo pueden reducir el rendimiento en porcentajes superiores al 30 % (Herrera, 1979; García-Gutiérrez *et al.*, 2012) y en casos extremos pérdida total del cultivo (Silva-Aguayo *et al.*, 2010). Después de la eclosión del huevo, las larvas neonatas comienzan a alimentarse raspando la epidermis foliar, sin perforarla con apariencia en las hojas rasgadas en la orilla hacia el interior, las cuales al desarrollarse quedan perforadas y rasgadas y más tarde pasan al

cogollo donde comen de manera voraz, el ataque temprano causa la muerte de plántulas o el retraso en el desarrollo de la planta y provocan cogollo muerto. Una infestación tardía del cogollo afecta las espigas y todas las partes de la mazorca en forma semejante al gusano elotero. Cuando el tiempo es caliente y seco, las larvas completamente desarrolladas que han caído al suelo antes de convertirse en pupas, empiezan a alimentarse en la base de la planta, cercenando el tallo tierno, actuando como cortador (Ortega, 1987; Rodríguez y Marín, 2008; CIMMYT, 2015).

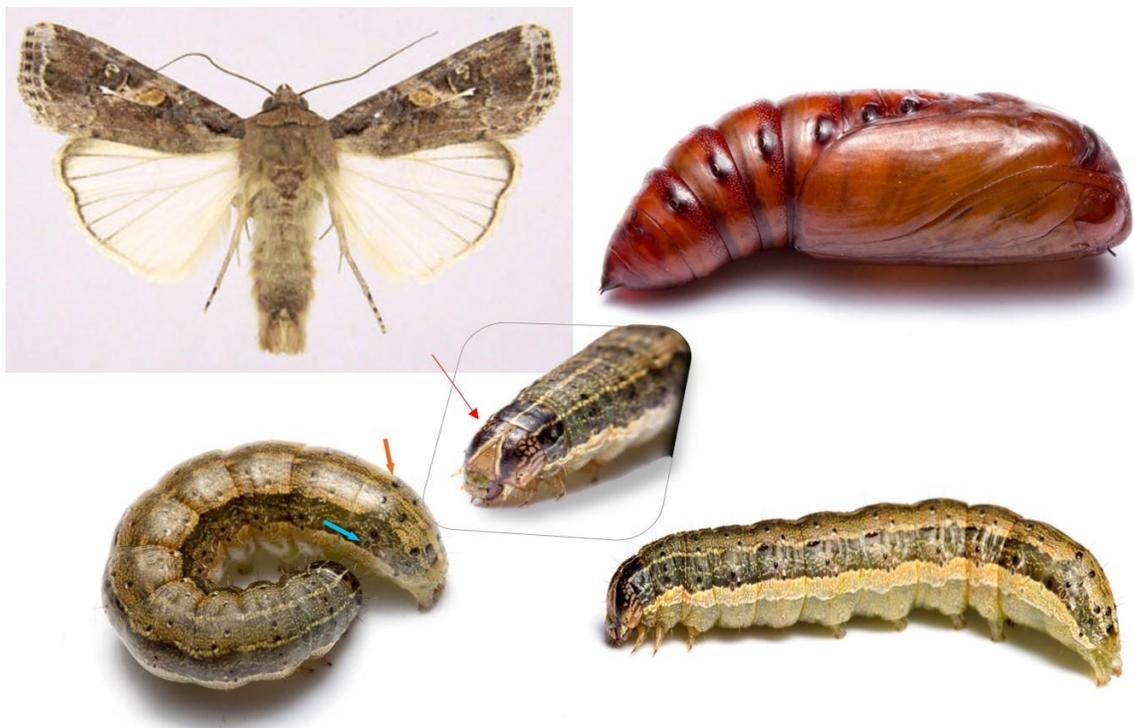


Figura 2. Adulto, pupa y larva de gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (señalando características distintivas de la larva. Imágenes: Matt Bertone, 2014).

1.3.6. Plagas de la mazorca

Mosca de los estigmas *Euxesta* spp Loew (Diptera: Ulidiidae), esta plaga se distribuye en toda América tropical y causa daño en la mazorca directo a los granos, consumen y recortan el estigma dentro del canal del estigma, reduce la polinización, puntas de la mazorca blancas debido a la alimentación de las larvas, destrucción de los granos en desarrollo, aumento de la vulnerabilidad a la pudrición de mazorca y taladra el punto de crecimiento (Ortega, 1987; CIMMYT, 2015).

El gusano elotero *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) (Fig. 3), está distribuida mundialmente y ampliamente en todo el continente americano. En México se encuentra principalmente en las regiones tropicales y subtropicales Sena *et al.*, 2003; Buntin *et al.*, 2004; Capinera, 2008). Aunque estas larvas en ocasiones se alimentan del cogollo y de las espigas tiernas. Suelen restringirse a la mazorca. Comienzan a alimentarse poco después de su emergencia y se concentran en el canal de los estigmas. El principal daño que ocasiona es la destrucción de los granos de la punta del elote; reduciendo la calidad del mismo, además, la excreta de las larvas favorece la entrada de hongos que causan pudrición a la mazorca (Ortega, 1987; Rodríguez y Marín, 2008; CIMMYT, 2015), que a menudo es producida por hongos; que penetran a través de lesiones en el grano que promueven la colonización del hongo (Wu, 2006), además de la contaminación por micotoxinas, peligrosas para la salud humana y animal (Bakan *et al.*, 2002).

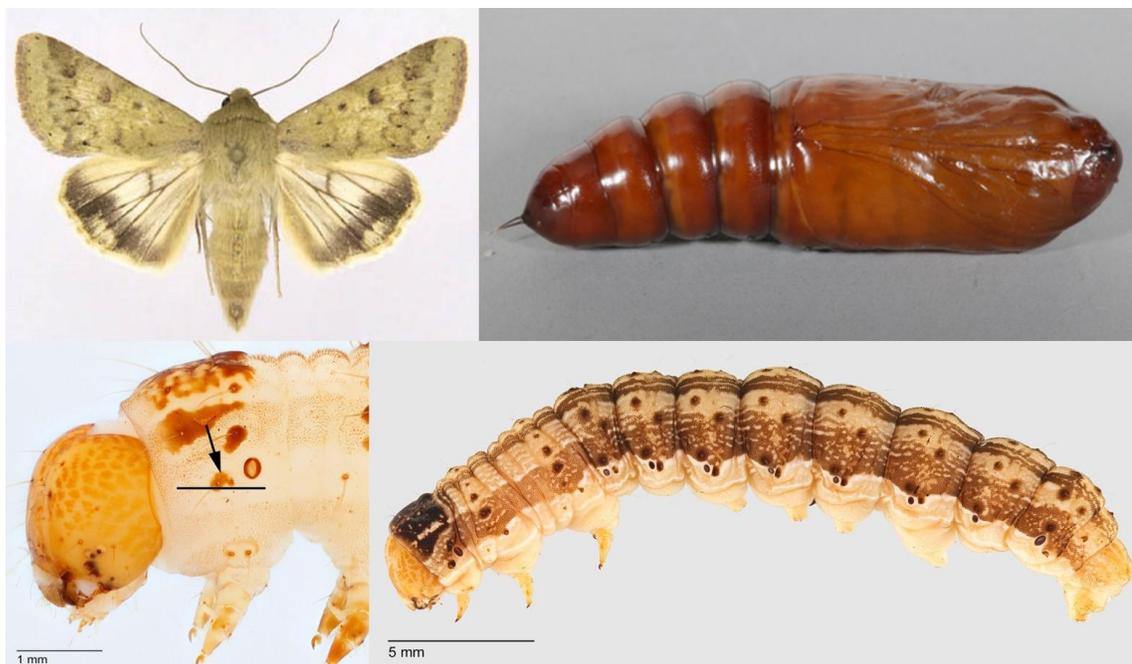


Figura 3. Adulto (Troubridge J. T. y J. D. Lafontaine, 2015), pupa (Matz, K. S., 2005) y larva (Gilligan T. M. y S. C. Passoadé, 2014) de gusano elotero *Helicoverpa zea* (señalando características distintivas de la larva).

1.3.7. Enfermedades

El agroecosistema maíz mexicano presenta aproximadamente 58 enfermedades causadas por bacterias, virus y hongos (foliares, pudrición de tallos, carbones y pudrición de mazorcas. De estas como objeto de estudio se hace hincapié en la pudrición de mazorca, la cual está asociada a distintos agentes causales como *Penicillium* spp. Link, *Aspergillus flavus* Link (Eurotiales: Trichocomaceae), *Fusarium graminearum* Schwabe (= *F. roseum*) y *Fusarium moniliforme* J. Sheldon (= *F. verticillioides*) Hypocreales: Nectriaceae) (CIMMYT, 2004).

Entre las enfermedades de mayor importancia económica se encuentra la pudrición de mazorca causada por *Fusarium* sp., el patógeno más común de la mazorca de maíz en todo el mundo (Fig. 4) (CIMMYT, 2004).



Figura 4. Pudrición de mazorca por *Fusarium* sp., en maíz. Imágenes: INTA, 2015.

El patógeno es capaz de colonizar y causar daño en todas las etapas del cultivo y sobrevivir amplios periodos en residuos vegetales (Thomas y Buddenhagen, 1980; Desjardins *et al.*, 1994; De León, 1997; Mendoza *et al.*, 2003; CIMMYT, 2004).

El daño que causa se manifiesta principalmente en granos individuales o en ciertas áreas de la mazorca. En semilla, puede invadir y ocasionar manchas en el exterior, reduciendo la tasa de germinación por la muerte del embrión (De León, 1997; González *et al.*, 2007; Morales *et al.*, 2007). Los granos infectados desarrollan un moho algodonoso o rayas blancas en el pericarpio y germinan estando aún en el olote (CIMMYT, 2004).

Esta enfermedad se localiza en todas las regiones donde se siembra el maíz, principalmente en zonas tropicales con alta humedad relativa; lo que ha incrementado la incidencia de pudrición en los últimos años, debido en parte al efecto de la precipitación desde la formación de la espiga hasta la cosecha, y a

la presencia de daño mecánico en la mazorca y del grano provocado por el gusano elotero *Helicoverpa zea* (Boddie), gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) y otros insectos, los cuales contribuyen a la diseminación de las esporas de *Fusarium*, principalmente la especie *moniliforme* (De León, 1997; Paliwal *et al.*, 2001; CIMMYT, 2004; Wu, 2006).

Además, el hongo produce micotoxinas conocidas como fumonisinas, que afectan la salud humana y animal (Robledo *et al.*, 2001; Bakan *et al.*, 2002; Desjardins *et al.*, 2006). La severidad de esta enfermedad en maíz causa un efecto directo en la disminución del rendimiento, que para el centro de México, oscila entre 6-55% (González *et al.*, 2007; Briones *et al.*, 2015) y en la zona agrícola de Sinaloa se reportan pérdidas mayores al 30% (García *et al.*, 2012).

2. Organismos genéticamente modificados

Desde los inicios de la agricultura la producción de híbridos mediante el mejoramiento genético tradicional ha sido usada como una técnica de producción agrícola, cruces desarrollados a través de métodos convencionales en variedades similares. El entrecruzamiento tradicional es el resultado de un proceso natural de reproducción sexual dentro de la misma especie, en el cual la información hereditaria de ambos padres se combina y pasa a la progenie. En el mejoramiento tradicional el fitomejorador trata de reunir una combinación de genes en una planta de cultivo que la hagan tan útil y productiva como sea posible. Según dónde y para qué propósito se cultive la planta, los genes deseables pueden proporcionar características tales como un mayor rendimiento o mejor calidad, resistencia a plagas o enfermedades o tolerancia al calor, el frío y sequía, prolongar la maduración enzimática, crecer en condiciones diferentes de foto periodicidad, etc. Combinar los mejores genes en una sola planta es un proceso largo y difícil, en especial cuando se ha limitado al cruzamiento artificial dentro de la misma especie o entre especies estrechamente emparentadas para reunir diferentes genes. Por ejemplo, un gen para aumentar el contenido

proteínico de la soya no podía ser transferido a un cultivo completamente distinto como es el maíz usando las técnicas tradicionales.

La aplicación de la tecnología del ADN recombinante para la obtención de Organismos Genéticamente Modificados –OGM– presenta ventajas sobre las técnicas convencionales porque permite incorporar un gen y a la vez conservar el genoma original, ampliar las posibilidades más allá de las limitaciones impuestas por la polinización cruzada y las técnicas de selección tradicionales, además presenta una reducción considerable en el tiempo para obtener variedades mejoradas y una precisión incomparable con las técnicas tradicionales de mejoramiento.

En acuerdo a la LBOGM-México (2005) un organismo genéticamente modificado es “cualquier organismo vivo, con excepción de los seres humanos, que ha adquirido una combinación genética novedosa, generada a través del uso específico de técnicas de la biotecnología moderna”.

La modificación genética implica, mediante técnicas de biología molecular e ingeniería genética, tomar un gen particular que determine alguna característica peculiar de un organismo de diferente especie, aun entre animales y plantas y transferirlo a otro; a esta secuencia génica se le llama transgén (transgénico) o a menudo llamado genéticamente modificado (Fraire, 2006).

Para desarrollar un organismo genéticamente modificado se requiere iniciar con la identificación y localización de los genes que determinan características importantes y se debe conocer cómo está regulado el gen, otros efectos que podría tener en la planta y cómo interactúa con otros genes activos en la misma vía bioquímica: ya identificado y aislado debe ser sometido a varias modificaciones antes de que pueda ser efectivamente insertado en una planta (DSCS, 2015).

1. Es preciso agregar una secuencia promotora para que el gen sea expresado correctamente (traducido como un producto proteínico). El promotor es la llave de encendido y apagado que controla cuándo y dónde se expresa el gen en la planta. La mayoría de los promotores en las variedades de cultivos transgénicos han sido "constitutivos", es decir, que causan la expresión del gen durante todo

el ciclo biológico de la planta en la mayoría de los tejidos. 2. El gen clonado es modificado para lograr una mayor expresión en una planta (opcional, depende de cada caso). El gen de Bt para resistencia a insectos es de origen bacteriano y tiene un porcentaje más elevado de pares de nucleótidos A-T, en comparación con las plantas, que cuentan con más pares de nucleótidos G-C. En una modificación inteligente, se sustituyeron los nucleótidos A-T con G-C en el gen de Bt, responsables de la poliadenilación temprana del mensajero y eliminación de secuencias responsables de la inestabilidad y procesamiento del ARNm, sin modificar considerablemente la secuencia de aminoácidos. El resultado es una mayor producción del producto génico en las células de la planta. 3. La secuencia de terminación indica a la maquinaria celular que se ha alcanzado el final de la secuencia génica. 4. Se agrega un gen marcador seleccionable al "constructo" génico con el fin de identificar células o tejidos de la planta que han integrado con éxito el transgén. Esto es necesario porque rara vez se produce la incorporación y expresión de transgenes en células de plantas, generalmente se logra un pequeño porcentaje de tejidos o células beneficiarias. Los genes marcadores seleccionables codifican proteínas que proporcionan resistencia a agentes normalmente tóxicos para las plantas, como los antibióticos o herbicidas. Sólo las células vegetales que han integrado el gen marcador seleccionable sobrevivirán cuando se les cultive en un medio que contenga el antibiótico o herbicida pertinente. En cuanto a otros genes insertados, los genes marcadores también requieren secuencias promotoras y de terminación para funcionar en forma apropiada (Figura 5) (DSCS, 2015). El traspaso de un gen de un organismo a otro es posible ya que, salvo algunas excepciones, todos los organismos vivos (bacterias, vegetales, animales) poseen el mismo sistema de codificación y expresión de la información genética. La universalidad del soporte de la información genética, el ADN, nos ofrece la posibilidad teórica de que un organismo pueda manifestar una información procedente de cualquier otro ser vivo (www.Unesco.org).

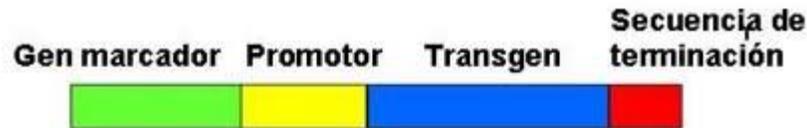


Figura 5. Representación simplificada de un transgén construido, que contiene los componentes necesarios para la integración y expresión con éxito (DSCS, 2015).

La manipulación genética implica sacar segmentos elegidos del ADN de una especie e incorporarlos en vectores, que pueden ser plásmidos, otras bacterias o virus, para facilitar su introducción en una célula diferente, aunque también puede darse mediante micro inyecciones u otros procedimientos de manipulación con alta tecnología de laboratorio (Carvajal, 2002). El método más utilizado es con la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* (Smith y Townsend) Conn (Rhizobiales: Rhizobiaceae), que naturalmente infecta dicotiledóneas a través de heridas (Figura 6a), transfiriendo una región de un plásmido, conocido como "Ti", un fragmento de ADN no cromosómico (libre en el citoplasma), que contiene, un segmento de ADN llamado ADN-T (~20 kb de largo) que es transferido a la célula de la planta en el proceso de la infección y una serie de genes vir (virulencia) que dirigen el proceso de infección; dotado de capacidad de replicación autónoma (Figura 6b) (Rodríguez *et al.*, 2003; DSCS, 2015).

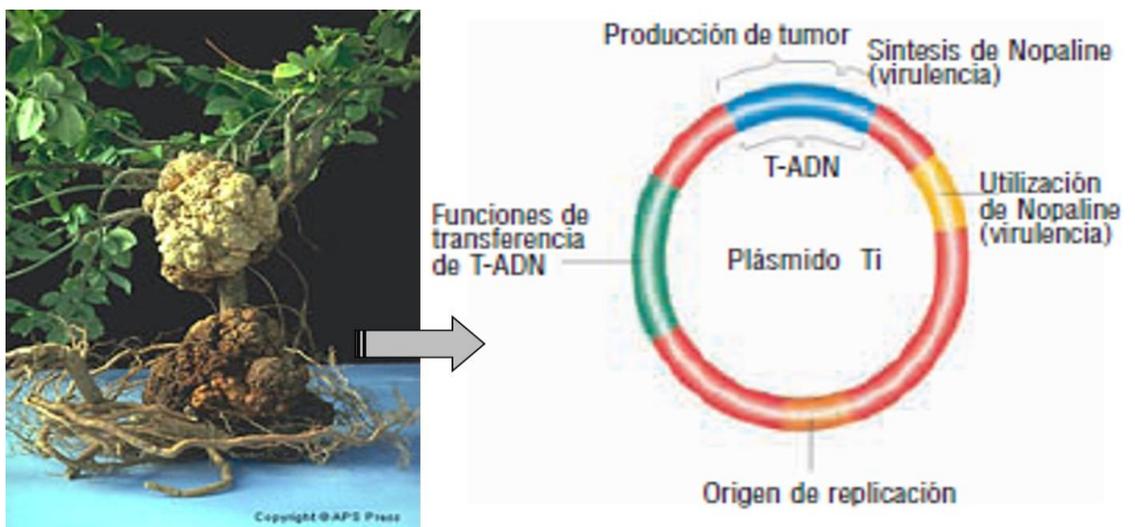


Figura 6. a. Agalla por *Agrobacterium tumefaciens* (Forster R. L.2015) y b. Plásmido Ti.

Esta región, que se incorpora al genoma de la célula vegetal, contiene genes que codifican proteínas importantes para la infección, de esta manera el ADN bacteriano se integra en un cromosoma de la planta, se apodera efectivamente de la maquinaria celular de ésta y la usa para asegurar la proliferación de la población bacteriana, causando enfermedades caracterizadas por agallas. Este sistema natural ha sido modificado de manera que disminuyan las alteraciones que produce durante la infección y posibilita el transporte de genes foráneos. Así, pueden construirse sistemas que integran un gen deseado al genoma de una célula vegetal para obtener en forma simple plantas transgénicas (DSCS, 2015). La bacteria *A. tumefaciens* sólo puede infectar a una planta a través de lesiones. Cuando la raíz o el tallo de una planta sufren una lesión, emite ciertas señales químicas. En respuesta a esas señales los genes *vir* de *A. tumefaciens* se activan y dirigen una serie de acontecimientos necesarios para la transferencia del ADN-T desde el plásmido Ti al cromosoma de la planta. Distintos genes *vir*: copian el ADN-T; unen un producto a la hebra del ADN-T copiado para que actúe como líder; agregan proteínas a lo largo del ADN-T, posiblemente como mecanismo de protección y abren un canal en la membrana celular bacteriana a través del cual pasa el ADN-T (DSCS, 2015).

El ADN-T entra entonces en la célula de la planta a través de la lesión, se traslada desde el citoplasma al núcleo de la célula de la planta y se integra en el cromosoma de la planta. Generalmente el ADN de la planta no existe como una hebra expuesta sino que está envuelto con proteínas histonas y tiene una estructura súper enrollada. Una vez que el ADN de la planta está siendo replicado o transcrito, entonces se inserta en el ADN expuesto de la planta. Para utilizar *A. tumefaciens* como vector, se elimina el ADN-T inductora de tumores y se conservan las regiones fronterizas del ADN-T y los genes *vir* (DSCS, 2015). Posteriormente para obtener plantas completas a partir de tejidos transgénicos como embriones inmaduros, se cultivan éstos en condiciones ambientales controladas en medios que contienen nutrientes y hormonas, proceso conocido como cultivo de tejidos (Figura 7). Una vez que se generan plantas completas y éstas producen semillas, comienza la evaluación de la progenie (DSCS, 2015).

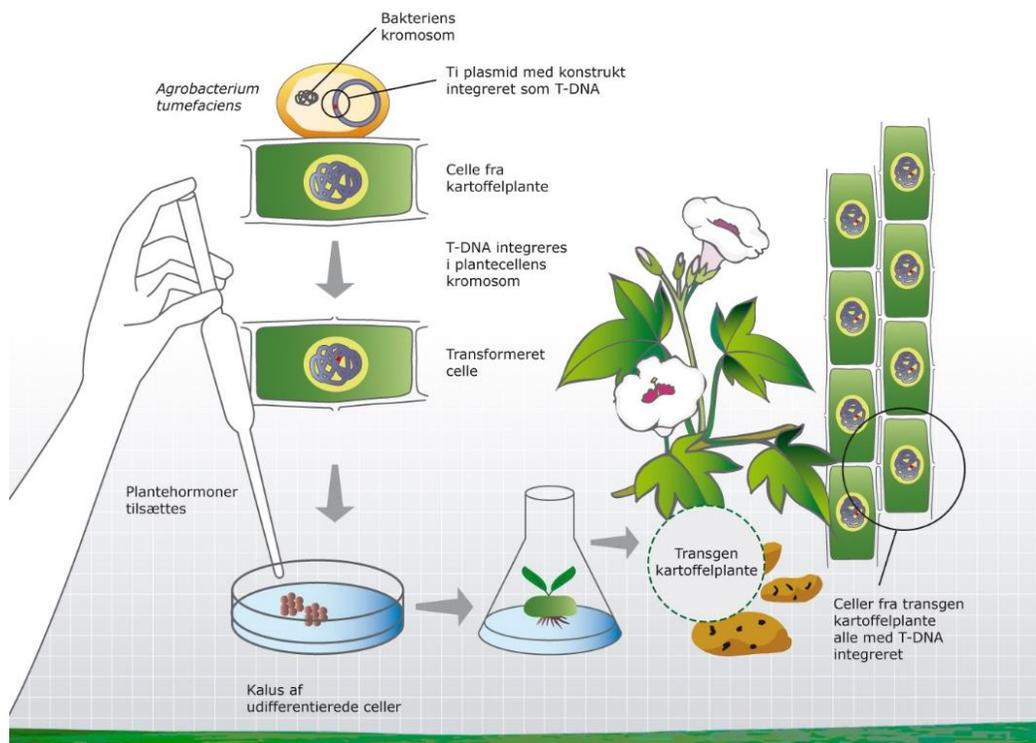


Figura 7. Proceso de transformación de una planta a transgén mediante *Agrobacterium tumefaciens* y recuperación de plantas completas por cultivo de tejidos in vitro (Waldorph, P., 2015)

2.1. Adopción y situación de los cultivos genéticamente modificados

A 19 años de comercialización de cultivos biotecnológicos, plantados por primera vez en 1996, los considerables beneficios económicos, ambientales y sociales que ofrece este tipo de cultivos, han llevado a millones de agricultores de todo el mundo a seguir aumentando la superficie agrobiotecnológica, con una superficie acumulada histórica mundial que supera la cifra de 1.7 millones de hectáreas en 1996 a 181.5 millones de hectáreas en 2014, aumentando más de 100 veces y en un total de 28 países productores de cultivos biotecnológicos, de los cuales 20 se encuentran en desarrollo y 8 son países industrializados (Fig. 8) (James, 2014).

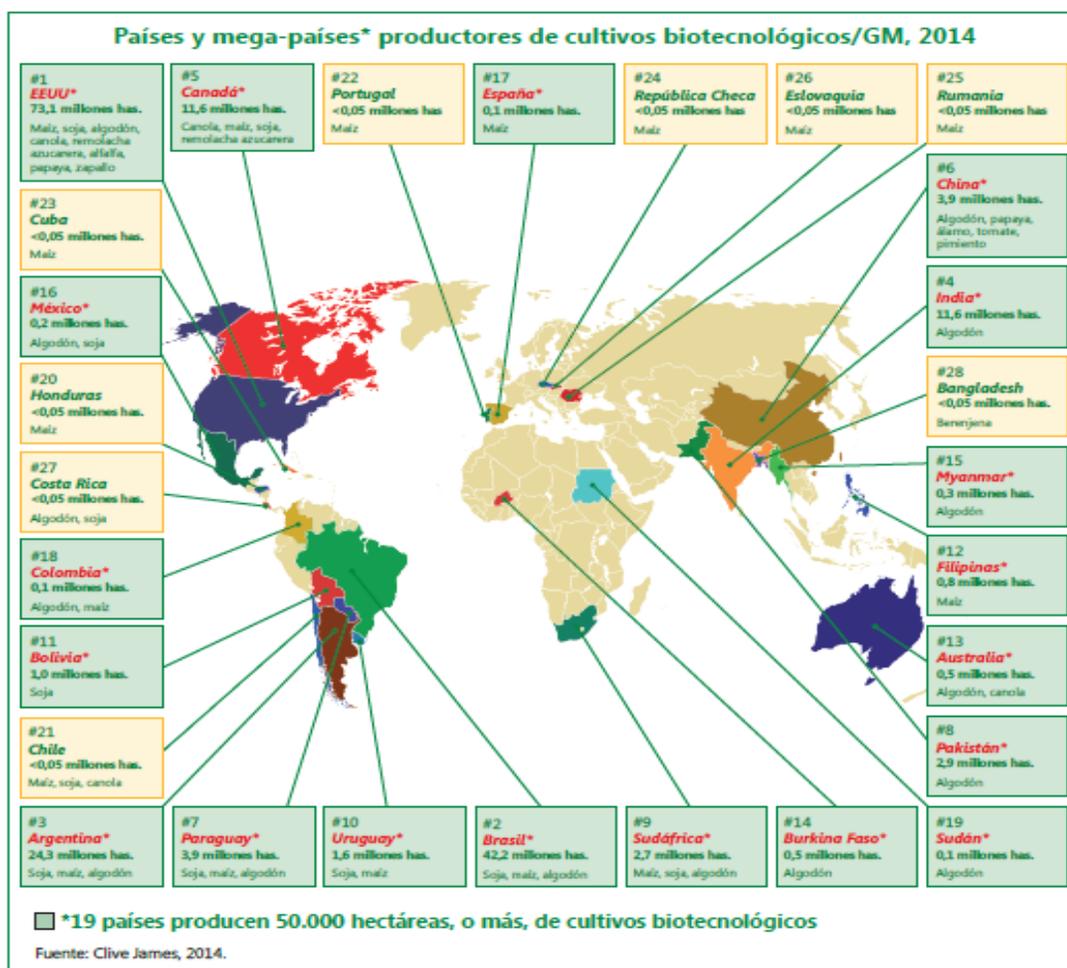


Figura 8. Mapa mundial de países productores de cultivos genéticamente modificados en 2014

Para el 2014, un récord de 181.5 millones de hectáreas de cultivos biotecnológicos fueron sembradas a nivel mundial, a una tasa anual de crecimiento entre el 3 y el 4%, lo cual determina que los cultivos biotecnológicos son la tecnología de cultivo con adopción más rápida en tiempos recientes. La tasa impresionante de adopción habla por sí misma, en términos de sustentabilidad, resistencia a la adversidad y beneficios significativos que implica tanto para los pequeños y grandes agricultores como para los consumidores. En 2014, 10 países sembraron más de 1 millón de hectáreas con cultivos agrobiotecnológicos, sobresaliendo Estados Unidos con 73.1 millones, seguido de Brasil, Argentina, India, Canadá, China, Paraguay, Pakistán, Sudáfrica, y

Uruguay; con cultivos como maíz, soya, algodón, canola, remolacha azucarera, alfalfa, papaya, calabaza, tomate, álamo y pimiento, sobre el resto de naciones que sembraron una superficie menor (Cuadro 2) (James, 2014).

Cuadro 2. Área (millones de hectáreas) global de cultivos biotecnológicos por país en el año 2014.

Puesto	País	Superficie (millones de hectáreas)	Cultivos biotecnológicos
1	Estados Unidos*	73,1	Maíz, soya, algodón, canola, remolacha azucarera, alfalfa, papaya, calabaza
2	Brasil*	42,2	Soja, maíz, algodón
3	Argentina*	24,3	Soja, maíz, algodón
4	India*	11,6	Algodón
5	Canadá*	11,6	Canola, maíz, soja, remolacha azucarera
6	China*	3,9	Algodón, papaya, álamo, tomate, pimiento
7	Paraguay*	3,9	Soja, maíz, algodón
8	Pakistán*	2,9	Algodón
9	Sudáfrica *	2,7	Maíz, soja, algodón
10	Uruguay*	1,6	Soja, maíz
11	Bolivia*	1,0	Soja
12	Filipinas*	0,8	Maíz
13	Australia*	0,5	Algodón, canola
14	Burkina Faso*	0,5	Algodón
15	Myanmar*	0,3	Algodón
16	México*	0,2	Algodón, soja
17	España*	0,1	Maíz
18	Colombia*	0,1	Algodón, maíz
19	Sudán*	0,1	Algodón
20	Honduras	<0,1	Maíz
21	Chile	<0,1	Maíz, soja, canola
22	Portugal	<0,1	Maíz
23	Cuba	<0,1	Maíz
24	República Checa	<0,1	Maíz
25	Rumania	<0,1	Maíz
26	Eslovaquia	<0,1	Maíz
27	Costa Rica	<0,1	Algodón, soja
28	Bangladesh	<0,1	Berenjena
Total		181,5	

*19 megos países biotecnológicos que cultivan 50,000 hectáreas, o más, de cultivos genéticamente modificados (James, 2014).

México en superficie cultivada con cultivos agrobiotecnológicos se encuentra en la posición 16 con dos cultivos genéticamente modificados introducidos en fase comercial: soya y algodón tolerante a herbicida y algodón Bt resistente a insectos; con aproximadamente 0.2 millones de hectáreas (James, 2014).

En la actualidad el maíz es el cultivo con mayor adopción. Este cereal cuenta con el mayor número de eventos GM aprobados para su siembra y/o experimentación, con 142 eventos; de estos la característica de resistencia a herbicidas es la que tiene mayor número de eventos con 120, además cuenta con 4 eventos para tolerancia al estrés abiótico, 12 eventos para modificación de la calidad (características agronómicas), 6 eventos con la característica de sistema de control de polinización, 1 evento para crecimiento alterado/rendimiento y 115 eventos presentan la característica de resistencia a insectos (ISAAA, 2015).

Para resistencia a insectos, hasta el 2014, en el mundo se tiene un registro de 198 eventos distintos con proteínas de *Bacillus thuringiensis*, en 8 cultivos de importancia; destacando el maíz con el mayor número de eventos con 115, seguido de algodón (42), papa (30), soya (4), arroz (3), álamo (2), berenjena y tomate con 1 evento Bt cada uno (ISAAA, 2015).

En México, de 2009-2014, se han aprobado para su prueba experimental, piloto y/o comercial, -según sea el caso-, 158 eventos en 9 cultivos diferentes; sobresaliendo el maíz con 68 eventos, seguidos del algodón con 30, soya con 22, canola y papa con 13 eventos cada uno, tomate con 5, arroz y remolacha azucarera con 1 evento cada uno (ISAAA, 2015).

Con respecto al maíz, su homólogo transgénico para tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos ha sido motivo de gran debate. En nuestro país, en 2009 se realizó con éxito los primeros ensayos en campo con maíz Bt, tras una moratoria que impedía realizar ensayos en campo con maíz biotecnológico, los cuales demostraron la eficacia de la biotecnología para el control de plagas de insectos y malezas, con resultados coherentes con la experiencia internacional de comercialización de maíz biotecnológico en el mundo (James, 2010; Piña y Solleiro, 2013). No obstante, en México, el maíz GM se sembró hasta el 2013 en

etapa de experimentación y/o piloto con 68 eventos; de los cuales 55 comparten la característica de resistencia a insectos, 45 para resistencia a lepidópteros y 33 con resistencia a coleópteros (ISAAA, 2015).

3. Cultivos genéticamente modificados para resistencia a insectos

Mediante el ADN recombinante se ha revolucionado la producción agrícola, con híbridos genéticamente modificados para diferentes características de importancia. En un principio, las modificaciones genéticas estuvieron regidas por las necesidades en el campo, enfocado a una mayor productividad. En la actualidad presentan distintas características de importancia: mejoramiento de características de interés (contenido nutricional), para la producción farmacéutica (insulina humana en bacterias y levaduras), larga vida de anaquel (tomate flavr savr), resistencia a estrés abiótico (sequia, frio), resistencia a herbicidas (glifosato y glufosinato), resistencia a plagas (lepidópteros y coleópteros), entre otras características de importancia (Rodríguez y González, 2007).

El ataque por insectos representa uno de los aspectos más importantes del cultivo vegetal. Son numerosas las plagas de todo tipo de plantas producidas por muchos insectos. Su interés es enorme desde el punto de vista económico, incluyendo no solo la pérdida de cosechas sino los gastos necesarios para su control y prevención, por lo general de tipo químico. No puede olvidarse, tampoco, su repercusión social, por la merma en el abastecimiento ciudadano de alimentos de primera necesidad, en particular en países subdesarrollados (Rodríguez *et al.*, 2003).

Un buen ejemplo de cultivos modificados genéticamente para resistencia a insectos, esta mediado por la proteína cristal (Cry) producida por *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bacillales: Bacillaceae), denominada δ -endotoxina, que resulta tóxica, selectivamente, ante el ataque de insectos plaga de importancia económica, principalmente del orden Lepidoptera y Coleoptera (Silva, 2005a; 2005b). De ella se han descrito diferentes variantes cada una de las cuales posee una acción diferente, como la Cry I, tóxica para lepidópteros, la clase II, toxica

para lepidópteros y dípteros, la Cry III toxica para coleópteros o la Cry IV para dípteros (Joung y Côté, 2000).

Estos cultivos que producen toxinas de *Bacillus thuringiensis* para el control de insectos representan la primera generación de cultivos transgénicos insecticidas (Sisterson *et al.*, 2007) y tras 19 años de su comercialización, plantados por primera vez en 1996, los considerables beneficios económicos, ambientales y sociales que ofrece este tipo de cultivos, han llevado a millones de agricultores de todo el mundo a seguir aumentando la superficie agrobiotecnológica (James, 2014); motivo por el cual son considerados como una alternativa de manejo de plagas en la agricultura (Fernandes *et al.*, 2007).

3.1. *Bacillus thuringiensis*

Es una bacteria del suelo Gram-positiva, aerobio estricto, flagelado, que mide de 3 a 5 μm de largo por 1 a 1,2 μm de ancho (Fig. 9) y presenta una distribución cosmopolita (Gordon *et al.*, 1973). Pertenece al reino Eubacteria, Phylum Firmicutes, clase Bacilli, orden Bacillales, familia Bacillaceae, genero *Bacillus*, especie *thuringiensis*; nombre binomial *Bacillus thuringiensis* Berliner, 1915 (NCBI, 2015), situado dentro del grupo de Bacilos Gram positivos formadores de una endoespora, dentro de especies con flagelación peritrica. *B. thuringiensis* está dentro del grupo I del género, que es donde se encuentran aquellas especies con espora elipsoidal que no provocan hinchamiento del perfil bacilar. La principal diferencia de *B. thuringiensis* con respecto a otros Bacilos relacionados es la formación durante la fase de esporulación, de uno o más cuerpos cristalinos de naturaleza proteica adyacentes a la espora, el cual presenta una gran diversidad de formas, dependiendo de la proteína que lo constituya, encontrándose cristales bipiramidales, cúbicos, romboidales, esféricos, rectangulares, triangulares e irregulares, y con tamaños variados; además de presentar una naturaleza proteica y propiedades insecticidas altamente específica y de bajo impacto al medio ambiente (Höfte y Whiteley, 1989; Schnepf *et al.*, 1998; Joung y Côté, 2000; Iriarte y Caballero, 2001; Soberón y Bravo, 2008).

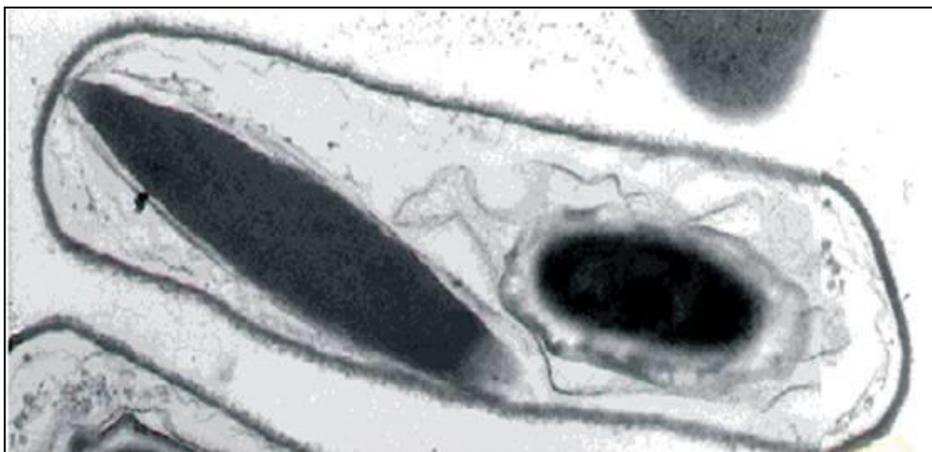


Figura. 9. Microfotografía de *Bacillus thuringiensis* en microscopio electrónico de transmisión, cristal proteínico romboide compuesto de toxinas Cry y una espora en proceso (Soberón y Bravo, 2008).

La bacteria *B. thuringiensis* es el entomopatógeno más conocido, estudiado y extensamente utilizado como agente de control microbiano con más del 90% del mercado de bioinsecticidas (Glare y O'Callaghan, 2000) y su importancia radica en la elaboración de la toxina cristal (Cry) que le da la característica insecticida. La definición de proteínas Cry es cualquier proteína paraesporal de Bt que presente algún efecto tóxico hacia algún organismo, verificable experimentalmente por medio de bioensayos o cualquier proteína que muestre similitud con las proteínas Cry (Crickmore *et al.*, 1998; Soberón y Bravo, 2008). La importancia de la delta endotoxina de *B. thuringiensis* radica en su selectividad toxica contra larvas de insectos plaga de los órdenes lepidóptera, coleóptera, díptera, himenóptera (hormigas), ácaros y también contra otros invertebrados como nematodos, gusanos planos y protozoarios (Soberón y Bravo 2008), importantes en la agricultura y la silvicultura. A raíz de su utilización como bioinsecticida se realizó la clonación del gen Cry que codifica para proteínas insecticidas (Schnepf y Whiteley, 1981). Desde que ocurrió la primera clonación de un gen Cry se han aislado muchos otros genes, por lo cual se ha establecido una clasificación de las δ -endotoxinas basada exclusivamente en la similitud de la secuencia primaria (aminoácidos), para indicar los grados de divergencia

filogenética permitiendo que las toxinas estrechamente relacionadas se clasificaran en conjunto (Crickmore *et al.*, 1998), de acuerdo a la identidad y está designada por letras y números después de la palabra Cry (cristal) de manera jerárquica ordenadas por filas, la primera fila designada por un número arábigo que corresponde hasta el 45 % de identidad (Cry1, Cry2, etc.), la segunda fila cataloga a las proteínas con una letra mayúscula y corresponde a identidades de 45-78 % (Cry1A, Cry1B, etc.), la tercera fila asigna una letra minúscula y corresponde a identidades de 78 % a 95 % (Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac, etc.), la última fila incluye un número arábigo al final de la nomenclatura indicando más de 95 % de identidad (Cry1Aa1, Cry1Aa2, etc.) (Soberón y Bravo, 2008). Los genes que especifican una familia de insecticidas relacionados con proteínas (Cry) se dividen en cuatro clases principales, clase I específicamente para Lepidoptera, clase II para Lepidoptera y Diptera, clase III específicamente Coleóptera y la clase IV específica para Diptera, cada clase con sus respectivas propiedades insecticidas y estructurales (Joung y Côté, 2000).

3.1.1. Modo de Acción de *Bacillus thuringiensis*

El mecanismo de acción de las proteínas Cry de *B. thuringiensis* se activan cuando las larvas susceptibles ingieren el complejo espora-cristal. La proteína cristalina es altamente insoluble en condiciones neutras y se solubiliza en el ambiente alcalino de Ph alto (9.5) del mesenterón (intestino medio) del insecto, una vez disueltas las proteínas del cristal (protoxinas) sufren proteólisis por enzimas (proteasas) presentes en el intestino del insecto, una vez solubilizada; la protoxina de 130 KDa se rompe para producir una toxina activa de 55-65 kDa resistente a la proteasa y que comprende la región N terminal. Esta es la toxina activada llamada δ -endotoxina la cual adquiere una conformación tridimensional que le confiere gran especificidad para acoplarse a un componente glicoproteico de la membrana de las células epiteliales comúnmente llamado "receptor" (Gill *et al.* 1992, Escrache y Ferré 2001; citados por Ibarra 2007). La unión de la toxina Cry a los receptores (cadherina) del intestino medio tiene como resultado una

oligomerización de la toxina (Rausell *et al.*, 2004) para posteriormente unirse al receptor aminopeptidasa y la inserción de la toxina en la membrana apical crea canales iónicos o poros líticos y propicia un desequilibrio de iones resultando en la pérdida de iones K^+ alterando la presión osmótica de las células epiteliales que revisten el intestino medio una vez que las toxinas se insertan a la membrana, seguidos de agua (Fig. 10), el exceso de agua en el citoplasma de las células epiteliales provoca una distensión excesiva de los organelos membranosos y de la propia célula en su totalidad, hasta que ésta estalla (Hoffman y Frodsham, 1993; Knowles, 1994; Schnepf *et al.*, 1998; Jung y Côté, 2000; Kati *et al.*, 2007; Soberón y Bravo, 2008).

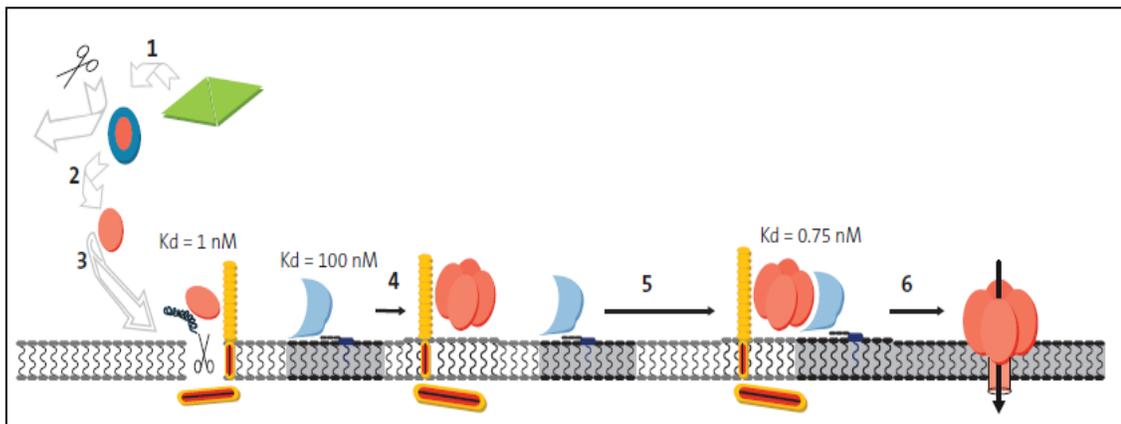


Figura 10. Esquema de los diferentes eventos en el modo de acción de las proteína Cry de *Bacillus thuringiensis*. 1. Solubilización, 2. Rompimiento de la protoxina, 3. Unión al receptor cadherina, 4. Formación de Pre-poro, 5. Unión receptor aminopeptidasa, 6. Inserción toxina (Soberón y Bravo 2008).

Unas pocas células dañadas podrían ser reemplazadas rápidamente por otras nuevas sin que ocurran consecuencias fatales; sin embargo cantidades suficientes de δ -endotoxina normalmente destruyen amplias áreas del epitelio, las cuales se manifiestan en huecos por donde pasa el contenido altamente alcalino del mesenterón hacia la hemolinfa (que presenta un pH casi neutro) y la hemolinfa hacia el lumen del mesenterón. Estos dos fenómenos traen consigo dos consecuencias dañinas para el insecto. Por un lado, el pH estomacal baja

por compensación al aumentar el pH de la hemolinfa y la conducción nerviosa cesa. Esto implica que cesa la ingesta, el sistema digestivo se paraliza, parálisis total, diarrea, la larva se vuelve flácida, las células epiteliales se lisan y se detiene el daño a la planta atacada y finalmente la larva muere por septicemia e inanición al cabo de unos días (Fig. 11) (Schnepf *et al.*, 1998; Soberón y Bravo, 2008).

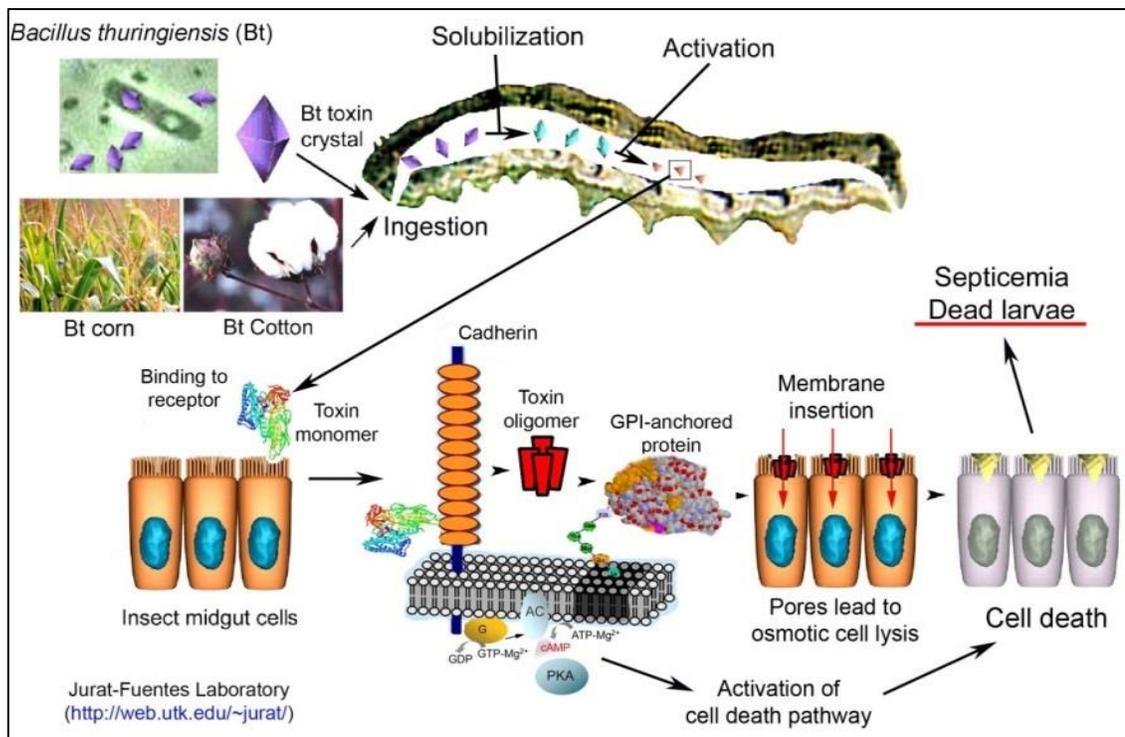


Figura. 11. Modo de acción de la δ -endotoxina de *Bacillus thuringiensis* (Jurat-Fuentes, 2015)

3.1.2. Importancia de *Bacillus thuringiensis*

B. thuringiensis es el insecticida biológico más utilizado comercialmente, y tradicionalmente se ha ocupado para el control de insectos plaga en la agricultura (Schnepf *et al.*, 1998; Soberón y Bravo, 2008). Una característica importante de las proteínas Cry producidas por Bt es que son altamente específicas hacia los insectos objetivo e inocuos a mamíferos, vertebrados, plantas e inclusive otros insectos benéficos (depredadores y parasitoides) y polinizadores como las abejas (Soberón y Bravo, 2008). Sin embargo, la supervivencia o persistencia de las

endosporas y su patogenicidad entre los cultivos es afectada por factores abióticos como la radiación solar, la temperatura de las hojas y el déficit de presión de vapor (Leong *et al.*, 1980), además las esporas de *B. thuringiensis* pueden sobrevivir por algunos años, aunque la población y la toxicidad declina rápidamente, se ha observado que la presencia y actividad se mantiene hasta por 3 años en suelos estériles, mientras que en suelos no estériles se pierde hasta el 50% de actividad en los primeros 7 días (Schnepf *et al.*, 1998) y las δ -endotoxinas pueden sobrevivir en la mayoría de los tipos de suelos, sin embargo en suelos con un Ph de 4.8 estas no se desarrollan (Joung y Côté, 2000).

Es por estas características que se desarrollaron plantas transgénicas que producen toxinas Cry que le confieren resistencia al ataque de insectos plaga, sin mostrar toxicidad hacia otros integrantes del ecosistema, con el objetivo de que la planta una vez transformada con el gen de la toxina exprese cantidad constante de ésta, que; comparada con la aplicación de plaguicidas y de productos derivados de *B. thuringiensis* no estaría sujeta a distintos condicionamientos como el momento de la aplicación, el lavado del producto por precipitación y la inactivación por exposición a la luz solar, otra ventaja está constituida por la presencia de proteínas Cry en partes de la planta donde los plaguicidas químicos y biológicos no son capaces de llegar, otorgando así un control más efectivo (Permingeat y Margarit, 2005).

4. Artrópodos no blanco del maíz genéticamente modificado

Los cultivos genéticamente modificados Bt son utilizados para el control específico de insectos pertenecientes a tres órdenes principalmente: lepidópteros, dípteros y coleópteros. En el caso del maíz Bt, la expresión de la proteína Cry le confiere resistencia a lepidópteros como *D. saccharalis*, *Heliothis virescens* F. (Lepidoptera: Noctuidae), *H. zea*, *S. frugiperda*, etc. (Silva, 2005b). En un agroecosistema además de los insectos blanco de la toxina Cry, se presenta toda una red trófica que incluye a artrópodos pertenecientes o no a los órdenes bajo control y que están en contacto con los cultivos, como otros

lepidópteros y coleópteros no blanco y otros fitófagos, depredadores, parasitoides, polinizadores e insectos del suelo (saprófagos). La mayoría de ellos entrarían en contacto con la proteína Cry al consumir partes de la planta directa o indirectamente en las cadenas tróficas pudiendo quedar expuestos a la acción tóxica, a pesar de que la proteína expresada posee una alta especificidad respecto a insectos blanco, debido a las condiciones necesarias para solubilizar, activar y unir las proteínas y que se desconoce la presencia del receptor a la toxina Bt en aparatos digestivos no blanco (Groot y Dicke, 2002; Bruck *et al.*, 2006).

Se ha discutido si la expresión de las toxinas de los cultivos Bt en el medio ambiente puede dañar a insectos que no son plaga y sí son benéficos. Se ha manejado la hipótesis de una posible reducción de la biodiversidad por el impacto de la tecnología Bt sobre los organismos no blanco. En respuesta a la creciente importancia y al interés en la tecnología Bt como nueva herramienta para el manejo de plagas, muchos son los que han realizado investigaciones, dependiendo la zona geográfica y el interés particular, estas evaluaciones se han realizado mediante bioensayos bajo condiciones de laboratorio e invernadero, evaluando la mortalidad, el desarrollo-longevidad, sobrevivencia, además se ha alimentado bajo condiciones de laboratorio organismos no blanco y se ha evaluado su desarrollo, interacciones tróficas (planta-fitófago-enemigo natural), la abundancia y diversidad de artrópodos en campo en el cultivo Bt comparado con su híbrido convencional, algunos otros estudios se han hecho durante un ciclo de cultivo y otros por periodos más largos (2-3 años), sujetándose a las prácticas agronómicas típicas del cultivo en la región de investigación, además se han realizado estudios con técnicas más novedosas mediante análisis moleculares y/o pruebas de ELISA a través de las redes alimenticias y se han hecho análisis de estos estudios mediante meta-análisis. Todos con el objetivo claro de detectar si existe un impacto adverso sobre las poblaciones de artrópodos asociados al maíz y que no son el objetivo del efecto tóxico de la toxina Cry (Andow *et al.*, 2009; Lövei *et al.*, 2009; Shelton *et al.*, 2009a; Shelton *et al.*, 2009b; Andow y Lövei, 2012; Shelton *et al.*, 2012).

Un caso muy estudiado y que fue causa de gran controversia corresponde al informe de Losey *et al.* (1999) donde presentaron evidencia de que el polen de maíz transgénico depositado sobre las hojas de las asclepias de las que se alimentan las larvas de la mariposa monarca *Danaus plexippus* L. (Lepidoptera: Nymphalidae) afectaba significativamente la sobrevivencia y crecimiento de las larvas de esta mariposa en condiciones de laboratorio, sin embargo; ellos mismos reconocieron la necesidad de hacer estudios en campo. Como respuesta a este trabajo, muchos investigadores exploraron los efectos del polen de maíz Bt en larvas de mariposa monarca y otras, tanto en condiciones de laboratorio como en condiciones naturales, no faltaron las controversias: en algunos casos se descubrieron efectos sobre el crecimiento y la sobrevivencia de algunos estadios larvarios, aunque en otros estudios no se observaron diferencias significativas con estos parámetros entre las larvas expuestas a polen de maíz Bt y los controles (Hansen y Obrycki, 2000; Wraight *et al.*, 2000; Zangerl *et al.*, 2001; Sears *et al.*, 2001; Hellmich *et al.*, 2001), posteriormente la controversia siguió basado en el diseño experimental, análisis estadístico, las variables a evaluar, el tamaño de muestra y la interpretación de los resultados por parte del investigador (Andow *et al.*, 2009; Lövei *et al.*, 2009; Shelton *et al.*, 2009a; Shelton *et al.*, 2009b; Andow y Lövei, 2012; Shelton *et al.*, 2012).

Los híbridos de maíz que expresan una o varias toxinas de *B. thuringiensis*, en el corto plazo tienen la oportunidad de ejercer un posible efecto sobre aquellas especies fitófagas emparentadas con las objetivo del cultivo Bt, datos documentados en estudios de artropodofauna asociada al maíz por Dutton *et al.* (2002), argumentaron que el maíz Bt (Cry1Ab), solo afectaba la tasa de mortalidad y ocasionaba un retraso en el desarrollo de *Spodoptera littoralis* Boisduval (Lepidoptera: Noctuidae), especie emparentada con la plaga objetivo del maíz.

En este sentido, otro de los temas destacables es el caso de los depredadores que se alimentan de las presas que previamente se han alimentado de plantas Bt, al respecto hay consistencia generalizada en que los depredadores no presentan un daño al alimentarse de diversos fitófagos alimentados en plantas

Bt, no obstante; solo se ha observado un aumento en la mortalidad y un retraso en el desarrollo cuando se alimentaron de larvas de las plagas clave o fitófagos emparentados como el caso de *S. littoralis* criadas en maíz Bt, y aunque los riesgos ecológicos del maíz Bt sobre depredadores son muy discutidos, se aprecia una combinada interacción entre la calidad de presa al estar intoxicada con la toxina Cry, no contando con los requerimientos nutricionales necesarios para el desarrollo del depredador, y no de un efecto toxico directo y considerando que las larvas de lepidópteros objetivo del maíz Bt no son una presa importante para muchos depredadores generalistas en campo, el maíz que expresa la toxina Cry1Ab no representa un riesgo para depredadores, misma situación con aquellos depredadores facultativos que ingieren material vegetal, de igual manera sucede con los parasitoides específicos que se ven afectados indirectamente, pero estos cambios están vinculados a la ausencia del alimento objetivo de la planta Bt, además se ha encontrado una menor abundancia de escarabajos de la savia *Carpophilus* spp. (Coleoptera: Nitidulidae), y larvas de la mosca de los estigmas *Euxesta stigmatis* Loew (Diptera: Ulidiidae) en el maíz Bt, debido a que estos son atraídos a la planta por el daño ocasionado en la mazorca por los lepidópteros. Aunque en general no hay evidencias de efectos adversos del maíz Bt en los fitófagos y saprófagos no blanco, ni efectos significativos sobre la abundancia y diversidad de enemigos naturales, sin embargo; si bien es cierto estas sufren algún cambio, pero estos cambios están vinculados indirectamente a la planta y a la ausencia del alimento objetivo de la planta Bt (Dively y Rose, 2002; Candolfi *et al.*, 2004; Daly y Buntin, 2005).

Como cualquier tecnología de control de insectos las plantas transgénicas que expresan la toxina de Bt pudieran presentar un riesgo para la comunidad de artrópodos, sin embargo; en el mediano plazo las observaciones hechas no han arrojado resultados que indiquen un posible efecto negativo del maíz Bt sobre la diversidad y abundancia en campo de artrópodos (fitófagos, depredadores, parasitoides, saprófagos) asociados al cultivo de maíz y algodón Bt. En este sentido la gran mayoría de los estudios sobre artrópodos no blanco, han estado enfocados al estudio de la diversidad y abundancia de los niveles tróficos a gran

escala, evaluando toda la diversidad del agroecosistema maíz en conjunto, principalmente en campo y unos pocos en laboratorio y/o en combinación.

De las principales dudas que se tenían, era el impacto en la liberación de las toxinas a través de las raíces del maíz Bt y su efecto en los artrópodos del suelo, diversidad de artrópodos que en el corto y mediano plazo no presentan un cambio negativo por efecto de las toxinas Cry, observando un comportamiento similar entre un maíz Bt y uno convencional; consistentes con Candolfi *et al.* (2004) confirmaron que la posible liberación de toxinas al suelo por el maíz Bt que expresan la toxina Cry sobre los artrópodos no objetivo bajo condiciones de campo, no reduce el número de artrópodos del suelo y no conduce a un cambio detectable en la comunidad y una de las razones es que la toxina Cry se acumula en el suelo, ya que absorbe y se une rápidamente a partículas activas de la superficie (por ejemplo, arcillas y sustancias húmicas) y retiene la actividad insecticida (Saxena *et al.*, 2002).

En artrópodos que habitan el follaje, durante las observaciones hechas, no se observaron cambios en la diversidad y abundancia de la comunidad trófica; en algunos casos observándose mayor abundancia en los maíces Bt, probablemente atraídos por la biomasa vegetal, disponibilidad debido a la protección del cultivo hacia plagas blanco; estas observaciones son consistentes con (Candolfi *et al.*, 2004; Harwood *et al.*, 2005) quienes no observaron ningún impacto significativo de ningún tipo en la densidad poblacional de fitófagos y enemigos naturales no blanco de la comunidad y algunos cambios en ciertos taxones en las parcelas de maíz Bt, son una respuesta a la ausencia de daños en la planta y a la mayor disponibilidad en la densidad de población de presas (Dively, 2005). Sin embargo, se desconoce si las endotoxinas fluyen a depredadores primarios, secundarios o terciarios a través de los fitófagos y/o en la cadena alimenticia hacia detritívoros o si su presencia es consecuencia del consumo directo de material vegetal (Harwood *et al.*, 2005).

Un grupo poco estudiado es sin duda el de las abejas o polinizadores, particularmente en campo es un grupo poco representado, de los pocos estudios Rose *et al.* (2007) bajo condiciones de laboratorio y campo evaluaron el efecto

del polen de maíz dulce que expresa la proteína Cry1Ab (Maíz Bt11) en la sobrevivencia de abejas melíferas. Bajo el conocimiento de que el maíz usado libera una gran cantidad de polen y es más atractivo para las abejas, que otros maíces en campo. Durante 35 días de estudio de laboratorio y 28 días de campo no se encontraron efectos sobre el peso y la supervivencia de abejas melíferas, ni sobre la actividad para forrajear y rendimiento de la colonia en campo, también observaron que la cría no fue afectada a la exposición de polen Bt.

Las diversas discusiones sobre los efectos o posible impacto ecológico no deseados de los cultivos Bt, sobre los componentes de la cadena trófica y que no son blanco de la tecnología Bt, pudieron resolver la interrogante sobre la principal preocupación, la cual era el efecto a largo plazo. El resultado general más importante es que el efecto negativo del maíz Bt en campo es prácticamente inexistente, los cuales solo se presentan en especies emparentadas que no son el objetivo del desarrollo de una variedad transgénica particular, alterando de esa manera la biodiversidad y que los efectos del maíz Bt dependen de los niveles de exposición y del evento del que se trate (de la variedad específica de Bt), aunque los niveles de exposición que se esperan en el campo en los eventos comerciales son muy bajos.

Evaluation of foliar damage by *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in genetically modified corn in Mexico

Artículo enviado a la Revista *Florida Entomologist*

Luis A. Aguirre^{1,*}, Agustín Hernández¹, Mariano Flores¹, Ernesto Cerna¹,
Jerónimo Landeros¹, Gustavo A. Frías¹ and Marvin K. Harris².

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología,
Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, 25315, México

²Texas A&M University, Department of Entomology, College Station, Texas
77843, USA

*Corresponding author; E-mail: luisaguirreu@yahoo.com.mx

Abstract. Fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) is a key pest of maize in Mexico. The development of genetically modified corn hybrids for resistance to this insect, with the inclusion of several genes coding for proteins Cry1Ab, Vip3Aa20 and mCry3A of *Bacillus thuringiensis* Berliner offer an alternative to control this pest. Resistance to fall armyworm of GM corn hybrids Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3110 and Agrisure® Viptera™ 3111 in four locations at Sinaloa for a three year period was evaluated. Damage evaluation showed that the maize with the Bt gene insertion were not economically affected by the pest compared to their respective isolines, which were seriously damaged. The results reaffirm the economic benefits provided by this technology and provide a baseline useful in resistance management program implementation.

Key words: *Bacillus thuringiensis*, δ -endotoxin, fall armyworm, leaf damage, Mexico, transgenic.

Introduction

Fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) is indigenous to the American continent (Sena et al., 2003) and reported to infest 186 host plants in North and Central America (Casmuz et al., 2010). Corn, *Zea mays* L. (Poaceae) is the primary host of economic importance wherever corn is grown in Mexico (Sena et al., 2003). Tropical and subtropical areas are the most seriously affected (Ortega, 1987; Rodriguez and Marin, 2008) with losses incurred from post-emergence to maturity (Ortega, 1987). Yield losses over 30% are common (Herrera, 1979; García-Gutiérrez et al., 2012), and in some cases total crop loss occurs (Silva-Aguayo et al., 2010).

A reliance on chemical control to manage pest populations has become increasingly ineffective as *S. frugiperda* now expresses resistance to several toxicological groupings of insecticides (Georghiou and Mellon, 1983; Yu, 1991; Pacheco-Covarrubias, 1993; Yu et al., 2003; Morillo and Notz, 2011).

The development of new control techniques led to the elaboration of genetically modified corn hybrids that expressed a *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt) crystal protein that, when consumed by lepidopterous larvae, proved fatal to European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae), Southwestern corn borer, *Diatraea grandiosella* Dyar (Lepidoptera: Crambidae), Sugarcane Borer, *Diatraea saccharalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae), corn earworm, *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) and fall armyworm, *S. frugiperda* (Abel et al., 2000; Castro et al., 2004). A stacking strategy that combines two or more Bt genes deployed in the same corn plant is now used to conserve insecticidal efficacy (Burkness et al., 2010; Niu et al., 2013; Yang et al., 2013).

Genetically modified corn (GM) hybrids with Bt genes have also been developed to resist a wider range of pests within Lepidoptera and Coleoptera (Buntin et al., 2004a, 2004b; Buntin, 2008; Duan et al., 2008; Hardke et al., 2011). These hybrids support a pest management strategy in modern agriculture (Fernandes et

al., 2007), although concerns from an economic, scientific and social standpoint remain in Mexico.

Mexico is the center of origin of over 61 native races of corn (Reyes, 1990; Matsuoka, 2005; CONABIO, 2006; Kato et al., 2009), and there is a concern that genetically modified corn could jeopardize those races (Kato-Yamakake, 2004; Serratos-Hernández et al., 2004; Turrent et al., 2010); however, Baltazar et al. (2015) suggest that coexistent measures such as spacial isolation could minimize contamination risks. More information is needed in Mexico to validate if the Bt Cry proteins of GM corn are effective in controlling the crop pests under different environmental conditions beyond those reported by Aguirre et al. (2015b) in the state of Tamaulipas and Aguirre et al. (2015a) in Sinaloa to control armyworm and corn earworm respectively.

Thus, this research had the objective to evaluate of foliar damage in corn hybrids with Cry1Ab, Vip3Aa20 and mCry3A toxins from *B. thuringiensis* to control *S. frugiperda* larvae at Sinaloa, Mexico during three growing seasons.

Materials and Methods

Location. Research was carried out at Oso Viejo, El Dorado and Camalote in the city of Culiacan and the city of Navolato, both in the state of Sinaloa, during the 2011-2013 autumn-winter growing seasons. Plots were planted under biosafety conditions, isolated at least 500 m from commercial corn plantings and planted at least 21 days later than recommended; delayed planting avoids cross-pollination with non-GM corn in accordance with government regulations for field tests with genetically modified corn (Halsey et al., 2005; LBOGM, 2005).

Hybrids. Bt corn hybrids were Agrisure™ 3000 GT with Cry1Ab and mCry3A proteins that provide resistance to Lepidoptera and Coleoptera, respectively; Agrisure® Viptera™ 3110 with Cry1Ab and Vip3A20 resistant to Lepidoptera and Agrisure® Viptera™ 3111 with proteins Cry1Ab, Vip3Aa20 and mCry3A resistant to Lepidoptera and Coleoptera were used in this research and compared with their

respective non GM isolines provided by Syngenta Agro SA de CV-Mexico (San Lorenzo 1009, Primer Piso, Colonia Del Valle, 03100, México, D.F.).

Study design. A randomized complete block design was used in each locality and date. In 2011, Agrisure™ 3000 GT and Agrisure® Viptera™ 3110, plus their isolines, were planted at Oso Viejo. In addition, each variety had a corresponding treatment that included chemical control (see Table 1), there were four replicate blocks per treatment, and they were planted on January 28.

In 2012, Agrisure Viptera™ 3111 and Agrisure™ 3000 GT hybrids, with and without insecticide treatments, were planted on February 15 at Navolato, Agrisure® Viptera™ 3111 was planted at El Dorado on February 19, also with and without insecticide applications (see Table 1). Only three replicates were planted in these areas.

In 2013. Agrisure® Viptera™ 3111 was planted at Camalote and Oso Viejo on March 14th and 15th, respectively, with three treatments (GM hybrid, isolate, isolate plus insecticide) and four replicates (see Table 1).

All designated to experimental plots during the three year period received an insecticide treatment for *S. frugiperda* if plants less than 20 cm reached a 10% infestation level, or plants 20 cm or more reached a 20% infestation level, at the rate of two applications per year (Table 1).

Table 1. Treatments used to evaluate leaf damage by fall armyworm in GM corn for three years in Sinaloa, México.

Year	Hybrids	Locality	Insecticide
2011	Agrisure™ 3000 GT	Oso Viejo	Without insecticide application
	Agrisure™ 3000 GT + ic	Oso Viejo	Permethrin- Lambda Cyhalothrin- Emamectin benzoate
	Isoline + ic	Oso Viejo	Permethrin- Lambda Cyhalothrin- Emamectin benzoate
	Isoline	Oso Viejo	Check
	Agrisure® Viptera™ 3110	Oso Viejo	Without insecticide application

	Agrisure® Viptera™ 3110 + ic	Oso Viejo	Permethrin- Lambda Cyhalothrin- Emamectin benzoate
	Isoline + ic	Oso Viejo	Permethrin- Lambda Cyhalothrin- Emamectin benzoate
	Isoline	Oso Viejo	Check
2012	Agrisure® Viptera™ 3111	El Dorado	Without insecticide application
	Agrisure® Viptera™ 3111+ ic	El Dorado	Permethrin- Lambda Cyhalothrin- Emamectin benzoate
	Isoline + ic	El Dorado	Permethrin- Lambda Cyhalothrin- Emamectin benzoate
	Isoline	El Dorado	Check
	Agrisure® Viptera™ 3111	Navolato	Without insecticide application
	Agrisure® Viptera™ 3111 + ic	Navolato	Permethrin- Lambda Cyhalothrin- Emamectin benzoate
	Isoline + ic	Navolato	Permethrin- Lambda Cyhalothrin- Emamectin benzoate
	Isoline	Navolato	Check
	Agrisure™ 3000 GT	Navolato	Without insecticide application
	Agrisure™ 3000 GT + ic	Navolato	Permethrin- Lambda Cyhalothrin- Emamectin benzoate
	Isoline + ic	Navolato	Permethrin- Lambda Cyhalothrin- Emamectin benzoate
	Isoline	Navolato	Check
2013	Agrisure® Viptera™ 3111	Camalote	Without insecticide application
	Isoline + ic	Camalote	Emamectin benzoate
	Isoline	Camalote	Check
	Agrisure® Viptera™ 3111	Oso Viejo	Without insecticide application
	Isoline + ic	Oso Viejo	Emamectin benzoate
	Isoline	Oso Viejo	Check

ic= insecticide control. Check= isoline without insecticide application. Insecticides were applied at the follow rates: permethrin: 400 mL/hectare, lambda Cyhalothrin: 500 mL/hectare, emamectin benzoate: 200 mL/hectare.

Each experimental plot consisted of 10 rows, each 5m long, with 0.8 m between rows with a 40-50 seed planting density. The seedlings were later thinned to 34 plants per row. The experimental plot was surrounded with a buffer area of six rows of conventional corn, and other buffer areas were planted between replicates, which were planted the same time as the experimental material. Agricultural management of the plot followed the technical guide for corn growers developed by Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2010).

Study variables. Foliar damage under natural infestation by fall armyworm was evaluated by taking 10 plants randomly in the four central rows at V6-V8 (2011), and V2-V4, V6-V8, and V10-V12 (2012 and 2013) phenological stages of the plant. A numerical scale (1-9), also known as the Davis scale, was used to evaluate foliar feeding damage by the pest (Davis et al., 1989, 1992; Mihm, 1983); in which 1= no foliar damage (highly resistant) up to 9= severe foliar damage (totally susceptible).

Statistical analysis. Before performing the analysis, data of percent of plants injured were transformed by arcsine square-root. A PROC ANOVA and a Tukey ($P<0.05$) multiple rank tests among treatments using the SAS/STAT (SAS Institute, 2002) software were conducted to analyze the results of percent of plants injured and numerical scale damage.

Results

Genetically modified hybrids at Oso Viejo in 2011 did not show significant ($P=0.05$) damage by fall armyworm. The isolines with insecticide treatment had also low significant damage scoring 1.85 and 1.22 (Davis scale), for Agrisure™ 3000 GT and Agrisure® Viptera™ 3110 respectively, with only some pinhole feeding marks on leaves and no significant differences between treatments ($P=0.05$). On the other hand, isolines without chemical treatment had an average of 4.20 (damage scale) in both hybrids presenting large holes and long lesions on leaves. Armyworm did not damage Agrisure® Viptera™ 3110 and Agrisure

3000GT with insecticide treatment, and 9.2% of plants were damaged in the latter without treatment. The non GM hybrids displayed damaged plants from 22.5 to 74.1%, including those in which chemical control was used (Table 2).

Table 2. Foliar damage and percent of plants injured by fall armyworm on genetically modified hybrids Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3110 and their respective isolines at Oso Viejo, Culiacan, Sinaloa, 2011.

Hybrids	Leaf damage ¹	Plants injured (%) ²
Agrisure™ 3000 GT	1.10 a	9.2 a
Agrisure™ 3000 GT + ic	1.00 a	0.0 a
Isoline + ic	1.85 a	32.2 b
Isoline	4.20 b	65.8 c
	<i>F</i> =17.33***	<i>F</i> =38.95***
Agrisure® Viptera™ 3110	1.00 a	0.0 a
Agrisure® Viptera™ 3110 + ic	1.00 a	0.0 a
Isoline + ic	1.22 a	22.5 b
Isoline	4.20 b	74.1 c
	<i>F</i> =13.22***	<i>F</i> =131.75***

¹Mean numerical scale. ²Data were arcsine square-root transformed. ic= insecticide control. Genetically modified hybrids and their respective isolines followed by same letter do not differ significantly (Tukey test; $P < 0.05$). *** Indicates significant contrast F value at $P < 0.001$, $df = 3, 15$.

At El Dorado and Navolato in 2012, results were similar to those in 2011. Agrisure® Viptera™ 3111 and Agrisure™ 3000 GT, including those with insecticide treatment, showed less foliar damage (<1.4 damage scale) and less injured plants, with some plants with pinholes and 13.0% injured plant only in the Agrisure™ 3000 GT treatment. The isolines of the GM hybrids were significantly different with 47.6- 70.4% of plants injured and damaged plants that varied from 2.89 to 4.97 on the Davis scale with large holes and long leaf lesions (Table 3).

Table 3. Foliar damage and percent of injured plants by fall armyworm on genetically modified corn hybrids Agrisure® Viptera™ 3111, Agrisure™ 3000 GT and their respective isolines at El Dorado and Navolato, Sinaloa, 2012.

Hybrids	Locality	Leaf damage ¹	Plants injured (%) ²
Agrisure® Viptera™ 3111	El Dorado	1.00 a	0.0 a
Agrisure® Viptera™ 3111 + ic	El Dorado	1.00 a	0.0 a
Isoline + ic	El Dorado	3.53 b	54.5 b
Isoline	El Dorado	2.89 b	47.6 b
		$F=10.35^{***}$	$F=20.54^{***}$
Agrisure® Viptera™ 3111	Navolato	1.07 a	2.0 a
Agrisure® Viptera™ 3111 + ic	Navolato	1.07 a	2.0 a
Isoline + ic	Navolato	3.20 b	48.0 b
Isoline	Navolato	4.90 c	70.4 c
		$F=11.52^{***}$	$F=15.56^{***}$
Agrisure™ 3000 GT	Navolato	1.34 a	13.0 a
Agrisure™ 3000 GT + ic	Navolato	1.13 a	9.3 a
Isoline + ic	Navolato	3.87 b	60.2 b
Isoline	Navolato	4.97 b	67.0 b
		$F=9.65^{***}$	$F=10.64^{***}$

¹Mean numerical scale. ²Data were arcsine square-root transformed. ic= insecticide control. Genetically modified hybrids and their respective isolines followed by same letter do not differ significantly (Tukey test; $P < 0.05$). *** Indicate significant contrast F value at $P < 0.001$, $df = 11, 35$.

Agrisure® Viptera™ 3111 in 2013, did not show feeding signs by armyworm at any of the test regions, whereas the isolines were heavily infested including those in which chemical control was applied with averages from 1.72-3.22 on the Davis scale and 31.5-67.0% of plants injured with large lesions (Table 4).

Table 4. Foliar damage and percent of injured plants by fall armyworm on genetically modified corn hybrids Agrisure® Viptera™ 3111 and their respective isolines at Camalote and Oso Viejo, Culiacan, Sinaloa, 2013.

Hybrids	Locality	Leaf damage ¹	Plants injured (%) ²
Agrisure® Viptera™ 3111	Camalote	1.00 a	0.0 a
Isoline + ic	Camalote	1.72 b	31.5 b
Isoline	Camalote	3.22 c	67.0 c
		$F=48.92^{***}$	$F=73.26^{***}$
Agrisure® Viptera™ 3111	Oso Viejo	1.00 a	0.0 a
Isoline + ic	Oso Viejo	1.80 b	33.5 b
Isoline	Oso Viejo	2.63 c	57.3 c
		$F=35.46^{***}$	$F=36.89^{***}$

¹Mean numerical scale. ²Data were arcsine square-root transformed. ic= insecticide control. Genetically modified hybrids and their respective isolines followed by same letter do not differ significantly (Tukey; $P < 0.05$). *** Indicate significant contrast F value at $P < 0.001$, $df = 8, 35$.

Discussion

Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3110 and Agrisure® Viptera™ 3111 hybrids were resistant to *S. frugiperda* compared with their severely injured respective isolines during the three year research study in the different Sinaloa corn growing areas. These results are similar to those found by Aguirre et al. (2015b), in the state of Tamaulipas testing the same Bt hybrids and with Piña and Solleiro (2013) who mention that experimental tests of GM in different areas of Mexico are efficacious in controlling key pests of corn.

This research shows that GM Bt corn hybrids provide season long protection from *S. frugiperda*, whereas chemical control only protects the plant when the insecticide residual is present and a failure in timing of application(s) also represents a risk in control efficacy. Piña and Solleiro (2013) report that protecting non-Bt corn in different areas of Mexico from infestations of corn earworm and fall armyworm required from 3 to 5 insecticide applications and an increase from 720g to 3.6 kg of active ingredient per hectare.

Researchers in other parts of the world report similar results of Bt corn with the Cry1Ab toxin on controlling fall armyworm with respect to conventional hybrids with and without insecticide control (Buntin et al., 2001; Buntin et al., 2004a, Buntin et al., 2004b; Buntin, 2008; Hardke et al., 2011; Ríos-Díez et al., 2012).

Hybrids with the Bt toxin used in this research showed similar effects in controlling the pest: however, Agrisure™ 3000 GT, in all areas tested, had more injured plants and larger lesion size, which is considered due to this hybrid having only one Bt toxin (Cry1Ab) for Lepidoptera control while the other tested hybrids have two stacked Bt genes that provide better resistance to the pest. Some hybrids with only one Bt gene reportedly have good armyworm control but limited efficacy (Adamczyk and Mahaffey, 2008; Huang et al., 2011) because they do not produce enough “high dosage” Bt toxin (except those with the Cry 1F toxin) (Chilcutt et al., 2007; Buntin, 2008; Hardke et al., 2011). Agrisure® Viptera™ 3110 and Agrisure® Viptera™ 3111 have two toxins (pyramid events) for Lepidoptera control, delta endotoxin Cry1Ab, and the vegetative insecticide protein Vip3Aa20, which gives better protection to the crop. This management strategy controls a diversity of pests and the pyramid events are more efficacious in controlling *S. frugiperda* (Burkness et al., 2010; Niu et al., 2013; Yang et al., 2013).

Agrisure® Viptera™ 3110 and Agrisure® Viptera™ 3111 events provided better protection to foliar damage in all localities; the latter, in the two year period tested, prove the resistance character to *S. frugiperda* remains effective; Niu et al. (2013), mentions that this GM hybrid can be used to manage resistance to fall armyworm resistant to other toxins such as Cry1F. They also stated that Agrisure® Viptera™ 3111 is highly effective in controlling the pest and speculate the hybrid produces a “high dosage” of the toxin.

Planting dates of experimental plots were at least 21 days later than the recommended date in Sinaloa. This requirement was imposed by regulatory authorities in order to avoid cross pollination with conventional corn in the area. This condition put the experimental plots in this research under more pest pressure that came from all surrounding corn fields and others like sorghum; despite these overly harsh conditions, the Bt toxin insertion in the crop reduced

the infestation level and damage. If these GM hybrids are planted on the recommended planting date under optimal conditions to the crop, these Bt hybrids can be expected to perform well. Such a corn pest management program will reduce the use of chemical insecticides, allow the crop to better express its genetic potential and conserve yield and grain quality by decreasing foliar damage.

Acknowledgments

To Syngenta Agro S.A de C.V. de México, which provided the genetic material that, made this research possible.

References

- Abel CA, Wilson RL, Wiseman BR, White WH, Davis FM (2000) Conventional Resistance of Experimental Maize Lines to Corn Earworm (Lepidoptera: Noctuidae), Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae), Southwestern Corn Borer (Lepidoptera: Crambidae), and Sugarcane Borer (Lepidoptera: Crambidae). *J Econ Entomol* 93(3): 982-988. doi: <http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493-93.3.982>
- Adamczyk Jr JJ, Mahaffey JS (2008) Efficacy of Vip3A and Cry1Ab transgenic traits in cotton against various lepidopteran pests. *Fla Entomol* 91(4): 570-575. doi: <http://dx.doi.org/10.1653/0015-4040-91.4.570>
- Aguirre LA, Hernández A, Flores M, Frías GA, Cerna E, Landeros J, Harris MK (2015a) Genetically modified maize resistant to corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Sinaloa, Mexico. *Fla Entomol.* 98(3):821-826.
- Aguirre LA, Hernández A, Flores M, Pérez-Zubiri R, Cerna E, Landeros J, Frías GA (2015b) Comparación del Nivel de Daño de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en Plantas de Maíz Genéticamente Modificado y Convencional en el Norte de México. *Southwest Entomol* 40(1): 171-178. doi: <http://dx.doi.org/10.3958/059.040.0115>
- Baltazar BM, Castro EL, Espinoza BA, de la Fuente MJM, Garzón TJA, González GJ, Gutiérrez MA, Guzmán RJL, Heredia DO, Horak MJ, Madueño MJ, Schapaugh WA, Stojšin D, Uribe MHR, Zavala GF (2015) Pollen-Mediated Gene Flow in Maize: Implications for Isolation Requirements and Coexistence in Mexico, the Center of Origin of Maize. *PLoS ONE* 10(7): e0131549. doi:10.1371/journal.pone.0131549
- Buntin GD (2008) Corn expressing Cry1Ab or Cry1F endotoxin for fall armyworm and corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) management in field corn for grain

- production. Fla Entomol 91(4): 523-530. doi: <http://dx.doi.org/10.1653/0015-4040-91.4.523>
- Buntin GD, Dewey LR, Wilson DM, McPherson RM (2001) Evaluation of Yieldgard transgenic resistance for control of fall armyworm and corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) on corn. Fla Entomol 84(1): 37-42. doi: [10.2307/3496660](http://dx.doi.org/10.2307/3496660)
- Buntin GD, All JN, Lee RD, Wilson DM (2004a) Plant-Incorporated *Bacillus thuringiensis* resistance for control of fall armyworm and corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Corn. J Econ Entomol 97(5): 1603-1611. doi: <http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493-97.5.1603>
- Buntin GD, Flanders KL, Lynch RE (2004b) Assessment of Experimental Bt Events Against Fall Armyworm and Corn Earworm in Field Corn. J Econ Entomol 97(2): 259-264. doi: <http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493-97.2.259>
- Burkness EC, Dively G, Patton T, Morey AC, Hutchison WD (2010) Novel Vip3A *Bacillus thuringiensis* (Bt) maize approaches high-dose efficacy against *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) under field conditions. GM Crops 1(5): 337-343. doi: <http://dx.doi.org/10.4161/gmcr.1.5.14765>
- Casmuz A, Juárez ML, Socías MG, Murúa MG, Prieto S, Medina S, Willink E, Gastaminza G (2010) Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Rev Soc Entomol Argent 69(3-4): 209-231.
- Castro BA, Leonard BR, Riley TJ (2004) Management of feeding damage and survival of southwestern corn borer and sugarcane borer (Lepidoptera: Crambidae) with *Bacillus thuringiensis* transgenic field corn. J Econ Entomol 97(6): 2106-2116. doi: <http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493-97.6.2106>
- Chilcutt CF, Odvody GN, Correa JC, Remmers J (2007) Effects of *Bacillus thuringiensis* transgenic corn on corn earworm and fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) densities. J Econ Entomol 100(2): 327-334. doi: [http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493\(2007\)100\[327:EOBTTC\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1603/0022-0493(2007)100[327:EOBTTC]2.0.CO;2)
- (CONABIO) Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (2006) "Elementos para la determinación de centros de origen y centros de diversidad en general y el caso específico de la liberación experimental de maíz transgénico al ambiente en México". Documento base preparado por la Coordinación Nacional de la CONABIO para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, D.F. En: [Http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Doc_CdeOCdeDG.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Doc_CdeOCdeDG.pdf)
- Davis FM, Ng SS, Williams WP (1992) Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm. Mississippi Agricultural & Forestry Experiment Station. Technical Bulletin.
- Davis FM, Williams WP, Wiseman BR (1989) Methods used to screen maize for and to determine mechanisms of resistance to the southwestern corn borer and fall armyworm. In: Proceedings, Toward Insect Resistant Maize for the Third World. International Symposium on Methodologies for Developing Host Plant Resistance to Maize Insects, 9-14 March 1987, International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), México, D. F., pp. 101-108.

- Duan JJ, Teixeira D, Huesing JE, Jiang C (2008) Assessing the Risk to Nontarget Organisms from *Bt* Corn Resistant to Corn Rootworms (Coleoptera: Chrysomelidae): Tier-I Testing with *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthocoridae). *Environ Entomol* 37(3): 838-844. doi: [http://dx.doi.org/10.1603/0046-225X\(2008\)37\[838:ATRTNO\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1603/0046-225X(2008)37[838:ATRTNO]2.0.CO;2)
- Fernandes OA, Faria M, Martinelli S, Schmidt F, Ferreira CV, Moro G (2007) Short-term assessment of Bt maize on non-target arthropods in Brazil. *Sci agric (Piracicaba, Brazil)* 64(3): 249-255. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162007000300006>
- García-Gutiérrez C, González-Maldonado MB, Cortez-Mondaca E (2012) Uso de enemigos naturales y biorracionales para el control de plagas de maíz. *Ra Ximhai*. 8(3): 57-70.
- Georghiou GP, Mellon RB (1983) Pesticide resistance in time and space. In: Georghiou GP, Saito T (eds) *Pest Resistance to Pesticides*, Plenum Press, New York, pp 1-46.
- Halsey ME, Remund KM, Davis CA, Qualls M, Eppard PJ, Berberich SA (2005) Isolation of Maize from Pollen Mediated Gene Flow by Time and Distance. *Crop Science* 45(6): 2172-2185. doi:10.2135/cropsci2003.0664
- Hardke JT, Leonard BR, Huang F, Jackson RE (2011) Damage and survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic field corn expressing *Bacillus thuringiensis* Cry proteins. *Crop Protection* 30(2): 168-172. doi: 10.1016/j.cropro.2010.10.005
- Herrera AJ (1979) Principales Plagas del Maíz. Boletín Especial de la Dirección de Agricultura y Ganadería del Perú.
- Huang F, Andow DA, Buschman LL (2011) Success of the high dose/refuge resistance management strategy after 15 years of Bt crops in North America. *Entomol Exp Appl* 140(1): 1-16. doi:10.1111/j.1570-7458.2011.01138.x
- (INIFAP) Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (2010) Centro de Investigación Regional del Noreste (CIRNO). Campo Experimental Valle de Culiacán (CEVACU). Maíz, pp. 41-47. In: Guía técnica para el área de influencia del Campo Experimental Valle de Culiacán. Culiacán, Sinaloa; México.
- Kato TA, Mapes C, Mera LM, Serratos JA, Bye RA (2009) Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México.
- Kato-Yamakake TA (2004) Variedades transgénicas y el maíz nativo en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 1(2): 101-109.
- (LBOGM) Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (2005) Diario Oficial de la Federación, 18 marzo 2005. México.
- Matsuoka Y (2005) Origin matters: Lessons from the search for the wild ancestor of maize. *Breeding Sci.* 55(4):383-390. <http://doi.org/10.1270/jsbbs.55.383>
- Mihm JA (1983) Efficient Mass-Rearing and Infestation Techniques to Screen for Host Plant Resistance to Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), México, D.F.

- Morillo F, Notz A (2001) Resistencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambdahalotrina y metomil. *Entomotropica* 16(2): 79-87.
- Niu Y, Meagher Jr RL, Yang F, Huang F (2013) Susceptibility of field populations of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) from Florida and Puerto Rico to purified Cry1F and corn leaf tissue containing single and pyramided Bt genes. *Fla Entomol* 96(3): 701-713. doi: <http://dx.doi.org/10.1653/024.096.0302>
- Ortega AC (1987) Insectos nocivos del maíz: una guía para su identificación en el campo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México.
- Pacheco-Covarrubias JJ (1993) Monitoring insecticide resistance in *Spodoptera frugiperda* populations from the Yaqui Valley, Son., Mexico. *Resistant Pest Management, Newsletter* 5: 3-4.
- Piña S, Solleiro JL (2013) México. In: Solleiro RJL, Castañón IR (eds) *Introducción al ambiente del maíz transgénico: Análisis de ocho casos en Iberoamérica*, México: AgroBio México y CambioTec, México, pp 341-410.
- Reyes CP (1990) El maíz y su cultivo. AGT-EDITOR S.A. México.
- Ríos-Díez JD, Siegfried B, Saldamando-Benjumea CI (2012) Susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) strains from Central Colombia to Cry1Ab and Cry1Ac entotoxins of *Bacillus thuringiensis*. *Southwest Entomol* 37(3): 281-293. doi: <http://dx.doi.org/10.3958/059.037.0304>
- Rodríguez DLA, Marín AJ (2008) Insectos plaga y su control. In: Rodríguez MR, De León C (eds) *El cultivo del maíz. Temas selectos 1*, Colegio de postgraduados, Mundi Prensa, México, pp 29-46.
- SAS Institute. 2002. User Guide for the SAS System Version 9.0 for Microsoft Windows, Cary, North Carolina, USA.
- Sena Jr. DG, Pinto FAC, Queiroz DM, Viana PA (2003) Fall Armyworm Damaged Maize Plant Identification using Digital Images. *Biosystems Eng* 85(4): 449-454. doi:10.1016/S1537-5110(03)00098-9
- Serratos-Hernández JA, Islas-Gutiérrez F, Buendía-Rodríguez E, Berthaud J (2004) Gene flow scenarios with transgenic maize in Mexico. *Environ. Biosafety Res.* 3(3):149157. doi: 10.1051/ebr:2004013
- Silva-Aguayo G, Rodríguez-Maciel JC, Lagunes-Tejeda A, Landeral-Cázares C, Alatorre-Rosas R, Shelton AM, Blanco CA. 2010. Bioactivity of Boldo (*Peumus boldus* Molina) (Laurales: Monimiaceae) on *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) and *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae). *Southwest Entomol* 35(3): 215-231. doi: <http://dx.doi.org/10.3958/059.035.0301>
- Turrent FA, Cortés FJI, Espinosa CA, Mejía AH, Serratos HJA (2010) ¿Es ventajosa para México la tecnología actual de maíz transgénico? *Rev Mex Cienc Agríc* 1(4): 631-646.
- Yang F, Qureshi JA, Leonard BR, Head GP, Niu Y, Huang F (2013) Susceptibility of Louisiana and Florida populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to pyramided Bt corn containing Genuity® VT Double Pro™ and SmartStax™ traits. *Fla Entomol* 96(3): 714-723. doi: <http://dx.doi.org/10.1653/024.096.0303>

- Yu SJ (1991) Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). Pestic Biochem Phys 39(1): 84-91. doi: 10.1016/0048-3575(91)90216-9
- Yu SJ, Nguyen SN, Abo-Elghar GE (2003) Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). Pestic Biochem Phys 77(1): 1-11. doi: 10.1016/S0048-3575(03)00079-8

Genetically modified maize resistant to corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Sinaloa, Mexico

Artículo publicado en la Revista *Florida Entomologist* 98(3):821-826. 2015.

Running head: Aguirre et al.: Resistance of Bt maize to corn earworm in Mexico

Luis A. Aguirre^{1,*}, Agustín Hernández¹, Mariano Flores¹, Gustavo A. Frías¹,
Ernesto Cerna¹, Jerónimo Landeros¹, and Marvin K. Harris²

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Departamento de Parasitología,
Calzada Antonio Narro 1923, Buenavista, Saltillo, Coahuila, 25315, México

²Texas A&M University, Department of Entomology, College Station, Texas
77843, USA

*Corresponding author; E-mail: luisaguirreu@yahoo.com.mx

Abstract

Helicoverpa zea (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae), the corn earworm, is a key pest causing damage to corn *Zea mays* L. (Poales: Poaceae). The development of hybrids expressing Cry1Ab, Vip3Aa20, and mCry3A protein of *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt) (Bacillales: Bacillaceae) is an option to control this insect. Corn hybrids Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3110, and Agrisure® Viptera™ 3111 were tested for corn earworm suppression in the agricultural region of Sinaloa during the 2011, 2012, and 2013 autumn–winter growing seasons, and compared with their respective isolines. Gallery length on the ear and the number of damaged ears were evaluated. The genetically modified hybrids demonstrated the effectiveness of inserted proteins to confer resistance to the corn earworm by killing the pest or reducing its growth and

damage to the ear. Based on the results, Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3110, and Agrisure® Viptera™ 3111 are useful elements for an integrated pest management program on corn in Sinaloa, Mexico.

Key Words: *Bacillus thuringiensis*; δ -endotoxin; *Helicoverpa zea*; transgenic

Resumen

El gusano elotero, *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae), es una de las principales plagas que causa daño al maíz *Zea mays* L. (Poales: Poaceae). El desarrollo de híbridos que expresan las proteínas Cry1Ab, Vip3Aa20 y mCry3A de *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt) (Bacillales: Bacillaceae), son una opción de control para este insecto. Se evaluaron los híbridos de maíz Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3110 y Agrisure® Viptera™ 3111 y se compararon con sus respectivas isolíneas para el control de gusano elotero, en la región agrícola de Sinaloa durante el ciclo otoño invierno 2011, 2012 y 2013. Se evaluó la longitud de galería en la mazorca y el número de mazorcas dañadas. Los híbridos genéticamente modificados demostraron la eficacia de las proteínas insertadas en el maíz sobre el gusano elotero, observándose que estos híbridos le confieren resistencia al ataque de esta plaga matándola o reduciendo su crecimiento causando menor daño al elote. Con base a los resultados, los eventos Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3110 y Agrisure® Viptera™ 3111, son elementos útiles para ser incorporados en un programa de manejo integrado de plagas de maíz en Sinaloa, México.

Palabras Clave: *Bacillus thuringiensis*; δ -endotoxina; *Helicoverpa zea*; transgénico

Introduction

The use of recombinant DNA technology offers new options in agricultural production strategies. The development of genetically modified (GM) hybrids includes using constructs for insect resistance to Lepidoptera and Coleoptera (Bruck et al. 2006) based on the δ -endotoxin produced by *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt) (Bacillales: Bacillaceae) that provide a new tool for pest control in crop production (Fernandes et al. 2007).

Worldwide, corn is the crop in which more GM products have been developed than any other crop, with 133 hybrids produced, of which 108 provide insect resistance primarily to Lepidoptera and Coleoptera. In Mexico, from 2009 to date, 45 products resistant to insects have been approved, but only for research purposes or as pilot test releases (ISAAA 2014).

Zea mays L. (Poales: Poaceae) is autochthonous to Mexico (CONABIO 2006), and substantial agricultural domestication occurred well before the modern era. Subsequent breeding and selection of this corn germplasm worldwide resulted in Mexico now producing 22,663,953 tons in 2013 of which the states of Sinaloa and Jalisco account for 3,627,777 and 3,303,498 tons, respectively (SAGARPA-SIAP 2014).

Corn grown in Mexico is often affected by the corn earworm, *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae), which damages ear, reduces yield, and increases cob rot (Ortega 1987) by providing an inoculation court for establishment of fungal diseases (Ortega 1987; Wu 2006; Aguirre et al. 2014). The fungi produce mycotoxins harmful to human and animal health (Bakan et al. 2002), which are most important in growing areas with high relative humidity like Sinaloa where cob rot caused by *Fusarium* species (Hypocreales: Nectriaceae) has a direct effect on yield, causing losses over 30% (García et al. 2012).

Bt corn hybrids encoding Cry1Ab, Vip3Aa20, and mCry3A proteins have been approved for study under experimental conditions in Mexico, and the objective of this research was to evaluate the resistance of GM corn hybrids to corn earworm in Sinaloa, Mexico.

Materials and Methods

Research was carried out at Oso Viejo, El Dorado, and Camalote in the city of Culiacan and in the city of Navolato, both in the state of Sinaloa, Mexico, during the 2011–2013 autumn–winter growing seasons. Plots were planted under biosafety conditions, isolated by at least 500 m from commercial corn plantings, and planted at least 21 d later than recommended; delayed planting avoids cross-pollination with non-GM corn in accordance with government regulations for field tests with GM corn (Halsey et al. 2005; LBOGM 2005). Bt corn hybrids used in these tests were Agrisure™ 3000 GT with Cry1Ab and mCry3A proteins that provide resistance to Lepidoptera and Coleoptera, respectively; Agrisure® Viptera™ 3110 with Cry1Ab and Vip3A20 providing resistance to Lepidoptera, and Agrisure® Viptera™ 3111 with proteins Cry1Ab and Vip3Aa20 providing resistance to Lepidoptera and mCry3A to Coleoptera. These corn hybrids were compared with their respective non-GM isolines provided by Syngenta Agro SA de CV.

A randomized complete block design was used in each locality and date. In 2011, Agrisure™ 3000 GT and Agrisure® Viptera™ 3110, plus their isolines, were planted at Oso Viejo. In addition, each variety had a corresponding treatment that included chemical control (see Table 1); there were 4 replicate blocks per treatment, and they were planted on 28 Jan. In 2012, Agrisure Viptera™ 3111 and Agrisure™ 3000 GT hybrids, with and without insecticide treatments, were planted on 15 Feb at Navolato, and Agrisure® Viptera™ 3111 was planted at El Dorado on 19 Feb, also with and without insecticide applications. Only 3 replicates were planted in these areas. In 2013, Agrisure® Viptera™ was planted at Camalote and Oso Viejo on 14 and 15 March, respectively, with 3 treatments (GM hybrid, isolate, isolate plus insecticide) and 4 replicates (see Table 1).

All designated experimental plots during the 3 yr period received an insecticide treatment for *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) if plants less than 20 cm reached a 10% infestation level, or plants 20 cm or more

reached a 20% infestation level. One application was made in 2011, and 2 applications in 2012 and 2013 (Table 1).

Each experimental plot consisted of 10 rows, each 5 m long, with 0.8 m between rows with 40 to 50 seeds per row. The seedlings were later thinned to 34 plants per row. The experimental plot was surrounded with a buffer area of 6 rows of conventional corn, and other buffer areas were planted between replicates, which were planted the same time as the experimental material. Agricultural management of the plot followed the technical guide for corn growers developed by Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-CIRNO 2010).

Ear damage evaluation under natural infestation by *H. zea* was performed just before harvest by taking 10 ears randomly from each of the 4 central rows. Length of gallery (cm) was measured starting from the ear tip, and the percentage of ears damaged by corn earworm was calculated.

Before the statistical analysis, percentage data of ears with damage were transformed by arcsine square root. A PROC ANOVA test was conducted to evaluate ear damage and number of ears with damage, and a mean comparison for treatments was done with a Fisher LSD test ($P < 0.05$) using SAS/STAT (SAS 2002; Version 9.0, SAS Institute, Cary, North Carolina, USA).

Results

Ear damage caused by corn earworm in each of the GM hybrids and isolines (Table 2) showed that GM hybrids suffered significantly less ($P < 0.05$) feeding damage by earworm than isolines (Fig. 1). Also, GM hybrids experienced a significantly lower ($P < 0.05$) proportion of ears with damage relative to the isoline controls (Figs. 1–3).

Agrisure™ 3000 GT and Agrisure® Viptera™ 3110 hybrids had significantly less ($P < 0.05$) corn earworm damage to ears than their respective isolines at Oso Viejo in 2011; the latter hybrid also had smaller galleries, < 1.0 cm, indicating better protection than the former hybrid to the pest (Table 2). Evaluation of the

proportion of ears damaged showed difference between the GM hybrid Agrisure™ 3000 GT (62.7%) and the rest of the treatments, where the same hybrid with chemical control had 78.7% damaged ears and the isolines showed 80.8 and 71.6% damage with and without chemical treatment, respectively. However, percentage ear damage was lower in the GM corn line than the isolines ($F = 2.66$; $df = 3, 15$; $P = 0.0959$). Agrisure® Viptera™ 3110 with and without insect control, on the other hand, had less than 25% damaged ears and were statistically different ($P < 0.05$) from their respective isolines, which showed more than 71% ears with damage ($F = 19.39$; $df = 3, 15$; $P < 0.0001$) (Fig. 1).

Similar results were found at El Dorado and Navolato in 2012, where lesion size was significantly ($P < 0.05$) smaller in the GM hybrids than in the isolines. Galleries in GM hybrids were less than 1 cm long, as compared with their respective isolines, including the ones with insecticide treatment, showing galleries from 2 to 5 cm long (Table 2). The proportions of ears with damage were significantly less ($P < 0.05$). Agrisure® Viptera™ 3111 (El Dorado: $F = 5.25$; $df = 3, 11$; $P = 0.0270$; Navolato: $F = 37.90$; $df = 3, 11$; $P < 0.0001$) and Agrisure™ 3000 GT (Navolato: $F = 11.50$; $df = 3, 11$; $P = 0.0028$) had less than 50% ears with damage, whereas the isolines, including the ones with insecticide treatment, showed from 70 to 90% corn earworm–damaged ears (Fig. 2).

Agrisure® Viptera™ 3111 in 2013 at both Oso Viejo and Camalote had galleries less than 1 cm long and were statistically shorter ($P < 0.05$) than their respective isolines with galleries 2 to 4 cm long (Table 2). The proportion of ears damaged also was less in the GM hybrids relative to their isolines. At Camalote, less than 22% of the ears were damaged, which was significantly less ($F = 21.76$; $df = 2, 11$; $P = 0.0004$) than in the isolines. At Oso Viejo, only 9% were damaged, significantly ($F = 32.68$; $df = 2, 11$; $P < 0.0001$) less than in non-GM isolines (Fig. 3).

Discussion

Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3110, and Agrisure® Viptera™ 3111 hybrids showed resistance to corn earworm when compared with their isolines. The GM corn caused high mortality to the pest and reduced ear damage, showing that the Bt genes would be an excellent tool to prevent infestation by *H. zea*. Mummified 1st and 2nd instars were found on the GM hybrids, whereas fully developed larvae were routinely observed on the isolines lacking the Bt insertion (unpublished data).

These results are similar to those reported by Storer et al. (2001), who mentioned that Bt corn with the Cry1Ab (MON810 and Bt11) protein decreased corn earworm damage, reduced larval growth and development, and produced few adults due to mortality of larvae. They also suggested that for more effective reduction of pest density, Bt corn hybrids should be planted over wide areas. Buntin et al. (2004), in a 3 yr study with Bt corn in Georgia and Alabama, USA, found less ear infestation and damage in the GM hybrids than the non-GM corn. Similarly, Buntin (2008), reported that corn with the Cry1Ab (MON 810) protein displayed less infestation by the pests than non-GM corn. Reay-Jones et al. (2009) evaluated yield of several GM corn hybrids and noted that genetically modified hybrids had less damage than the non-GM isolines.

In these studies, chemical control did not prevent corn earworm damage because larvae that escape the insecticide and enter the ear are protected by the ear bracts from surface toxins. Insecticide in these areas does control *S. frugiperda* but not *H. zea*. The advantage of the GM hybrids is that they provide protection to both pests. Farias et al. (2013) noted that *H. zea* is not controlled by insecticides that target *S. frugiperda* and stated that insecticide applications targeting corn earworm should coincide with oviposition to kill hatching larvae before ear entry occurs.

All evaluated GM hybrids showed similar levels of protection from corn earworm under natural infestation; however, Agrisure™ 3000 GT experienced more damaged ears and bigger lesions than Agrisure® Viptera™ 3110 and Agrisure®

Viptera™ 3111. This may be due to the latter having two Bt toxins inserted for Lepidoptera control (Cry1Ab δ -endotoxin and Vip3Aa20 vegetative insecticide protein), whereas the former has only the Cry1Ab for lepidopteran control.

Based on these results, Bt corn hybrids used in this research can be incorporated in an integrated pest management system for corn production at Sinaloa. However, they should be evaluated in other areas of Mexico because different environmental conditions may affect efficacy. Pest populations are variable, and susceptibility of different geographical populations to the Bt toxins may depend on biotic and abiotic factors (Zenner de Polanía et al. 2008). This variability can also be related to the hybrids used, due to the expression differences of the Cry proteins among hybrids (Farias et al. 2013). Also, co-occurring crops may affect pest pressure; agricultural areas that contain multiple Bt crops that target a shared pest (i.e., cotton and *H. zea*) warrant special attention due to increased risks that may occur from factors like cross-resistance that may arise to the Bt protein. This variability must be considered in developing and implementing insect control strategies with GM corn in different geographic regions (Monnerat et al. 2006).

Acknowledgments

The authors acknowledge Syngenta Agro S.A de C.V. for providing the genetic hybrids and advising in the use of them in this research.

References Cited

- Aguirre ULA, Frías TGA, Hernández JA, Flores DM, Cerna CE, Landeros FJ, Ochoa FYM. 2014. Interaction between *Helicoverpa zea* damage with corncob diseases on genetically modified corn in Sinaloa, México. *Journal of Life Sciences* 8: 329-334.
- Bakan B, Melcion D, Richard-Molard D, Cahagnier B. 2002. Fungal growth and *Fusarium* mycotoxin content in isogenic traditional maize and genetically modified maize grown in France and Spain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50: 728-731.

- Bruck DJ, Lopez DM, Lewis CL, Prasifka RJ, Gunnarson DR. 2006. Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn and permethrin on nontarget arthropods. *Journal of Agricultural and Urban Entomology* 23: 111-124.
- Buntin GD. 2008. Corn expressing Cry1Ab or Cry1F endotoxin for fall armyworm and corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) management in field corn for grain production. *Florida Entomologist* 91: 523-530.
- Buntin GD, Flanders KL, Lynch RE. 2004. Assessment of experimental Bt events against fall armyworm and corn earworm in field corn. *Journal of Economic Entomology* 97: 259-264.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2006. Elementos para la determinación de centros de origen y centros de diversidad en general y el caso específico de la liberación experimental de maíz transgénico al ambiente en México. Documento base preparado por la Coordinación Nacional de la CONABIO para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, D.F. http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Doc_CdeOCdeDG.pdf (last accessed 25 Sep 2014).
- Farias JR, Costa EC, Guedes JVC, Arbage AP, Neto AB, Bigolin M, Pinto FF. 2013. Managing the sugarcane borer, *Diatraea saccharalis*, and corn earworm, *Helicoverpa zea*, using Bt corn and insecticide treatments. *Journal of Insect Science* 13: 1-10.
- Fernandes OA, Faria M, Martinelli S, Schmidt F, Ferreira CV, Moro EG. 2007. Short-term assessment of Bt maize on non-target arthropods in Brazil. *Scientia Agricola* 64: 249-255.
- García GC, Lizárraga SGJ, Armenta BAD, Apodaca SMA. 2012. Efecto de productos biorracionales en la incidencia de hongos y concentración de aflatoxinas en maíz blanco cultivado en Sinaloa, México. *Revista Científica UDO Agrícola* 12: 1-9.
- Halsey ME, Remund KM, Davis CA, Qualls M, Eppard PJ, Berberich SA. 2005. Isolation of Maize from Pollen Mediated Gene Flow by Time and Distance. *Crop Science*. 45: 2172-2185.
- INIFAP-CIRNO (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional del Noreste) 2010. Maíz, pp. 41-47. *In: Guía técnica para el área de influencia del Campo Experimental Valle de Culiacán*. Culiacán, Sinaloa; México.
- ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications). 2014. GM Approval Database. ISAAA, Ithaca, New York, USA. <http://www.isaaa.org> (last accessed 14 Jul 2014).
- LBOGM (Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados). 2005. Diario Oficial de la Federación. 18 de marzo de 2005. México.
- Monnerat R, Martins E, Queiroz P, Ordúz S, Jaramillo G, Benintende G, Cozzi J, Real MD, Martinez-Ramirez A, Rausell C, Cerón J, Ibarra JE, Del Rincón-Castro MC, Espinoza AM, Meza-Basso L, Cabrera L, Sánchez J, Soberon M, Bravo A. 2006. Genetic variability of *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) populations from Latin America is associated with

- variations in susceptibility to *Bacillus thuringiensis* Cry toxins. *Applied and Environmental Microbiology* 72: 7029-7035.
- Ortega AC. 1987. *Insectos nocivos del maíz: una guía para su identificación en el campo*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), México, D.F.
- Reay-Jones FPF, Wiatrak P, Greene JK. 2009. Evaluating the performance of transgenic corn producing *Bacillus thuringiensis* toxins in South Carolina. *Journal of Agricultural and Urban Entomology* 26: 77-86.
- SAS. 2002. Version 9.0. SAS Institute, Cary, North Carolina, USA.
- SAGARPA–SIAP (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación – Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Mexico). 2014. <http://www.siap.gob.mx> (last accessed 14 Aug 2014).
- Storer NP, Van Duyn JW, Kennedy GG. 2001. Life history traits of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) on non-Bt and Bt transgenic corn hybrids in eastern North Carolina. *Journal of Economic Entomology* 94: 1268-1279.
- Wu F. 2006. Mycotoxin reduction in Bt corn: potential economic, health, and regulatory impacts. *Transgenic Research* 15: 277-289.
- Zenner de Polanía I, Álvarez RJA, Arévalo MHA, Mejía CR, Bayona RMA. 2008. Susceptibilidad de cuatro nóctuidos plaga (Lepidoptera) al gene *Cry1Ac* del *Bacillus thuringiensis* incorporado al algodónero. *Revista Colombiana de Entomología* 34: 41-50.

Table 1. Treatments used to evaluate ear damage by corn earworm, *Helicoverpa zea*, in genetically modified corn grown for 3 yr in Sinaloa, Mexico.

Year	Genetic material ^a	Locality	Insecticide ^{b,c}	
2011	Agrisure™ 3000 GT	Oso Viejo	without insecticide application	
	Agrisure™ 3000 GT + ic	Oso Viejo	permethrin–lambda cyhalothrin–emamectin benzoate	
	isoline + ic	Oso Viejo	permethrin–lambda cyhalothrin–emamectin benzoate	
	isoline	Oso Viejo	check	
	Agrisure® Viptera™ 3110	Oso Viejo	without insecticide application	
	Agrisure® Viptera™ 3110 + ic	Oso Viejo	permethrin–lambda cyhalothrin–emamectin benzoate	
	isoline + ic	Oso Viejo	permethrin–lambda cyhalothrin–emamectin benzoate	
	isoline	Oso Viejo	check	
	2012	Agrisure® Viptera™ 3111	El Dorado	without insecticide application
		Agrisure® Viptera™ 3111+ ic	El Dorado	permethrin–lambda cyhalothrin–emamectin benzoate
isoline + ic		El Dorado	permethrin–lambda cyhalothrin–emamectin benzoate	
isoline		El Dorado	check	
Agrisure® Viptera™ 3111		Navolato	without insecticide application	
Agrisure® Viptera™ 3111 + ic		Navolato	permethrin–lambda cyhalothrin–emamectin benzoate	

Year	Genetic material ^a	Locality	Insecticide ^{b,c}
	isoline + ic	Navolato	permethrin–lambda cyhalothrin–emamectin benzoate
	isoline	Navolato	check
	Agrisure™ 3000 GT	Navolato	without insecticide application
	Agrisure™ 3000 GT + ic	Navolato	permethrin–lambda cyhalothrin–emamectin benzoate
	isoline + ic	Navolato	permethrin–lambda cyhalothrin–emamectin benzoate
	isoline	Navolato	check
2013	Agrisure® Viptera™ 3111	Camalote	without insecticide application
	isoline + ic	Camalote	emamectin benzoate
	isoline	Camalote	check
	Agrisure® Viptera™ 3111	Oso Viejo	without insecticide application
	isoline + ic	Oso Viejo	emamectin benzoate
	isoline	Oso Viejo	Check

^aic = insecticide control

^bcheck = isoline without insecticide application

^cInsecticides were applied at the following rates: permethrin: 400 mL/ha; lambda cyhalothrin: 500 mL/ha; emamectin benzoate: 200 mL/ha

Table 2. Gallery length in ears from corn earworm, *Helicoverpa zea*, feeding in genetically modified corn at Sinaloa, Mexico.

Year	Genetic material ^a	Locality	Ear gallery length (cm)	
2011	Agrisure™ 3000 GT	Oso Viejo	1.96 a	
	Agrisure™ 3000 GT + ic	Oso Viejo	1.61 a	
	isoline + ic	Oso Viejo	4.47 b	
	isoline	Oso Viejo	5.02 b	
				$F = 10.40; df = 3, 15^{**}$
	Agrisure® Viptera™ 3110	Oso Viejo	0.16 a	
	Agrisure® Viptera™ 3110 + ic	Oso Viejo	0.19 a	
	isoline + ic	Oso Viejo	4.66 b	
	isoline	Oso Viejo	5.02 b	
				$F = 35.65; df = 3, 15^{***}$
	2012	Agrisure® Viptera™ 3111	El Dorado	0.33 a
		Agrisure® Viptera™ 3111 + ic	El Dorado	0.45 a
isoline + ic		El Dorado	2.20 b	
isoline		El Dorado	2.13 b	
			$F = 12.22; df = 3, 11^{**}$	
Agrisure® Viptera™ 3111		Navolato	0.37 a	
Agrisure® Viptera™ 3111 + ic		Navolato	0.47 a	
isoline + ic		Navolato	2.83 b	
isoline		Navolato	2.95 b	
			$F = 11.07; df = 3, 11^{**}$	
Agrisure™ 3000 GT		Navolato	0.45 a	
Agrisure™ 3000 GT + ic		Navolato	0.27 a	
isoline + ic		Navolato	4.37 b	
isoline		Navolato	5.50 b	
			$F = 21.30; df = 3, 11^{***}$	
2013	Agrisure® Viptera™ 3111	Camalote	0.39 a	
	isoline + ic	Camalote	2.31 b	
	isoline	Camalote	3.11 b	

Year	Genetic material ^a	Locality	Ear gallery length (cm)
			$F = 24.91; df = 2, 11^{***}$
	Agrisure® Viptera™ 3111	Oso Viejo	0.20 a
	isoline + ic	Oso Viejo	2.72 b
	isoline	Oso Viejo	3.59 b
			$F = 23.94; df = 2, 11^{***}$

^aic = insecticide control

^bGenetically modified hybrids and their respective isolines followed by same letter do not differ significantly (ANOVA and LSD test; $P < 0.05$). **, *** indicate significant contrast F value at $P < 0.01$, $P < 0.001$, respectively.

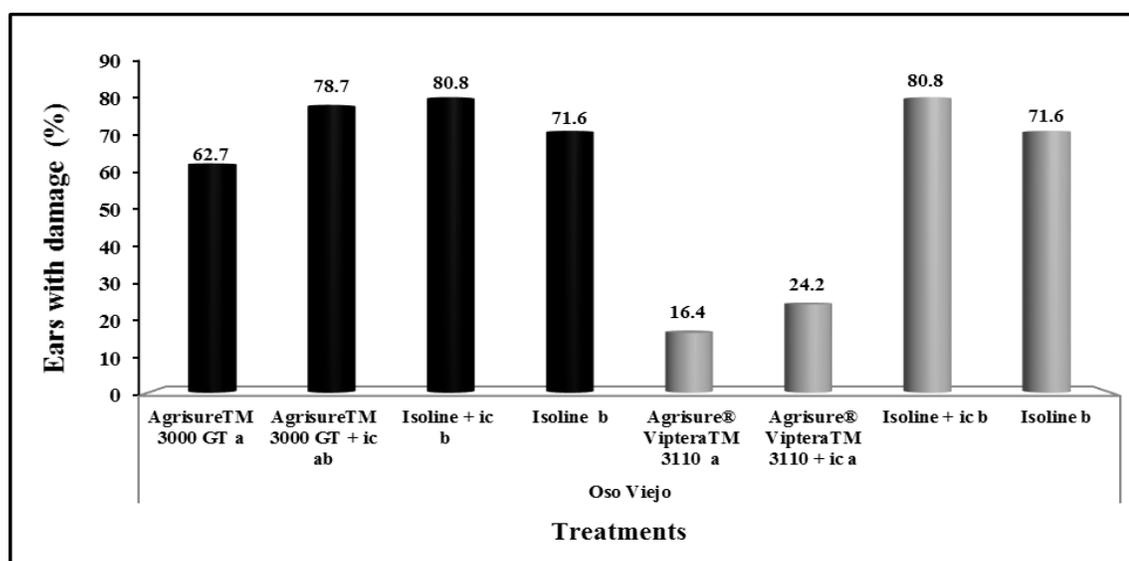


Fig. 1. Percentage of corn ears damaged by *Helicoverpa zea* in Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3110, and their respective isolines at Oso Viejo, Culiacan (Sinaloa, Mexico) during 2011. Genetically modified hybrids and their respective isolines followed by the same letter do not differ significantly (LSD; $P > 0.05$). ic = insecticide control.

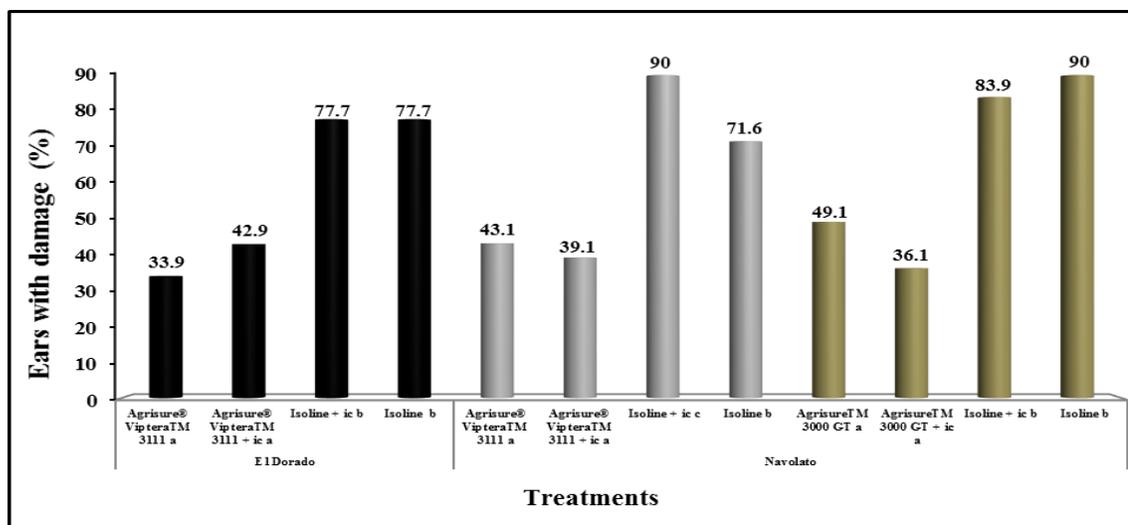


Fig. 2. Percentage of corn ears ear damaged by *Helicoverpa zea* in Agrisure® Viptera™ 3111, Agrisure™ 3000 GT, and their respective isolines at El Dorado, Culiacan, and Navolato (Sinaloa, Mexico). 2012. Genetically modified hybrids and their respective isolines followed by the same letter do not differ significantly (LSD; $P > 0.05$). ic = insecticide control.

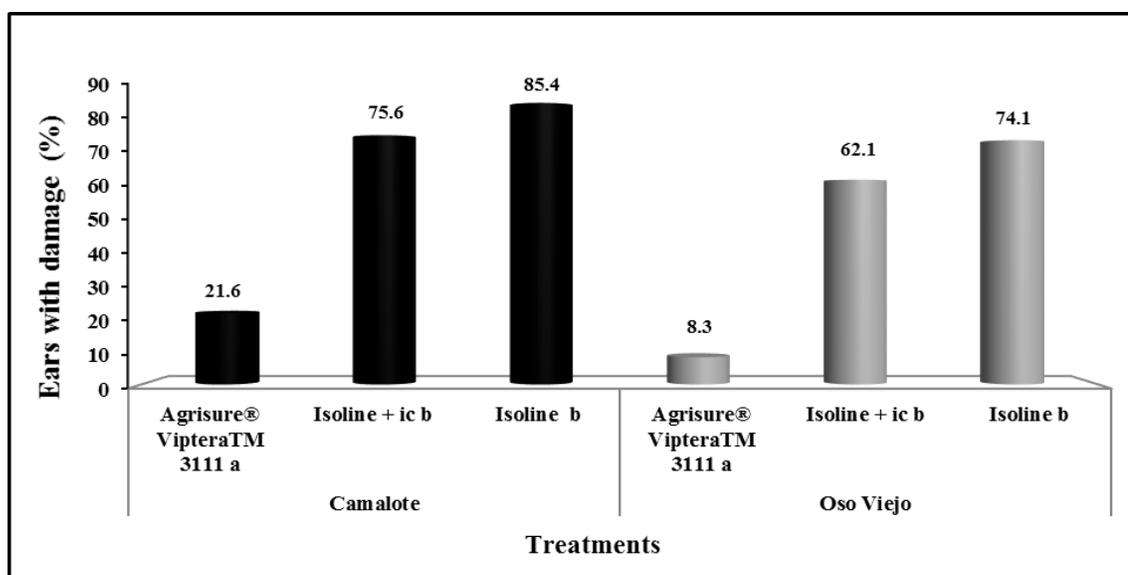


Fig. 3. Percentage of corn ears damaged by *Helicoverpa zea* in Agrisure® Viptera™ 3111 and its isoline at Camalote and Oso Viejo, Culiacan (Sinaloa, Mexico). 2013. Genetically modified hybrid and isolines followed by the same letter do not differ significantly (LSD; $P > 0.05$). ic = insecticide control.

Resistencia de híbridos de maíz genéticamente modificado al barrenador del tallo

Nota científica enviada a la Revista *Fitotecnia Mexicana*

Titulo corto: Maíz genéticamente modificado resistente a barrenador del tallo

Genetically modified corn hybrids resistant to stalk borer

Agustín Hernández-Juárez, Luis A. Aguirre-Uribe*, Mariano Flores-Dávila, Ernesto Cerna-Chávez, Jerónimo Landeros-Flores y Gustavo A. Frías-Treviño.

Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro # 1923. C.P. 25315, Buenavista, Saltillo; Coahuila, México. Tel. 01 (844) 4-11-03-26.

*Autor para correspondencia (luisaguirreu@yahoo.com.mx)

Resumen y palabras clave

La utilización de híbridos de maíz genéticamente modificado (GM) es una estrategia de manejo de plagas, donde el manejo convencional no es práctico o inaccesible hacia una plaga, como el barrenador del tallo, *Diatraea saccharalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae). Se evaluó la resistencia de los híbridos de maíz genéticamente modificado Agrisure™ 3000 GT y Agrisure® Viptera™ 3111 al barrenador del tallo y se comparó con sus híbridos convencionales, con y sin tratamiento de insecticida. Se encontró una baja incidencia de daño por barrenador, particularmente durante el primer año, sin embargo; en todos los casos, el daño por barrenador fue menor en los híbridos Agrisure™ 3000 GT y Agrisure® Viptera™ 3111 con respecto a sus convencionales. La aplicación de insecticida no previno el daño de la plaga, observándose inclusive mayor daño en estos tratamientos. La utilización de los híbridos Agrisure™ 3000 GT y

Agrisure® Viptera™ 3111, pueden ser una herramienta de manejo para reducir el daño por barrenador del tallo en maíz.

Palabras clave: Agrisure® Viptera™ 3111, Agrisure™ 3000 GT, *Bacillus thuringiensis*, *Diatraea saccharalis*, plantas transgénicas, *Zea mays*.

Summary e index words

The use of genetically modified corn hybrids (GM) is a pest management strategy, especially where conventional control is impractical or inaccessible to a pest, as sugarcane borer, *Diatraea saccharalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae). Resistance of genetically modified corn hybrids Agrisure™ 3000 GT and Agrisure® Viptera™ 3111 were evaluated on stalk borers and compared with conventional hybrids with and without insecticide treatment. During the evaluation a low incidence of borers was found, particularly in the first year, however; in all cases, stalk injury by larvae was lower in Agrisure™ 3000 GT and Agrisure® Viptera™ 3111 than their conventional isolines; chemical treatment did not prevent injury from this pest and even a greater injury was observed on treated conventional corn stalks. The use of Agrisure™ 3000 GT and Agrisure® Viptera™ 3111 hybrids can be used as a management tool to reduce injury by sugarcane borer on corn.

Key words: Agrisure® Viptera™ 3111, Agrisure™ 3000 GT, *Bacillus thuringiensis*, *Diatraea saccharalis*, transgenic plants, *Zea mays*.

Introducción

El desarrollo de híbridos genéticamente modificados con genes que codifican para proteínas de *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt) (Bacillales: Bacillaceae) para expresar la δ -endotoxina, le confieren al maíz resistencia permanente a un amplio espectro de control de plagas, principalmente lepidópteros (Bruck *et al.*, 2006). Inicialmente estos híbridos se desarrollaron con una proteína cristal de Bt para

reducir el daño de barrenadores del tallo *Ostrinia nubilalis* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae), *Diatraea grandiosella* Dyar y *Diatraea saccharalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae); no obstante, para mejorar esta estrategia de manejo, se realizó la inserción de más de un gen (evento piramidal) para expresar más variantes de la toxina Bt, intensificando su efectividad (Burkness *et al.*, 2001; Niu *et al.*, 2013; Yang *et al.*, 2013). Estos híbridos son considerados como una alternativa de manejo de plagas en la agricultura moderna, ampliamente adoptados en muchas partes del mundo por su capacidad de reducir el daño a los cultivos y disminuir el uso de insecticidas químicos (Burkness *et al.*, 2001; Duan *et al.*, 2008; Ghimire *et al.*, 2011; Hardke *et al.*, 2011; Shelton, 2012; Farias *et al.*, 2013).

En México a partir de 2009 se realizaron pruebas de efectividad con híbridos de maíz GM para el control de las principales plagas del maíz; el gusano elotero *Helicoverpa zea* (Boddie) y el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) (Piña y Solleiro, 2013; Aguirre *et al.*, 2015a; Aguirre *et al.*, 2015b).

Además de las plagas mencionadas, se considera de importancia en el maíz al barrenador del tallo *Diatraea saccharalis*, que en su fase larval daña diferentes partes de la planta, principalmente en el cogollo, realizando galerías o túneles, mata el punto de crecimiento, corta las hojas centrales en la base e indirectamente da paso a la invasión de hongos que pudren el tallo y su segunda generación puede coincidir con las etapas reproductivas del cultivo, dañando la mazorca e indirectamente favoreciendo la entrada de microorganismos causantes de pudrición en la mazorca (Ortega, 1987; CIMMYT, 2015).

Dentro de las estrategias de manejo para esta plaga, se realizan aplicaciones convencionales cuando se encuentra el 10% de daño o presencia del barrenador (CESAVEG, 2015); sin embargo, si no se lleva a cabo un buen muestreo de adultos, que permita la detección oportuna de la fecha de eclosión de huevos y las aplicaciones no coinciden con los primeros dos estadios larvales, el control no tendrá efecto sobre la plaga, pues a partir del tercer estadio, estas penetran el tallo y es difícil su control.

Considerando lo anterior, esta investigación tuvo por objetivo evaluar la resistencia de híbridos de maíz que expresan las toxinas Cry1Ab, Vip3Aa20 y mCry3A de *B. thuringiensis* al barrenador del tallo *D. saccharalis* en Sinaloa, México.

Materiales y Métodos

La investigación fue conducida en las localidades de Oso Viejo, El Dorado y El Camalote en el municipio de Culiacán y en el de Navolato, en Sinaloa, México, durante los años 2012 y 2013.

Las siembras se realizaron bajo condiciones de bioseguridad, con un aislamiento de más de 500 m de cualquier otro sitio con siembras comerciales de maíz y con un desfase de 21 días en la fecha recomendada de siembra, para no coincidir con la etapa de floración de los predios vecinos y evitar la polinización cruzada; protocolo a seguir para cumplir con los requerimientos de regulación para experimentación en campo con maíz GM en México (Halsey *et al.*, 2005; LBOGM, 2005).

Se utilizaron los híbridos de maíz genéticamente modificados Agrisure™ 3000 GT que expresa las toxinas Cry1Ab y mCry3A y Agrisure® Viptera™ 3111 que expresa las toxinas Cry1Ab, Vip3A20 y mCry3A; de estas, la Cry1Ab y Vip3A20 le confieren resistencia a Lepidoptera y mCry3A con resistencia a Coleoptera y fueron comparados con sus respectivos híbridos convencionales. Todos los materiales fueron proporcionados por Syngenta Agro S. A. de C.V. de México.

El estudio se realizó con un diseño experimental de bloques completamente al azar en cada localidad. En el año 2012, los híbridos Agrisure® Viptera™ 3111 y Agrisure™ 3000 GT, fueron sembrados el 15 de feb. en Navolato y el 19 de feb. se sembró el evento Agrisure® Viptera™ 3111 en El Dorado, Culiacán. En ambas localidades se estableció un diseño de 4 tratamientos con 3 repeticiones, incluidos los controles con insecticida (Cuadro 1). En el año 2013, el 14 y 15 de marzo, en El Camalote y Oso Viejo, Culiacán respectivamente, se sembró el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111. En estas localidades se estableció un diseño

con tres tratamientos y cuatro repeticiones, incluidos los controles con insecticida (Cuadro 1).

Las parcelas experimentales designadas, recibieron dos aplicaciones de insecticida, la primera en la etapa V4 (número de hojas completamente desarrolladas) y la segunda en la etapa V8 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos usados para evaluar el daño por barrenador del tallo *Diatraea saccharalis*, en maíz genéticamente modificado y convencional en Sinaloa, México.

Año	Híbridos ¹	Localidad	Insecticida ^{2,3,4}
2012	Agrisure® Viptera™ 3111	El Dorado	Sin aplicación de insecticida
	Agrisure® Viptera™ 3111 + ci	El Dorado	lambda cyhalotrina– benzoato de emamectina
	Hibrido convencional + ci	El Dorado	lambda cyhalotrina– benzoato de emamectina
	Hibrido convencional	El Dorado	Testigo absoluto
	Agrisure® Viptera™ 3111	Navolato	Sin aplicación de insecticida
	Agrisure® Viptera™ 3111 + ci	Navolato	lambda cyhalotrina– benzoato de emamectina
	Hibrido convencional + ci	Navolato	lambda cyhalotrina– benzoato de emamectina
	Hibrido convencional	Navolato	Testigo absoluto
	Agrisure™ 3000 GT	Navolato	Sin aplicación de insecticida
	Agrisure™ 3000 GT + ic	Navolato	lambda cyhalotrina– benzoato de emamectina
	Hibrido convencional + ci	Navolato	lambda cyhalotrina– benzoato de emamectina
	Hibrido convencional	Navolato	Testigo absoluto
2013	Agrisure® Viptera™ 3111	El Camalote	Sin aplicación de insecticida

Año	Híbridos ¹	Localidad	Insecticida ^{2,3,4}
	Hibrido convencional + ci	El Camalote	benzoato de emamectina
	Hibrido convencional	El Camalote	Testigo absoluto
	Agrisure® Viptera™ 3111	Oso Viejo	Sin aplicación de insecticida
	Hibrido convencional + ci	Oso Viejo	benzoato de emamectina
	Hibrido convencional	Oso Viejo	Testigo absoluto

¹ci =control insecticida, ²Testigo químico= hibrido convencional con control insecticida, ³Testigo absoluto = hibrido convencional sin aplicación de insecticida, ⁴Insecticidas aplicados: lambda cyhalotrina: 500 mL/ha; benzoato de emamectina: 200 mL/ha.

Cada tratamiento consistió de 10 surcos de 5 m lineales de largo y un espacio entre surcos de 0.8 m, con una densidad de siembra de 40-50 semillas por surco y aclareo posterior ajustado a 34 plantas por surco. El ensayo fue rodeado con un bordo de maíz convencional que consistió de 6 surcos de 5 m de largo y otro bordo de las mismas dimensiones separando cada repetición del estudio. Los bordos fueron sembrados siguiendo la misma metodología de establecimiento del experimento y en las mismas fechas. El manejo agronómico del cultivo durante el desarrollo del experimento se realizó en base a las prácticas típicas de la región y de acuerdo a las guías técnicas para el cultivo de maíz desarrolladas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2010).

Previo a la cosecha, se evaluó el daño por el gusano barrenador *D. Saccharalis* bajo infestación natural tomando 10 plantas aleatoriamente en los cuatro surcos centrales de cada repetición cortándolos longitudinalmente midiendo el tamaño de las galerías (cm) y posteriormente se calculó el porcentaje de tallos dañados. Antes del análisis estadístico, los datos del porcentaje de tallos con daño fueron transformados por raíz cuadrada de arcoseno. Las variables evaluadas se sometieron a un análisis de varianza (ANVA) y comparación entre medias de los tratamientos con una prueba por DMS de Fisher ($P < 0.05$), utilizando el software SAS/STAT (SAS, 2002).

Resultados y discusión

En la evaluación durante el año 2012, los híbridos Agrisure® Viptera™ 3111 y Agrisure™ 3000 GT fueron resistentes al barrenador del tallo, mientras que sus híbridos convencionales fueron susceptibles a la plaga, incluidos aquellos con tratamiento de insecticida.

En la localidad de El Dorado, el evento Agrisure® Viptera™ 3111 presentó en promedio galerías de 0.27 cm de longitud con el 6.14% de los tallos barrenados, encontrándose galerías <8 cm, mientras que el evento Agrisure® Viptera™ 3111 con aplicación de insecticida no presentó daño por el barrenador; brindando mayor protección contra la plaga. Por otro lado, en el testigo químico se encontraron galerías promedio de 1.27 cm y un 19.22% de tallos dañados, mientras que en el testigo absoluto, se encontró un promedio de 0.87 cm en el tamaño de las galerías con 19.93% de los tallos barrenados (Cuadro 2), encontrándose galerías en estos híbridos de 4-13 cm de longitud.

En Navolato, Agrisure® Viptera™ 3111 solo presentó daño en el tratamiento con insecticida, con un promedio de 0.20 cm en el tamaño de galerías y lesiones <6 cm, en 6.14% de los tallos evaluados, mientras que los testigos químico y absoluto presentaron 0.67 y 0.60 cm en promedio en el tamaño de las galerías, encontrándose lesiones de 5-15 cm de longitud y con 8.86 y 12.3% de los tallos con daño, respectivamente (Cuadro 2).

Para esta misma localidad, en el híbrido GM Agrisure™ 3000 GT con y sin tratamiento de insecticida, no se encontró daño por larvas del barrenador del tallo, mientras que en los híbridos convencionales, se encontró una incidencia de 11.10% de los tallos con daño y galerías promedio de 0.68 cm en el testigo químico, y en el testigo absoluto se encontró un 19.22% de tallos con daño y galerías de 0.85 cm en promedio, encontrándose en estos híbridos lesiones de 2-11 cm de longitud (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tamaño de galería y tallos con daño por gusano barrenador *Diatraea saccharalis* en híbridos de maíz Agrisure® Viptera™ 3110 y Agrisure™ 3000 GT y sus respectivos convencionales en El Dorado y Navolato, Sinaloa, 2012.

Híbridos ¹	Localidad	Longitud de galería (cm)	Tallos con daño (%) ²
Agrisure® Viptera™ 3111	El Dorado	0.27 a	6.14 a
Agrisure® Viptera™ 3111 + ci	El Dorado	0.00 a	0.00 a
Hibrido convencional + ci	El Dorado	1.27 a	19.22 a
Hibrido convencional	El Dorado	0.87 a	19.93 a
		<i>F</i> =1.00ns	<i>F</i> =1.44ns
Agrisure® Viptera™ 3111	Navolato	0.00 a	0.00 a
Agrisure® Viptera™ 3111 + ci	Navolato	0.20 a	6.14 a
Hibrido convencional + ci	Navolato	0.67 a	8.86 a
Hibrido convencional	Navolato	0.60 a	12.3 a
		<i>F</i> =0.68ns	<i>F</i> =0.70ns
Agrisure™ 3000 GT	Navolato	0.00 a	00.0 a
Agrisure™ 3000 GT + ci	Navolato	0.00 a	0.00 a
Hibrido convencional + ci	Navolato	0.68 a	11.10 a
Hibrido convencional	Navolato	0.85 a	19.22 a
		<i>F</i> =0.86ns	<i>F</i> =1.40ns

¹ci =control insecticida, ²Datos transformados por raíz cuadrada de arcoseno. Híbridos de maíz genéticamente modificado y sus respectivos híbridos convencionales seguidos con letras iguales no son estadísticamente diferentes (DMS; $P < 0.05$). ns= Indica no significancia, gl=3,11.

En todos los casos, el daño por la alimentación en el tallo (tamaño de galería) y el número de tallos afectados por larvas del barrenador, fue menor en los híbridos GM Agrisure® Viptera™ 3111 y Agrisure™ 3000 GT con respecto a sus híbridos convencionales, sin embargo; estas diferencias no fueron estadísticamente significativas entre los tratamientos ($P < 0.05$). Lo anterior probablemente debido a que durante la evaluación, se encontró una baja incidencia de la plaga en todos los tratamientos, no permitiendo la separación estadística de los resultados. No obstante, a pesar del bajo nivel de infestación, se pudo observar el efecto de la tecnología Bt en los híbridos de maíz, encontrándose un menor índice de daño

por la plaga. En la evaluación del año 2013, en la localidad de El Camalote, en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 no se encontraron plantas con daño por la plaga. Los híbridos convencionales fueron susceptibles al barrenador; en el testigo químico se encontró un promedio de 1.18 cm en el tamaño de las galerías y 31.02% de los tallos dañados y el testigo absoluto con galerías de 0.35 cm en promedio y un 11.25% de tallos con daño (Cuadro 3), encontrándose en estos híbridos lesiones de 3-8 cm de longitud.

Agrisure® Viptera™ 3111, en la localidad de Oso Viejo presento galerías de 1.55 cm de longitud, encontrándose lesiones de 1.9-13.3 cm y un 27.11% de los tallos con daño, mientras que los híbridos convencionales presentaron galerías de 10.23 y 6.95 cm en promedio y 71.57 y 57.10% de los tallos dañados, en el testigo químico y absoluto respectivamente (Cuadro 3). Particularmente en esta evaluación, en estos híbridos se encontraron galerías de mayor tamaño que variaron desde 2.5 hasta 36 cm de longitud.

Cuadro 3. Tamaño de galería y tallos con daño por gusano barrenador *Diatraea saccharalis* en maíz con el evento Agrisure® Viptera™ 3111 y su híbrido convencional en El Camalote y Oso Viejo, Sinaloa, 2013.

Híbridos ¹	Localidad	Longitud de galería (cm)	Tallos con daño (%) ²
Agrisure® Viptera™ 3111	El Camalote	0.00 a	0.00 a
Hibrido convencional + ci	El Camalote	1.18 b	31.02 b
Hibrido convencional	El Camalote	0.35 a	11.25 a
		$F=6.27^*$	$F=11.46^{**}$
Agrisure® Viptera™ 3111	Oso Viejo	1.55 a	27.11 a
Hibrido convencional + ci	Oso Viejo	10.23 b	71.57 c
Hibrido convencional	Oso Viejo	6.95 b	57.10 b
		$F=7.18^*$	$F=29.33^{***}$

¹ci =control insecticida, ²Datos transformados por raíz cuadrada de arcoseno. Híbridos de maíz genéticamente modificado y sus respectivos híbridos convencionales seguidos con letras iguales no son estadísticamente diferentes (DMS; $P < 0.05$). *, **, *** Indica significancia contraste valor de F a $P < 0.05$, $P < 0.01$, $P < 0.001$ respectivamente, $gl = 2, 11$.

En ambas localidades, el daño por la alimentación en el tallo (galería) y el número de tallos con lesión por larvas del barrenador, fue significativamente menor en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111, con respecto a su híbrido convencional ($P < 0.05$). A diferencia del año anterior, la densidad de población de la plaga fue mayor, permitiendo la separación estadística entre los tratamientos, y evaluar más eficientemente la efectividad biológica de la tecnología Bt sobre el barrenador del tallo, encontrándose que el híbrido mostro resistencia significativa a esta plaga, adicionalmente a lo reportado en otras especies de insectos evaluados como *S. frugiperda* y *H. zea*, con estos mismos híbridos GM (Aguirre *et al.*, 2015a; Aguirre *et al.*, 2015b).

El control químico no brinda protección permanente a la plaga, ya que la aplicación de insecticida no previno el daño de la misma, debido a que una vez dentro del tallo, la larva de barrenador no está expuesta al ingrediente activo, observándose en general, un mayor daño (tamaño de galería) en este tratamiento; exceptuando la localidad de Navolato, 2012, en la evaluación del evento Agrisure™ 3000 GT (Cuadros 2 y 3). Por otro lado, en esta región, debido a su baja incidencia en este cultivo, no es económicamente rentable el control químico; sin embargo, los híbridos Bt que controlan a otras plagas claves del maíz como gusano elotero y cogollero lograron también un control permanente de esta plaga.

Burkness *et al.* (2001), en estudios de efectividad con maíz Bt que expresa la Cry1Ab, encontraron en estos híbridos una reducción significativa del daño por el barrenador europeo *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae), con un excelente control, sin necesidad del uso de insecticidas. Por su parte Farias *et al.* (2013), durante dos años, al evaluar el efecto del maíz Bt con la Cry1Ab, encontraron reducción en las infestaciones y daño por *D. saccharalis*, mientras que los insecticidas foliares utilizados en los tratamientos no tuvieron efecto sobre la plaga.

Ghimire *et al.* (2011), demostraron que los híbridos con eventos piramidales provén mejor control sobre el barrenador del tallo *D. saccharalis*; tal como sucedió en este trabajo con los híbridos Agrisure® Viptera™ 3111 y Agrisure™ 3000 GT.

En Mexico solo se han realizado pruebas experimentales con maíz GM durante 4 años (Piña y Solleiro, 2013; Aguirre *et al.*, 2015a; Aguirre *et al.*, 2015b), no permitiendo el seguimiento a evaluaciones sobre las distintas plagas del maíz; al respecto, Storer *et al.* (2001), sugieren que ensayos de este tipo deben tener un efecto apreciable en una densidad de población, y para esto, los híbridos de maíz GM tienen que ser plantados en superficies mayores, diferente a ensayos como el expuesto en este trabajo, ya que solo se tienen efectos moderados sobre la plaga.

La utilización de híbridos de maíz GM en zonas agrícolas como el valle de Culiacán, donde se localizan los dos principales cultivos hospederos de *Diatraea saccharalis* (caña de azúcar y maíz), esta herramienta puede ser una alternativa de manejo integrado, pues además de reducir el daño por las plagas clave del maíz, puede reducir el daño y densidad poblacional de esta plaga.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la compañía Syngenta Agro S. A. de C.V. de México por haber proporcionado los híbridos de la presente investigación.

Bibliografía

- Aguirre L. A., A. Hernández, M. Flores, G. A. Frías. E. Cerna, J. Landeros y M. K. Harris (2015a) Genetically modified maize resistant to corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Sinaloa, Mexico. Florida Entomologist 98:821-826 (En Prensa).
- Aguirre L. A., A. Hernández, M. Flores, R. Pérez-Zubiri, E. Cerna, J. Landeros y G. A. Frías (2015b) Comparación del Nivel de Daño de *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en Plantas de Maíz Genéticamente Modificado y Convencional en el Norte de México. Southwestern Entomologist 40:171-178.
- Bruck D. J., D. M. Lopez, C. L. Lewis, R. J. Prasifka and D. R. Gunnarson (2006) Effects of Transgenic *Bacillus thuringiensis* Corn and Permethrin on Nontarget Arthropods. Journal of Agricultural and Urban Entomology 23: 111-124.
- Burkness E. C., W. D. Hutchison, P. C. Bolin, D. W. Bartels, D. F. Warnock and D. W. Davis (2001) Field Efficacy of Sweet Corn Hybrids Expressing a *Bacillus thuringiensis* Toxin for Management of *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera:

- Crambidae) and *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae). Journal of Economic Entomology 94:197-203.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (2015) Lista de Plagas y enfermedades del maíz. En: <http://maizedoctor.org/es/plagas-y-enfermedades/lista>. Fecha de consulta: 14-julio-2015.
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato (CESAVEG) (2015) Campaña Manejo Fitosanitario del maíz. Manual de Plagas y Enfermedades en maíz. En: http://www.cesaveg.org.mx/html/folleto/folleto_11/folleto_maiz_11.pdf. Fecha de consulta: 15-julio-2015.
- Duan J. J., D. Teixeira, J. E. Huesing and C. Jiang (2008) Assessing the Risk to Nontarget Organisms from *Bt* Corn Resistant to Corn Rootworms (Coleoptera: Chrysomelidae): Tier-I Testing with *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthracoridae). Environmental Entomology 37:838-844.
- Farias J. R., E. C. Costa, J. V. C. Guedes, A. P. Arbage, A. B. Neto, M. Bigolin and F. F. Pinto (2013) Managing the sugarcane borer, *Diatraea saccharalis*, and corn earworm, *Helicoverpa zea*, using Bt corn and insecticide treatments. Journal of Insect Science 13:1-10.
- Ghimire M. N., F. Huang, R. Leonard, G. P. Head and Y. Yang (2011) Susceptibility of Cry1Ab- susceptible and -resistant sugarcane borer to transgenic corn plants containing single or pyramided *Bacillus thuringiensis* genes. Crop Protection 30:74-81.
- Halsey M. E., K. M. Remund, C. A. Davis, M. Qualls, P. J. Eppard and S. A. Berberich (2005) Isolation of Maize from Pollen Mediated Gene Flow by Time and Distance. Crop Science. 45:2172-2185.
- Hardke J. T., B. R. Leonard, F. Huang and R. E. Jackson (2011) Damage and survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic field corn expressing *Bacillus thuringiensis* Cry proteins. Crop Protection. 30:168-172.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (2010) Maíz: *En*: Guía técnica para el área de influencia del Campo Experimental Valle de Culiacán. Culiacán, Sinaloa; México. Centro de Investigación Regional del Noreste (CIRNO). Campo Experimental Valle de Culiacán (CEVACU). México. pp: 41-47.
- Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) (2005) Diario Oficial de la Federación 18 de marzo de 2005. México. 44 p.
- Niu Y., R. L. Meagher Jr., F. Yang and F. Huang (2013) Susceptibility of field populations of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) from Florida and Puerto Rico to purified Cry1F and corn leaf tissue containing single and pyramided Bt genes. Florida Entomologist 96:701-713.
- Ortega A. C. (1987) Insectos nocivos del maíz: una guía para su identificación en el campo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México. 106 p.
- S.A.S. Institute (2002) The SAS System for Windows, Release 9.0. SAS, Institute, Cary North Carolina, USA.
- Storer N. P., J. W. Van Duyn and G. G. Kennedy (2001) Life History Traits of *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) on Non-Bt and Bt Transgenic Corn Hybrids in Eastern North Carolina. Journal of Economic Entomology 94:1268-1279.

- Shelton A. M (2012) Genetically engineered vegetables expressing proteins from *Bacillus thuringiensis* for insect resistance: Successes, disappointments, challenges and ways to move forward. *GM Crops and Food: Biotechnology in Agriculture and the Food Chain* 3:175-183.
- Yang F., J. A. Qureshi, B. R. Leonard, G. P. Head, Y. Niu and F. Huang (2013) Susceptibility of Louisiana and Florida populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to pyramided Bt corn containing Genuity® VT Double Pro™ and SmartStax™ traits. *Florida Entomologist* 96:714-723.
- Zenner de Polanía I., R. J. A. Álvarez, M. H. A. Arévalo, C. R. Mejía y R. M. A. Bayona (2008) Susceptibilidad de cuatro nóctuidos plaga (Lepidoptera) al gene Cry1Ac del *Bacillus thuringiensis* incorporado al algodónero. *Revista Colombiana de Entomología* 34:41-50.

Interaction Between *Helicoverpa zea* Damage with Corn cob Diseases on Genetically Modified Corn in Sinaloa, México

Artículo publicado en la Revista Journal of Life Sciences 8(4):329-334. 2014.

Luis A. Aguirre Uribe, Gustavo A. Frías Treviño, Agustín Hernández Juárez, Mariano Flores Dávila, Ernesto Cerna Chávez, Jerónimo Landeros Flores and Yisa M. Ochoa Fuentes

Plant Health Department, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo 25315, Coahuila, México

Received: February 06, 2014 / Accepted: March 13, 2014 / Published: April 30, 2014.

Corresponding author: Luis A. Aguirre Uribe, Ph.D., professor, research field: pest management specialist. E-mail: luisaguirreu@yahoo.com.mx

Abstract: GM (genetically modified) corn with the Cry1Ab, mCry3A and Vip3Aa20 protein of *Bt* (*Bacillus thuringiensis*) and its respective isoline as control with and without chemical control for corn earworm were used in this research. *Fusarium* corn cob damage was lower on GM corn with (12.5%) and without (25.7%) insecticide treatment as compared with the isoline that had 48.3% and 83.1% of damaged corncobs with and without chemical control, respectively. Corn smut cob damage was also lower on GM corn with (3.2%) and without (6.3%) insect control compared with 15.5% and 49.7% damage with and without insecticide treatment, respectively. *Fusarium* sp. corn cob rot was also lower on GM corn with 5.7% and 9.5% whereas a 24.6% and 63% rot was observed on the isoline with and without insecticide control, respectively. *Ustilago maydis* severity was also lower on Bt corn finding 0.07% and 0.25% damage on treatments with and without insect control as compared with the isoline that showed an 11.6% and a 41.4% smut rot with and without insecticide treatment, respectively. The authors conclude that GM corn resistant to *Helicoverpa zea* prevents damage by the pest, eliminating the entrance pathway for *Fusarium* sp. and *Ustilago maydis*.

Key words: *Bacillus thuringiensis*, transgenic, *Fusarium*, *Ustilago maydis*, mycotoxins, corn smut.

Introduction

Corn planting in Sinaloa has increased from 156,015.00 ha in 1980 to 409,402.91 ha in 2012 as the economic importance in the region was realized through double cropping (spring-summer and autumn-winter) [1]. These year round planting conditions favor the development of pests and diseases which were not of much economic importance in the past.

Diseases of major importance in Sinaloa are those causing cob rot that have a direct effect on yield and also exert an indirect effect on grain quality due to mycotoxins (aflatoxins, fumonisins, etc.). Disease incidence is higher in humid areas especially during the rainy season from flowering to harvest when insect and bird feeding expose inoculation courts to infection by pathogens. Pathogens found on corn grain in that area under laboratory conditions are: *Fusarium* spp., *Penicillium* spp., *Alternaria* spp., *Aspergillus* spp. and *Nigrospora oryzae*, with *Fusarium* spp. (45.70%) and *Penicillium* spp. (68.67%), the most commonly found. Another pathogen found in corn fields is corn smut (*Ustilago maydis*), which grows on grains forming galls filled by the fungus spores [2].

Bt corn is recommended to reduce cob rot and the attendant mycotoxin contamination resulting from infection by *Fusarium* spp. [3]. Insect damage to corn cobs is one of the most important factors for mycotoxin contamination because they make lesions in grains that provide a pathway for fungal colonization; insects are also direct vectors of fungal spores [4]. Thus, Bt corn resistant to Lepidoptera virtually eliminates infection pathways and thereby prevent entrance of pathogenic fungi.

Bt corn purportedly has less corncob rot and fumosine contamination when compared with conventional corn, indicating, that under certain circumstances, Bt corn can improve human and animal safety by avoiding risks from mycotoxin consumption [5, 6].

Considering that Bt corn has been approved to grow in México under experimental conditions and its efficacy has not been tested, this research had the objective to compare the Bt corn hybrids Agrisure 3000 GT and Agrisure 3110 with their respective conventional isolines to establish the relationship between corn earworm damage and the incidence of corncob diseases in Sinaloa, México.

2. Materials and Methods

2.1 Localization

Research was conducted at “El Temporal” farm, (24°22'42" N and 107°09'57" W) in Culiacan Sinaloa. Soil is sandy-loam, 2.1% organic matter, pH 6.10. Planting was done on January 28th, 2011. The experimental plot was 500 m distant from any other corn field and planted 21 days later than the recommended date in the area to avoid cross pollination with commercial corn; this protocol met the regulation requirement for GM corn field experimentation in México.

2.2 Genetic Materials

Genetically modified hybrids were provided by Syngenta Agro S.A de C.V.: Agrisure 3000 GT with the proteins Cry1Ab (*Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki* strain HD1), mCry3A (*Bacillus thuringiensis* subspecies *tenebrionis*), which confers resistance to Lepidoptera: *Spodoptera frugiperda*, *Spodoptera exigua*, *Heliothis virescens* and *Helicoverpa zea* and Coleoptera: *Diabrotica* spp., and the mutate enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate-synthase (mEPSPS), that makes it tolerant to glyphosate and glufosinate ammonium. The other hybrid used was Agrisure 3110 that has the proteins Cry1Ab (*Bacillus thuringiensis* var. *Kurstaki* strain HD1), Vip3Aa20 (*Bacillus thuringiensis* strain AB88) effective against lepidopteran species: *Spodoptera frugiperda*, *Spodoptera exigua*, *Heliothis virescens*, *Helicoverpa zea* and the mutate enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate-synthase (mEPSPS) that makes it tolerant to Glyphosate and Glufosinate ammonium herbicides. These hybrids were compared with their respective conventional isolines that lack the Bt proteins.

2.3 Experimental Design

A random block design was used with eight treatments, including controls, and four replicates; each treatment had ten yellow corn rows 5 m long separated by 0.8 m between rows. Additional insect management treatments were applied to both GM corn and isolines using Permethrin, Lambda-cyhalthrin and Emamectin benzoate two times during the crop cycle further targeting lepidopteran pests (Table 1).

Forty seeds were planted in each row and later adjusted to 34 plants per row. The entire experimental plot was surrounded by 5 m long rows of a local white corn hybrid. Agronomic management of the experimental area followed the cultural practices used by the commercial growers in the region.

2.4 Cob Damage Estimation

The number of diseased corncobs (incidence) was evaluated taking all of the cobs in the two central rows of each replicate in each treatment and calculating the percentage (%) of cobs damaged by *Fusarium* sp. and *Ustilago maydis*. Severity evaluation by *Fusarium* was evaluated by taking the total surface of the cob as 100 % and estimating the proportion of the cob area damaged by the fungus.

2.5 Statistical Analysis

A complete randomized block design statistical analysis was conducted using the SAS statistic software [7] and a Scheffé ($P \leq 0.05$) multiple range tests.

3. Results and Discussion

Percentage of corncobs affected by *Fusarium* sp. and *Ustilago maydis* were significantly lower in Agrisure 3000 GT technology hybrids when compared with their respective conventional isolines. The same significant difference was observed between the Agrisure 3000 GT and the conventional isolate with insect control presumably because the insecticide does not give permanent protection to the plant whereas the GM corn does give that kind of protection; however,

damage to the conventional isolines by *Fusarium* sp. and *U. maydis* was also significantly lower in those treated with insecticide than in those without chemical control (Table 2). Corn cob rot ascribed to *Fusarium* sp. varied between Agrisure 3000 GT with (25.7%) and without (12.5%) chemical control and their respective isolines that showed cob rot of 48.3% and 83.1% with and without insect control, respectively. The same results were observed for *U. maydis* in which the Agrisure 3000 GT technology showed a 6.3% and 3.2% disease incidence, whereas the conventional treatments had 15.5% and 49.7% damage with and without insect control in each case respectively (Table 2).

Severity analysis of corn cob rot caused by *Fusarium* sp., showed that genetically modified corn Agrisure 3000 GT, was significantly lower than their conventional controls. GM corn had a 5.72% and 9.54% cob rot with and without insecticide treatment respectively; on the other hand, the isolate presented cob rot percentages of 24.6 when treated with insecticide and 63.0 without chemical control (Fig. 1).

Incidences of *Fusarium* sp. and *U. maydis* in the GM corn Agrisure 3110 hybrid are shown in Table 3. The number of corn cobs damaged were significantly lower on this hybrid than in the treatments with conventional corn. Agrisure 3110 incurred very little corn cob rot caused by *Fusarium* sp. when treated (1.8%) and not treated (0.3%) for insect control, whereas the conventional hybrid, had 29.7% of cobs infected with the pathogen when treated with insecticide and 60.8% damaged cobs without chemical insect control. Corn smut incidence was also significantly lower on the Agrisure 3110 hybrid showing cob damage from 0% to 0.7% with and without insecticide control, respectively, compared with the conventional hybrid that presented with 6.1% and 27.7% of diseased cobs when treated and not treated with insecticide, respectively.

Evaluation of the affected area of the cob (severity) by *Fusarium* sp. showed that the GM corn hybrid Agrisure 3110 had significantly lower damage than conventional corn. Agrisure 3110 severity measured 0.25% when treated with insecticide and 0.07% without treatment, whereas the conventional hybrid

presented severity percentages of 11.62% and 41.44% with and without insecticide treatment, respectively (Fig. 2).

These results show that Agrisure 3000 GT and Agrisure 3110 efficacy is superior to treating isolate with insecticide; the Bt technology provides prophylactic protection to the plant that affects corn earworm and armyworm (when attacking the cob) larvae at first entry, whereas the insecticide application (s) provide only the temporal protection that the product residual permits, which results in some larval entry between sprays under conditions of heavy infestations. Additionally, insecticide sprays do not control larvae that achieve first entry because thereafter they are protected by the cob bracts.

Although Agrisure 3000 GT and Agrisure 3110 technologies were not developed for disease management, they provide an indirect additional beneficial production factor that significantly affects yield. The prevention of damage by lepidopteran pests also prevents cob rot fungi from gaining egress to susceptible tissue. Grain infection and disease caused by *Ustilago maydis* and *Fusarium* sp. are common in the Sinaloa region. The latter can be vectored by corn earworm [4] and is also known to produce mycotoxins that are dangerous to humans and animals [3].

Results found in this research probe the interaction between corn earworm and *Fusarium* sp. and *U. maydis* increasing their rot incidence and severity on corn as stated by authors of Refs. [5, 8-10] that reported also 9 to 10 times lower fumonisin content in Bt corn than in their isolines. This indicates that the use of these technologies not only prevent yield loss by the pests, but also prevents plant pathogen damage to the crop and minimizes risks of mycotoxin consumption.

4. Conclusions

Bt corn Agrisure 3000 GT and Agrisure 3110 technologies provide protection from diseases caused by *Fusarium* sp. and *Ustilago maydis* by being resistant to *Helicoverpa zea* and *Spodoptera frugiperda* that eliminate entrance pathways for the fungi.

References

- [1] Mexico Department of Agriculture, animal husbandry, rural development, fishery and food (SAGARPA)-agricultural and fishery information service (SIAP), available online at: <http://www.siap.gob.mx>.
- [2] J. Macías Cervantes, S. Peraza Medina, Enfermedades del maíz en el norte de Sinaloa, Agronet 2008, available online at: <http://www.agronet.com.mx/cgi/articles.cgi?Action=Viewhistory&Article=3&Type=A>.
- [3] B. Bakan, D. Melcion, D. Richard-Molard, B. Cahagnier, Fungal growth and fusarium mycotoxin content in isogenic traditional maize and genetically modified maize grown in France and Spain, *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50 (4) (2002) 728-731.
- [4] F. Wu, Mycotoxin reduction in Bt corn: Potential economic, health, and regulatory impacts, *Transgenic Research* 15 (2006) 277-289.
- [5] G.P. Munkvold, R.L. Hellmich, L.G. Rice, Comparison of fumonisin concentrations in kernels of transgenic Bt maize hybrids and non-transgenic hybrids, *Plant Disease* 83 (2) (1999) 130-138.
- [6] M.J. Clements, K.W. Campbell, C.M. Maragos, C. Pilcher, J.M. Headrick, J.K. Pataky, et al., Influence of Cry1Ab protein and hybrid genotype on fumonisin contamination and *Fusarium* ear rot of corn, *Crop Science* 43 (4) (2003) 1283-1293.
- [7] S.A.S. Institute, The SAS System for Windows, Release 9.0. SAS, Institute, Cary N.C., USA, 2002.
- [8] G.P. Munkvold, R.L. Hellmich, W.B. Showers, Reduced fusarium ear rot and symptomless infection in kernels of maize genetically engineered for European corn borer resistance, *Phytopathology* 87 (1997) 1071-1077.
- [9] G.P. Munkvold, R.L. Hellmich, Genetically modified insect resistant corn: Implications for disease management, APSnet Feature, 1999, available online at: <http://www.scisoc.org/feature/BtCorn/Top.htm>.
- [10] F. Masoero, M. Moschini, F. Rossi, A. Prandini, A. Pietri, Nutritive value, mycotoxin contamination and *in vitro* rumen fermentation of normal and genetically modified corn (Cry1A9b) grown in northern Italy, *Maydica* 44 (1999) 205-209.

Table 1 Treatments used to evaluate corncob rot incidence and severity by *Fusarium* sp. and incidence by *Ustilago maydis* in GM corn hybrids Agrisure 3000 GT and Agrisure 3110 at Culiacan, Sinaloa, 2011.

Treatment	Genotype	Insecticide
1	Isoline	Check
2	Isoline + IC	Permethrin-Lambda-cyhalothrin-Emamectin benzoate
3	Agrisure 3000 GT + IC	Permethrin-Lambda-cyhalothrin-Emamectin benzoate
4	Agrisure 3000 GT	No insecticide application
5	Isoline	Check
6	Isoline + IC	Permethrin-Lambda-cyhalothrin-Emamectin benzoate
7	Agrisure 3110 + IC	Permethrin-Lambda-cyhalothrin-Emamectin benzoate
8	Agrisure 3110	No insecticide application

IC = Insecticide control (insecticide application). Check = Isoline without insecticide application.

Table 2 Percent cob rot caused by *Fusarium* sp. and *Ustilago maydis* on genetically modified corn hybrid Agrisure 3000 GT and its conventional isoline.

Treatment	Percent cobs with rot	
	<i>Fusarium</i> sp	<i>Ustilago maydis</i>
Isoline	83.1a	49.7a
Isoline + IC	48.3b	15.5b
Agrisure 3000 GT + IC	25.7c	6.3b
Agrisure 3000 GT	12.5c	3.2b

IC = Insecticide control. Means (a, b, c) followed by the same letter were not significantly different (Scheffé $\alpha = 0.05$).

Table 3 Percent corn cob rot caused by *Fusarium sp.* and *Ustilago maydis* on genetically modified corn hybrid Agrisure 3110 and its conventional isoline.

Treatment	Percent cobs with rot	
	<i>Fusarium sp.</i>	<i>Ustilago maydis</i>
Isoline	60.8a	27.7a
Isoline + IC	29.7b	6.1b
Agrisure 3110 + IC	1.8c	0.7b
Agrisure 3110	0.3c	0.0b

IC = Insecticide control. Means (a, b, c) followed by the same letter were not significantly different (Scheffé = 0.05).

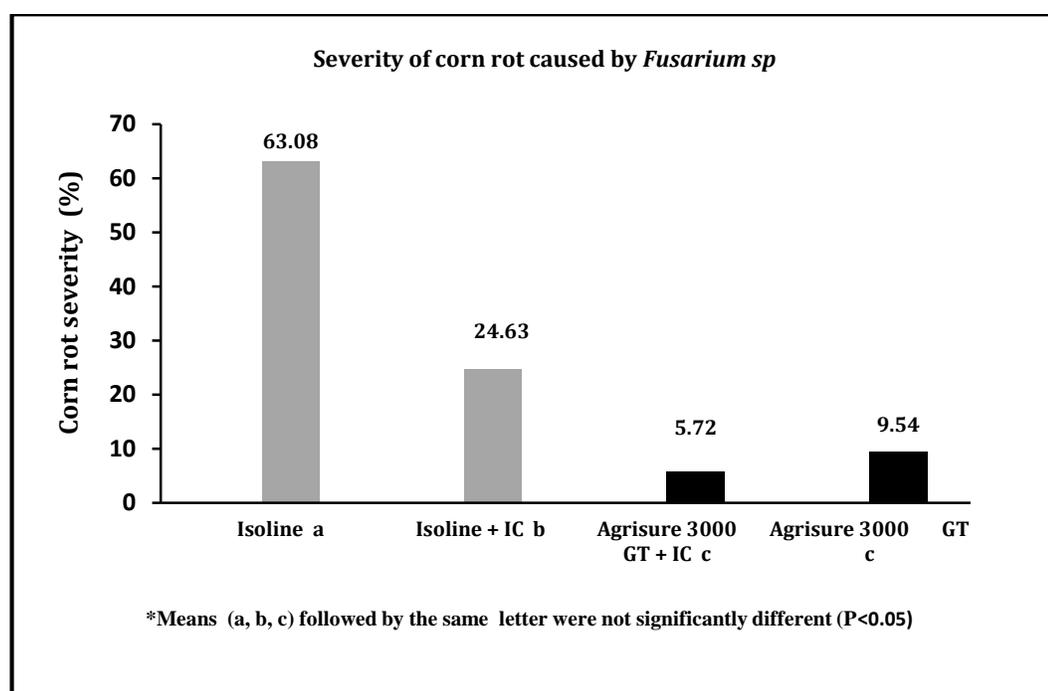


Fig. 1 Cob rot severity caused by *Fusarium sp.* on genetically modified corn Agrisure 3000 GT hybrid and its isoline at Culiacan, Sinaloa. IC = Insecticide control.

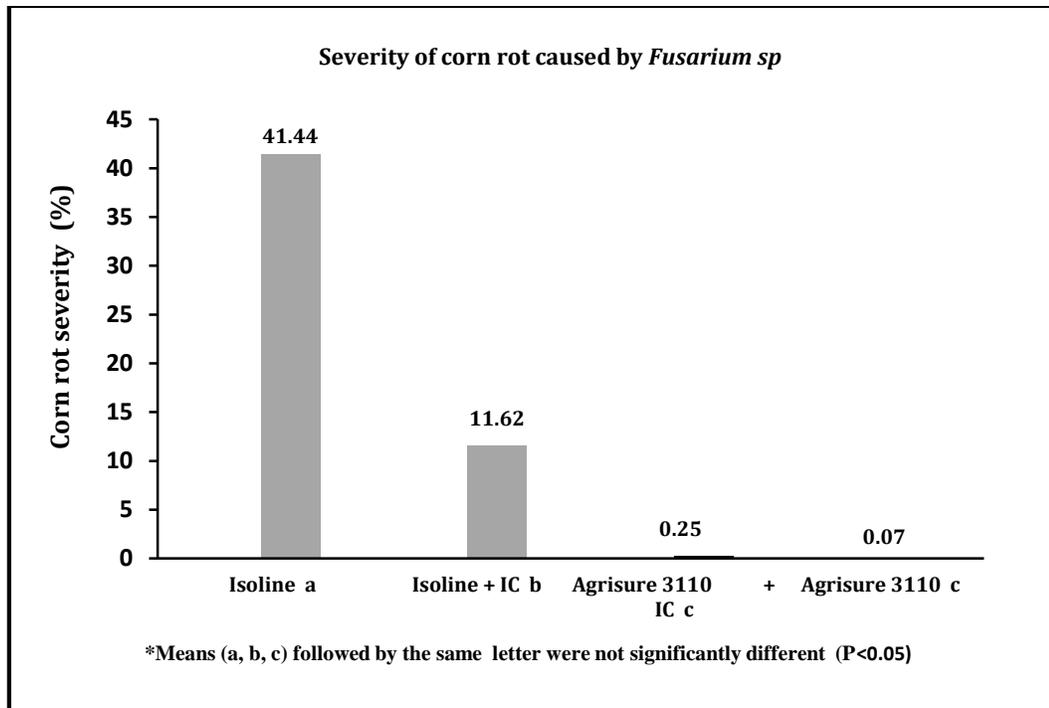


Fig. 2 Cob rot severity caused by *Fusarium* sp on genetically modified corn Agrisure 3110 hybrid and its isoline at Culiacan, Sinaloa. IC = Insecticide control.

Incidencia y severidad de pudrición de mazorcas de maíz genéticamente modificado y convencional en Sinaloa, México

Nota científica enviada a la *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.

Agustín Hernández Juárez, Luis Alberto Aguirre Uribe[&], Mariano Flores Dávila, Ernesto Cerna Chávez, Jerónimo Landeros Flores, Yisa M. Ochoa Fuentes y Gustavo A. Frías Treviño.

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Parasitología. Calzada Antonio Narro # 1923. Buenavista, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México. C.P. 25315. Tel: (844) 411-03-26. chinoahj14@hotmail.com; cisef9@hotmail.com; jabaly1@yahoo.com; jlanflo@hotmail.com; yisa8a@yahoo.com; servesa_gfriast@hotmail.com. [&]Autor para correspondencia: luisaguirreu@yahoo.com.mx

Resumen

La aprobación de maíz genéticamente modificado en México para probar su efectividad, permitió evaluar en maíz con el evento Agrisure® Viptera™ 3111, la incidencia y severidad de pudrición de mazorca por *Fusarium* sp., en dos localidades de Culiacán, Sinaloa. En la localidad de El Camalote, el evento Agrisure® Viptera™ 3111 presentó una menor incidencia y severidad de 47.2 y 22.5 % respectivamente; el híbrido convencional con control de plagas presentó 54.7 y 27.1 % de incidencia y severidad de pudrición y el híbrido convencional sin control de plagas presentó un mayor daño con una incidencia de 59.4 y 35.2 % de severidad. En la evaluación de Oso Viejo, el evento Agrisure® Viptera™ 3111 presentó menor daño con 25.7 y 7.6 % de incidencia y severidad de la enfermedad respectivamente; el híbrido convencional con control de plagas tuvo una incidencia de 67.5 % y una severidad de 38.7 %, y el híbrido convencional sin control de plagas presentó el mayor daño con 80.8 y 53.5 % de incidencia y severidad. El maíz Agrisure® Viptera™ 3111 no fue desarrollado para el manejo

de enfermedades, no obstante; el resultado encontrado demuestra que el maíz genéticamente modificado confiere un beneficio adicional indirecto al de resistencia a insectos plaga, previniendo la formación de puntos de entrada para fitopatógenos que se desarrollan en el tejido susceptible, provocando la pudrición de mazorca.

Palabras clave adicionales: *Bacillus thuringiensis*, enfermedades de mazorca, hongos, plantas transgénicas, *Zea mays*.

Abstract

The approval of genetically modified corn in Mexico to test its effectiveness, allowed the evaluation of the corn hybrid with Agrisure® Viptera™ 3111 event for incidence and severity of *Fusarium* sp ear rot, at two locations in Culiacan, Sinaloa. At El Camalote, the Agrisure® Viptera™ 3111 event had the lower rot incidence and severity with 47.2 and 22.5 % respectively; the conventional hybrid with pest control had 54.7 and 27.1 % rot incidence and severity whereas the conventional hybrid without pest control had the higher damage with an incidence of 59.4 % and 35.2 % severity. The evaluation at Oso Viejo, the Agrisure® Viptera™ 3111 event had the lowest damage with 25.7 and 7.6 % of disease incidence and severity respectively; the conventional hybrid with pest control had an incidence of 67.5 % and 38.7 % severity, and the conventional hybrid without pest control had the highest damage with 80.8 and 53.5 % incidence and severity. Corn Agrisure® Viptera™ 3111 was not developed for disease management; however, results showed that genetically modified corn confers an indirect additional benefit when resistant to insect pests, by preventing points of entry for pathogens that will developed in susceptible tissue, causing ear rot.

Additional keywords: *Bacillus thuringiensis*, Corn cob diseases, fungus, transgenic plants, *Zea mays*.

Introducción

México es uno de los principales productores de maíz (*Zea mays* L.) en el mundo, cuya producción en 2014 fue de 23, 273, 256.54 t, por encima de otros cereales como el trigo, sorgo, cebada, arroz y avena, destacando el estado de Sinaloa con la mayor producción con 3, 686, 274.43 t. La importancia económica de este estado ha ido en aumento debido a su producción a través del doble ciclo de cultivo [primavera-verano y otoño-invierno] (SAGARPA/SIAP, 2015). Este tipo de siembra durante todo el año, favorece el desarrollo de plagas y la proliferación de enfermedades, cuya incidencia representa un potencial de riesgo para el manejo del cultivo.

Entre las enfermedades de mayor importancia económica se encuentra la pudrición de mazorca causada por *Fusarium* sp., la cual se localiza en todas las regiones donde se siembra el maíz, principalmente en zonas tropicales con alta humedad relativa. Este patógeno es capaz de colonizar y causar daño en todas las etapas del cultivo y sobrevivir amplios periodos en residuos vegetales (Thomas y Buddenhagen, 1980; Desjardins *et al.*, 1994; De León, 1997; Mendoza *et al.*, 2003). En semilla, puede invadir y ocasionar manchas en el exterior, reduciendo la tasa de germinación por la muerte del embrión (De León, 1997; González *et al.*, 2007; Morales *et al.*, 2007), además produce micotoxinas que afectan la salud humana y animal (Robledo *et al.*, 2001; Bakan *et al.*, 2002; Desjardins *et al.*, 2006). La severidad de esta enfermedad en maíz causa un efecto directo en la disminución del rendimiento, que para el centro de México, oscila entre 6-55% (González *et al.*, 2007; Briones *et al.*, 2015) y en la zona agrícola de Sinaloa se reportan pérdidas mayores al 30% (García *et al.*, 2012). La incidencia de pudrición se ha incrementado en los últimos años, debido en parte al efecto de la precipitación desde la formación de la espiga hasta la cosecha, y a la presencia de daño mecánico en la mazorca y del grano provocado por el gusano elotero *Helicoverpa zea* (Boddie), gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) y otros insectos, los cuales contribuyen a la diseminación de las esporas de *Fusarium* (De León, 1997; Paliwal *et al.*, 2001; Wu, 2006).

El desarrollo de híbridos de maíz genéticamente modificado (GM), que codifican las proteínas de *Bacillus thuringiensis* Berliner para expresar la δ -endotoxina (maíz Bt), le confiere resistencia a un amplio espectro de plagas de lepidópteros y/o coleópteros (Buntin *et al.*, 2004a, Buntin *et al.*, 2004b, Buntin, 2008, Duan *et al.*, 2008, Hardke *et al.*, 2011); siendo una opción práctica para controlar a estos insectos en el campo, lo que reduce los puntos de entrada para hongos fitopatógenos.

Considerando que el maíz GM fue aprobado para probar su efectividad desde 2009-2013 en México bajo condiciones experimentales, esta investigación tuvo como objetivo evaluar la incidencia y severidad de pudrición de mazorcas por *Fusarium* sp., en maíz genéticamente modificado con el evento Agrisure® Viptera™ 3111, en la zona agrícola de Sinaloa.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó en la eco-región planicie costera sinaloense, en las localidades de El Camalote y Oso Viejo, en Culiacán, Sinaloa, México, durante el ciclo agrícola otoño-invierno. Se utilizó el híbrido de maíz con el evento Agrisure® Viptera™ 3111 que expresa las toxinas Cry1Ab de *B. thuringiensis* var. *Kurstaki* cepa HD1 y Vip3Aa20 de *B. thuringiensis* cepa AB88 que le confiere resistencia a lepidópteros como *Agrotis ipsilon* (Hufnagel), *Diatraea saccharalis* (Fabricius), *S. frugiperda*, *Spodoptera exigua* (Hübner), *Heliothis virescens* (Fabricius), *H. zea*, entre otros y la toxina mCry3A de *B. thuringiensis* subespecie *tenebrionis* que le confiere resistencia a especies de *Diabrotica* (Chevrolat in Dejean); y además, expresa la enzima mutada 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato-sintasa (mEPSPS), que le confiere tolerancia al herbicida Glifosato y Glufosinato de Amonio; se utilizó como testigo, el híbrido convencional sin contar con la inserción de toxinas Cry, materiales que fueron proporcionados por la empresa Syngenta Agro S. A. de C.V. de México.

El estudio experimental se realizó bajo un diseño en bloques completamente al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron

Agrisure® Viptera™ 3111, híbrido convencional e híbrido convencional con control de insectos (híbrido convencional + ci); cuyo establecimiento en las localidades de El Camalote y Oso Viejo se llevó a cabo el 14 y 15 de marzo de 2013 respectivamente. Cada tratamiento consistió de 10 surcos de 5 m de largo y espacio entre surcos de 0.8 m, con una densidad de siembra de 40 semillas por surco y aclareo posterior a 34 plantas por surco. El ensayo fue rodeado con un bordo de maíz convencional que consistió de 6 surcos de 5 m de largo y otro bordo de las mismas dimensiones separando cada repetición del estudio. Al final de ciclo productivo, se contabilizaron 10 mazorcas de forma aleatoria en los cuatro surcos centrales en cada repetición y se evaluó la incidencia, entendido como el número de mazorcas que mostraron síntomas de la enfermedad y la severidad (área total, %) de la enfermedad (pudrición). Los datos se transformaron por raíz cuadrada de arcoseno y se sometieron a un ANVA y la comparación de las medias de los tratamientos se realizó con una prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0.05$), utilizando el software SAS/STAT (SAS Institute, 2002).

Cabe mencionar que las siembras se realizaron en condiciones de bioseguridad, en parcelas con una distancia de más de 500 m de cualquier otra siembra comerciales de maíz y con un desfase de 50 días en la fechas recomendadas de siembra, para no coincidir con la etapa de floración de los predios vecinos y evitar la polinización cruzada; protocolo a seguir para cumplir con los requerimientos de regulación para experimentación en campo con maíz GM en México (LBOGM, 2005; Halsey *et al.*, 2005). La aplicación de insecticida se dirigió al control de lepidópteros, principalmente *S. frugiperda* bajo un umbral de infestación del 10% en plantas menores a los 20 cm y 20% en plantas mayores de 20 cm, basado en las isolíneas, a razón de dos aplicaciones durante el ciclo de cultivo con Benzoato de emamectina (Denim® 19 CE, 200 mL/ha, Syngenta Agro S. A. de C.V. de México). El manejo agronómico del cultivo durante el desarrollo del experimento se realizó con base a las prácticas típicas de la región y de acuerdo con la guía técnica para el cultivo de maíz desarrollada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2010).

Resultados y Discusión

El porcentaje de mazorcas afectadas y el grado de severidad de la enfermedad atribuida al hongo fitopatógeno *Fusarium* sp fue menor en las parcelas de maíz con el evento Agrisure® Viptera™ 3111, en comparación con las parcelas de maíz convencional, incluido el control con insecticida en ambas localidades experimentales. No obstante, en la localidad de El Camalote no hubo diferencia significativa en la incidencia y severidad de pudrición de mazorca entre los materiales evaluados, mientras que en la localidad de Oso Viejo si hubo diferencia significativa entre los tratamientos [$P < 0.05$] donde se presentaron los menores valores de incidencia y severidad de la enfermedad ocasionada por *Fusarium* sp. (Cuadro 1).

Cuadro 1. Incidencia y severidad de pudrición de mazorca por *Fusarium* sp., en maíz genéticamente modificado y convencional en las localidades de El Camalote y Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa; México.

Material genético	Localidad	Incidencia (%) ¹	Severidad (%) ¹
Agrisure® Viptera™ 3111	El Camalote	47.2 a	22.5 a
Hibrido convencional + ci	El Camalote	54.7 a	27.1 a
Hibrido convencional	El Camalote	59.4 a	35.2 a
		$F=0.48$; $gl=2,11$ ns	$F=2.71$; $gl=2,11$ ns
Agrisure® Viptera™ 3111	Oso Viejo	25.7 a	7.6 a
Hibrido convencional + ci	Oso Viejo	67.5 b	38.7 b
Isolínea	Oso Viejo	80.8 b	53.5 b
		$F=64.61$; $gl=2,11$ ***	$F=23.62$; $gl=2,11$ **

¹Datos transformados por raíz cuadrada de arcoseno, ci=control con insecticida, medias entre tratamientos por cada localidad con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey; $P < 0.05$). **, *** Indica significancia contraste valor F a $P < 0.01$, $P < 0.001$ respectivamente; ns, no significativo.

La menor incidencia y severidad de pudrición de mazorca en el evento Agrisure® Viptera™ 3111, probablemente es debido a la protección de la planta hacia el ataque de plagas, principalmente el gusano elotero y cogollero (este último cuando se alimenta de la mazorca), dando como resultado un menor número de mazorcas infestadas, o con lesiones significativamente más pequeñas, previniendo la infestación por patógenos, situación contraria en el híbrido convencional sin control de insectos. En el caso del híbrido con control con insecticida, este en ocasiones no coincide con las etapas de desarrollo de la plaga y su efecto es temporal, puesto que el producto químico solo protege a la planta durante el periodo de residualidad del mismo, además de no tener un efecto eficaz sobre estos insectos, debido a que la larva dentro de la mazorca no está expuesta al ingrediente activo, al estar protegida por las brácteas del elote. La protección del cultivo al ataque de lepidópteros, le confiere al maíz un beneficio adicional indirecto, pues al prevenir el daño por infestaciones de gusano elotero y cogollero y reducir el daño en la mazorca, también reduce la formación de puntos de entrada para hongos fitopatógenos que se desarrollan en el tejido susceptible, ocasionando una reducción en la contaminación de granos de maíz que producen podredumbres causados por *Fusarium* comparado con plantas de maíz convencional, lo cual; bajo condiciones favorables para la pudrición de mazorca puede hacer la diferencia entre un cultivo con rendimientos bajos o una buena cosecha, principalmente en regiones donde la enfermedad es favorecida por la alta humedad en el ambiente.

Es importante minimizar la presencia de *Fusarium* en el grano, ya que la pudrición de mazorca provoca severas pérdidas de cosecha (Betanzos, 2001), limitando su comercialización, ya que el nivel tolerable de contaminación es de 5% de daño permisible y constituye un problema de salud pública por las micotoxinas que produce el fitopatógeno cuando su incidencia y el daño es alto (Mendoza *et al.*, 2006; Betanzos *et al.*, 2009; García *et al.*, 2012).

El maíz GM no ha sido desarrollado para el control de enfermedades como la pudrición de mazorca, sin embargo; el resultado encontrado en el presente estudio demuestra que los híbridos de maíz con el evento Agrisure® Viptera™

3111 presentan menor incidencia y severidad por *Fusarium* sp, lo que podría indicar, que bajo ciertas condiciones, el uso de maíz Bt podría favorecer la inocuidad humana y animal debido a la disminución de los riesgos por consumo de micotoxinas [aflatoxinas, fumonisinas, tricotecenos, zearalenonas, etc.] que afectan la calidad del grano; resultados congruentes con lo encontrado por Munkvold *et al.* (1997), Munkvold *et al.* (1999), Munkvold y Hellmich (1999), Masoero *et al.* (1999), Bakan *et al.* (2002), Clements *et al.* (2003), Wu (2006) y Aguirre *et al.* (2014), quienes sugieren que los híbridos de maíz GM con la inserción de una toxina Cry para el control de insectos influyen en la incidencia y severidad de pudrición de mazorca causada por *Fusarium*, reportando estos; menor pudrición de mazorca e incluso un menor contenido de fumonisinas, en algunos casos 9-10 veces menor en el maíz genéticamente modificado en comparación con sus convencionales.

Cabe mencionar, que este es uno de los primeros resultados que se tienen bajo las condiciones ambientales de México, ofreciendo un acercamiento sobre la pudrición de mazorca en maíz genéticamente modificado; esto debido a que las pruebas experimentales con maíz GM en el país solo se realizaron durante los años 2009-2013, dado que los permisos para experimentación posteriores fueron cancelados o detenidos, lo que no permitió dar seguimiento a evaluaciones de este tipo. Por tal motivo, se requiere dar paso a una siguiente ronda de pruebas experimentales, a fin de robustecer este tipo de información en nuestro país.

Agradecimientos. Los autores agradecen a la compañía Syngenta Agro S. A. de C.V. de México por haber proporcionado los híbridos de la presente investigación.

Literatura Citada

- Aguirre, U. L. A.; Frías, T. G. A.; Hernández, J. A.; Flores, D. M.; Cerna, C. E.; Landeros, F. J. and Ochoa, F. Y. M. 2014. Interaction Between *Helicoverpa zea* Damage with Corn cob Diseases on Genetically Modified Corn in Sinaloa, México. *Journal of Life Sciences* 8(4):329-334.
- Bakan, B.; Melcion, D.; Richard-Molard, D. and Cahagnier, B. 2002. Fungal growth and *Fusarium* mycotoxin content in isogenic traditional maize and

- genetically modified maize grown in France and Spain. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 50(4):728-731.
- Betanzos, M. E.; Ramírez, F. A.; Coutiño, E. B.; Espinosa, P. N.; Sierra, M. M.; Zambada, M. A. y Grajales, S. M. 2009. Híbridos de maíz resistentes a pudrición de mazorca en Chiapas y Veracruz, México. *Agricultura Técnica en México* 35(4):389-398.
- Betanzos, M. E. 2001. Variedades resistentes, una opción para reducir la pudrición de mazorca en Chiapas, México. *Agricultura Técnica en México* 27(1):57-67.
- Briones, R. D.; Castillo, G. F.; Chávez, S. J. L.; Aguilar, R. V. H.; García, A. C. L. y Ramírez, H. A. 2015. Respuesta del maíz nativo del altiplano mexicano a pudrición de mazorca, bajo infección natural. *Agronomía Mesoamericana* 26(1):73-85.
- Buntin, G. D. 2008. Corn expressing Cry1Ab or Cry1F endotoxin for fall armyworm and corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) management in field corn for grain production. *Florida Entomologist* 91(4): 523-530.
- Buntin, G. D.; All, J. N.; Lee, R. D. and Wilson, D. M. 2004a. Plant-Incorporated *Bacillus thuringiensis* resistance for control of fall armyworm and corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) in Corn. *Journal of Economic Entomology* 97(5): 1603-1611.
- Buntin, G. D.; Flanders, K. L. and Lynch, R. E. 2004b. Assessment of Experimental Bt Events Against Fall Armyworm and Corn Earworm in Field Corn. *Journal of Economic Entomology* 97(2): 259-264.
- Clements, M. J.; Campbell, K. W.; Maragos, C. M.; Pilcher, C.; Headrick, J. M.; Pataky, J. K. and White, D. G. 2003. Influence of Cry1Ab Protein and Hybrid Genotype on Fumonisin Contamination and *Fusarium* Ear Rot of Corn. *Crop Science* 43(4): 1283-1293.
- De León C. 1997. Enfermedades del maíz causadas por hongos. Pp: 25-26. *In: I curso Internacional sobre Diagnostico y enfermedades en maíz. Seminario taller de cosecha de maíces de la zona andina. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Cochabamba, Bolivia. Editorial PRODUMEDIOS. Bogotá, Colombia. 94 p.*
- Desjardins, A. E.; Plattner, R. D. and Nelson, P. E. 1994. Fumonisin production and other traits of *Fusarium moniliforme* strains from maize in northeast Mexico. *Applied and Environmental Microbiology* 60(5):1695-1697.
- Desjardins, A. E.; Maragos, C. M. and Proctor, R. H. 2006. Maize ear rot and moniliformin contamination by cryptic species of *Fusarium subglutinans*. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 54(19):7383-7390.
- Duan, J. J.; Teixeira, D.; Huesing, J. E. and Jiang, C. 2008. Assessing the Risk to Nontarget Organisms from *Bt* Corn Resistant to Corn Rootworms (Coleoptera: Chrysomelidae): Tier-I Testing with *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthracoridae). *Environmental Entomology* 37(3): 838-844.
- García, G. C.; Lizárraga, S. G. J.; Armenta, B. A. D. y Apodaca, S. M. A. 2012. Efecto de productos biorracionales en la incidencia de hongos y concentración de aflatoxinas en maíz blanco cultivado en Sinaloa, México. *Revista Científica UDO Agrícola* 12:(4) 830-838.

- González, H. A.; Vázquez, G. L. M.; Sahagún, C. J.; Rodríguez, P. J. E. y Pérez, L. D. J. 2007. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agricultura Técnica en México*. 33(1):33-42.
- Halsey, M. E.; Remund, K. M.; Davis, C. A.; Qualls, M.; Eppard, P. J. and Berberich, S. A. 2005. Isolation of Maize from Pollen Mediated Gene Flow by Time and Distance. *Crop Science* 45(6):2172-2185.
- Hardke, J. T.; Leonard, B. R.; Huang, F. and Jackson, R. E. 2011. Damage and survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic field corn expressing *Bacillus thuringiensis* Cry proteins. *Crop Protection* 30(2): 168-172.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2010. Centro de Investigación Regional del Noreste (CIRNO). Campo Experimental Valle de Culiacán (CEVACU). Maíz. pp. 41-47. In: Guía técnica para el área de influencia del Campo Experimental Valle de Culiacán. Culiacán, Sinaloa; México. 224 p.
- Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM). 2005. Diario Oficial de la Federación 18 de marzo de 2005. México, D.F.
- Masoero, F.; Moschini, M.; Rossi, F.; Prandini, A. and Pietri, A. 1999. Nutritive value, mycotoxin contamination and in vitro rumen fermentation of normal and genetically modified corn (Cry1A9b) grown in northern Italy. *Maydica* 44:205-209.
- Mendoza, E. M.; Andrio, E. E.; López, B. A.; Rodríguez, G. R.; Latournerie, M. L. y Rodríguez, H. S. A. 2006. Tasa de infección de la pudrición del tallo en maíz causada por *Fusarium moniliforme*. *Agronomía Mesoamericana* 17(1):19-24.
- Mendoza, E. M.; López, B. A.; Oyervides, G. A.; Martínez, Z. G.; De León, C. y Moreno, M. E. 2003. Herencia genética y citoplásmica de la resistencia a la pudrición de la mazorca del maíz (*Zea mays* L.) causada por *Fusarium moniliforme* Sheld. *Revista Mexicana de Fitopatología* 21(3):267-271.
- Morales, R. I.; Yañez, M. M. J.; Silva, R. H. V.; García, S. G. and Guzmán, P. D. A. 2007. Biodiversity of *Fusarium* species in Mexico associated with ear rot in maize, and their identification using a phylogenetic approach. *Mycopathologia* 163(1):31-39.
- Munkvold, G. P. and Hellmich, R. L. 1999. Genetically modified insect resistant corn: Implications for disease management. APSnet Feature. In: <http://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/InsectResistantCorn.aspx>. Online. doi: 10.1094/APSnetFeature-1999-1199 (Fecha de consulta: agosto, 2015).
- Munkvold, G. P.; Hellmich, R. L. and Showers, W. B. 1997. Reduced fusarium ear rot and symptomless infection in kernels of maize genetically engineered for European corn borer resistance. *Phytopathology* 87(10):1071-1077.
- Munkvold, G. P.; Hellmich, R. L. and Rice LG. 1999. Comparison of fumonisin concentrations in kernels of transgenic Bt maize hybrids and non-transgenic hybrids. *Plant Disease* 83(2):130-138.
- Paliwal, R. L.; Granados, G.; Lafitte, H. R. y Volic, A. D. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Depósito de documentos de la Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). Roma, Italia en: <http://w>

- www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm (Fecha de consulta: agosto, 2015).
- Robledo, M. L.; Marín, S. y Ramos, A. J. 2001. Contaminación natural con micotoxinas en maíz forrajero y granos de café verde en el Estado de Nayarit (México). *Revista Iberoamericana de Micología* 18:141-144.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2015. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). En: www.siap.gob.mx/index (Fecha de consulta: agosto, 2015).
- S.A.S. Institute. 2002. *The SAS System for Windows, Release 9.0*. SAS, Institute, Cary N. C. U.S.A.
- Thomas, M. D. and Buddenhagen, I. W. 1980. Incidence and persistence of *fusarium moniliforme* in symptomless maize kernels and seedlings in Nigeria. *Mycologia* 72(5):882-887.
- Wu, F. 2006. Mycotoxin reduction in Bt corn: potential economic, health, and regulatory impacts. *Transgenic Research* 15(3):277-289.

Efecto del maíz genéticamente modificado sobre la abundancia de artrópodos no blanco en Sinaloa, México

Genetically modified corn effect over non-target arthropod abundance in Sinaloa, Mexico

Agustín Hernández-Juárez, Luis A. Aguirre-Uribe*, Mariano Flores-Dávila, Gustavo A. Frías-Treviño¹, Ernesto Cerna-Chávez y Jerónimo Landeros-Flores.

Departamento de Parasitología, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, C.P. 25315, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

*Autor para correspondencia; e-mail: luisaguirreu@yahoo.com.mx

Resumen. El maíz genéticamente modificado (GM) para resistencia a insectos, mediado por la proteína cristal (Cry) producida por *Bacillus thuringiensis* (Bt), es el cultivo biotecnológico con mayor adopción. En el agro-ecosistema maíz, además de los insectos blancos de la toxina Cry, se presenta toda una red trófica que incluye a artrópodos pertenecientes o no a los órdenes bajo control y que están en contacto con los cultivos. En Mexico, se desconocen los efectos del maíz GM, por lo que se evaluó el efecto del maíz GM, AgrisureTM 3000 GT, Agrisure[®] VipteraTM 3110, Agrisure[®] VipteraTM 3111 sobre la abundancia de los artrópodos no blanco asociados al agroecosistema maíz, en localidades de Sinaloa, durante tres años. Se realizaron muestreos cada 7 días con trampas amarillas de pegamento, trampas pitfall y se capturaron con red entomológica y quincenalmente se realizaron observaciones visuales dirigidas a *Orius insidiosus*, *Chrysoperla carnea*, *Coleomegilla maculata* y *Chaetocnema pulicaria*. Se determinaron los atributos de la comunidad; número de familias y abundancia y con ambos atributos se estimaron la diversidad, riqueza y uniformidad de la diversidad. Los datos de la abundancia fueron analizados mediante estadística

no paramétrica con la prueba de Kruskal-Wallis. Se registró una abundancia total de 164,182 ejemplares de artrópodos, en 16 órdenes y 153 familias distintas, entre los tres tipos de trampeo, en general con una mayor abundancia en los híbridos genéticamente modificados, principalmente fitófagos y depredadores, mientras que los parasitoides y saprófagos se distribuyeron entre híbridos de maíz genéticamente modificado y convencionales. Mientras que inspecciones visuales se registró un total de 7,467 ejemplares entre los híbridos genéticamente modificados y convencionales, de los cuales 3,786 se contabilizaron en el Oso Viejo y 3,681 en El Camalote, no obstante, la diferencia de abundancia entre híbridos no presenta diferencias, observándose similaridad y homogeneidad en general entre comunidades bióticas con diversidades propias de su distribución en el agroecosistema; indicando que los híbridos con la inserción de genes de *B. thuringiensis* no ejercen un efecto negativo sobre la abundancia de estos artrópodos. La mayor densidad de artrópodos en los híbridos GM, es propia de la distribución espacial de cada comunidad dentro del agroecosistema, además; esta generalmente en función de la búsqueda de alimento y de mejores condiciones físicas de hábitat. Estos resultados permiten concluir que la toxinas de *B. thuringiensis* que expresa el maíz genéticamente modificado no tiene un efecto negativo sobre la abundancia de artrópodos no blanco.

Palabras clave: Maíz Bt, fitófagos, depredadores, parasitoides, saprófagos

Introducción

La tecnología del ADN recombinante ha revolucionado la producción agrícola, con híbridos modificados genéticamente para resistencia a insectos, mediados por la proteína cristal (Cry) producida por *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bacillales: Bacillaceae) (Bt), denominada δ -endotoxina, de tal modo que expresen esta proteína con actividad insecticida selectiva, ante el ataque de insectos plaga de importancia, principalmente del Orden Lepidoptera y Coleoptera (Silva 2005, Bruck et al. 2006).

Los cultivos genéticamente modificados representan la primera generación de cultivos transgénicos insecticidas (Sisterson et al. 2007) y tras 19 años de su comercialización, plantados por primera vez en 1996, los considerables beneficios económicos, ambientales y sociales que ofrecen, han llevado a millones de agricultores de todo el mundo a seguir aumentando la superficie agrobiotecnológica, con una superficie acumulada histórica mundial que supera la cifra de 1.7 millones de hectáreas en 1996 a 181.5 millones de hectáreas en 2014, aumentando más de 100 veces, en 28 países productores de cultivos biotecnológicos, de los cuales 20 se encuentran en desarrollo y 8 son países industrializados (James 2014).

Estos cultivos, reducen la dependencia de insecticidas químicos convencionales y son una alternativa ecológica, pues; en comparación con los insecticidas químicos, son menos perjudiciales para la vida silvestre, debido a su baja toxicidad para los vertebrados y a la mayoría de los invertebrados (Tabashnik et al. 2002; Tabashnik et al. 2004).

El maíz Bt es el cultivo con mayor adopción como cultivo biotecnológico. Inicialmente se desarrollaron híbridos con una proteína cristal de Bt para reducir el daño de barrenadores del tallo *Ostrinia nubilalis* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae), *Diatraea grandiosella* Dyar, *Diatraea saccharalis* (F.) (Lepidoptera: Crambidae), y posteriormente para gusano elotero *Helicoverpa zea* (Boddie) y gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) (Abel et al. 2000; Castro et al. 2004; Buntin 2008; Duan et al. 2008; Hardke et al. 2011; Hussein et al. 2012); no obstante, para mejorar esta estrategia de manejo, se realizó la inserción de más de un gen (evento piramidal) para expresar más variantes de la toxina Bt, intensificando su efectividad insecticida (Burkness et al. 2010; Niu et al. 2013; Yang et al. 2013).

En el agro-ecosistema maíz además de los insectos blanco de la toxina Cry, se presenta toda una red trófica que incluye a artrópodos pertenecientes o no a los órdenes bajo control y que están en contacto con los cultivos. La mayoría de ellos entrarían en contacto con la proteína Cry al consumir partes de la planta directa o indirectamente en las cadenas tróficas pudiendo quedar expuestos a la acción

tóxica, aunque esta proteína posee alta especificidad respecto a insectos blanco (Groot y Dicke 2002).

En distintas regiones ya se ha discutido si la siembra de cultivos Bt y el aumento en su aplicación expone a los organismos no blanco y si la expresión de las toxinas de Bt puede dañar a insectos no blanco (Dively y Rose 2002; Candolfi et al. 2004; Daly y Buntin 2005; Harwood et al. 2005; Marvier et al. 2007), quedando demostrado que los efectos en el caso del maíz Bt en campo parecen prácticamente inexistentes, aunque no se descarta la posibilidad que algún híbrido Bt presente un riesgo para la comunidad de artrópodos, principalmente enemigos naturales que juegan un rol importante en la regulación de plagas y se les considera de gran valor económico (Dively y Rose 2002; Dutton et al. 2003; Obrist et al. 2006).

En Mexico, existe preocupación; debido a que se desconocen los efectos del maíz Bt sobre los componentes de la cadena trófica, que no son blanco de la toxina Cry. Por tal motivo, el objetivo fue evaluar el efecto del maíz genéticamente modificado sobre la abundancia de artrópodos no blanco asociados al agroecosistema maíz en Sinaloa, Mexico.

Materiales y métodos

Localización: La investigación se realizó en Oso Viejo, El Dorado y El Camalote en el municipio de Culiacán y en el municipio de Navolato, en Sinaloa, durante los años 2011-2013. Las siembras se realizaron en condiciones de bioseguridad, en parcelas con una distancia de más de 500 m de cualquier otro lote con siembra comercial de maíz y con un desfase de 21 días en la fechas recomendadas de siembra, para no coincidir con la etapa de floración de los predios vecinos y evitar la polinización cruzada; protocolo a seguir para cumplir con los requerimientos de regulación para experimentación en campo con maíz genéticamente modificado en México (Halsey et al. 2005; LBOGM 2005).

Híbridos de prueba: Se utilizaron los híbridos de maíz genéticamente modificado Agrisure™ 3000 GT que expresa las toxinas Cry1Ab y mCry3A,

Agrisure® Viptera™ 3110 que expresa las toxinas Cry1Ab y Vip3A20 y Agrisure® Viptera™ 3111 que expresa las toxinas Cry1Ab, Vip3A20 y mCry3A; de estas, la Cry1Ab y Vip3A20 le confieren resistencia a Lepidoptera y mCry3A con resistencia a Coleoptera y se compararon con un híbrido convencional, sin contener la toxina de Bt. Todos los materiales fueron proporcionados por Syngenta Agro S.A. de C.V.-México (San Lorenzo 1009, Primer Piso, Colonia Del Valle, 03100, México, D.F.).

Diseño experimental: El experimento se realizó bajo un diseño en bloques completamente al azar en cada localidad y fecha.

El 28 de enero de 2011, se sembró en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, los híbridos Agrisure™ 3000 GT y Agrisure® Viptera™ 3110 y sus respectivos híbridos convencionales; bajo un diseño de 2 tratamientos, con cuatro repeticiones, para cada híbrido Bt. En 2012, se realizaron siembras el 15 de febrero de los híbridos Agrisure® Viptera™ 3111, Agrisure™ 3000 GT en Navolato, Sinaloa y su respectivo híbrido convencional y el 19 de febrero en El Dorado, Culiacán, se sembró el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 y su híbrido convencional. En ambas localidades, se estableció por cada híbrido Bt un diseño de 2 tratamientos con 3 repeticiones. En 2013, se realizó la siembra del híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 y su híbrido convencional en las localidades de El Camalote y Oso Viejo, Culiacán el 14 y 15 de marzo, respectivamente. En ambas localidades se estableció un diseño de tres tratamientos y cuatro repeticiones; en este año, se incluyó un control con insecticida químico en un híbrido convencional con Benzoato de emamectina (Denim®19 CE, 200 mL i. a. /ha; Syngenta Agro). Se realizaron dos aplicaciones de insecticida dirigidas principalmente al control de *S. frugiperda*; la primera se realizó en la etapa V4 (número de hojas completamente desarrolladas) y la segunda en la etapa V8.

Cada tratamiento consto de 10 surcos de 5 m y espacio entre surcos de 0.8 m, con una densidad de siembra de 40-50 semillas por surco y aclareo posterior a 34 plantas. El experimento fue rodeado con un bordo de maíz convencional que consistió de 6 surcos de 5 m de largo y otro bordo de las mismas dimensiones separando cada repetición del estudio. El manejo agronómico del cultivo durante

el desarrollo del experimento se realizó con base a las prácticas típicas de cada región y de acuerdo con la guía técnica para el cultivo de maíz desarrollada por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-CIRNO 2010).

Muestreo de insectos: Para la obtención de los artrópodos se colocaron estaciones de trampeo (Trampas Amarillas y Trampas Pitfall) y se capturaron con red entomológica, con la finalidad de obtener la mayor cantidad de insectos en todos los estratos de la planta. Los muestreos iniciaron 30 días después de la siembra y hasta 1 semana antes de la cosecha (plantas de 1.4 m)

Red Entomológica. Este tipo de muestreo se utilizó para artrópodos muy móviles y consistió en dar 10 pases dobles de red (38 cm de diámetro) en los cuatro surcos centrales en cada tratamiento. Esta actividad se realizó semanalmente y los insectos capturados se colocaron en alcohol al 70%, se etiquetaron y trasladaron al laboratorio.

Trampas Amarillas o pegajosas. Este tipo de muestreo se utilizó para medir el número de artrópodos en el área cercana al tallo, hojas e inflorescencia y consistió de una trampa de acrílico de color amarillo de 20 x 20 cm con adhesivo (pegamento) expuesto de un solo lado en cada tratamiento, colocadas en estacas de madera (postes o tablas con punta) dentro de los cuatro surcos centrales, perpendicular al suelo y al surco, en la parte central de este, al nivel del follaje de la planta, ajustándola al crecimiento de la misma. Las trampas semanalmente se recogieron/cambiaron, se etiquetaron y transportaron al laboratorio con el adhesivo hacia adentro sin doblarse totalmente, en bolsas de polietileno transparente y se conservaron a -4 °C (Bruck et al. 2006; Rose y Dively 2007).

Trampas Pitfall o de caída. Este tipo de muestreo se utilizó para los artrópodos caminadores y consistió de una trampa (envase de plástico de 15 cm de diámetro por 12 cm de profundidad) colocado dentro de los cuatro surcos centrales y sobre el surco, las trampas se colocaron en orificios en el suelo de manera que quede la parte superior al nivel de la superficie y en el interior se colocó una cantidad aproximada de 200 a 300 cc de substancia jabonosa para capturar los artrópodos caminadores. Las trampas permanecieron en campo una semana, al cabo de la

cual fueron remplazadas, etiquetadas y trasladadas al laboratorio. El contenido de la trampa se colocó sobre una tela fina para su tamizado y retirar el excedente de jabón; extraer los artrópodos de gran tamaño y posteriormente lavar el contenido con agua corriente para su filtrado y separación de artrópodos más pequeños; y resguardarlos en alcohol al 70% (Rose y Dively 2007). Todos los artrópodos fueron trasladados al Laboratorio de Taxonomía de Insectos del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, donde se contaron e identificaron a nivel de Familia y se clasificaron por nivel o estructura trófica, utilizando como apoyo un microscopio estereoscopio binocular Carl Zeiss y un Olympus SZ21 6X, y claves taxonómicas y publicaciones (Borror y White 1970; Krantz 1970; McAlpine et al. 1981; White 1983; McAlpine et al. 1987; Gauld y Bolton 1988; McAlpine y Wood 1989; Goulet y Huber 1993; Schuh y Slater 1995; Gibson *et al.*1997; Triplehorn y Johnson 2005; Fernandez y Sharkey 2006; Bautista, 2006; Bahena 2008; Nájera y Souza 2010; Noyes 2011).

Inspecciones visuales. Este tipo de muestreo se realizó en las localidades de Oso Viejo y El Camalote durante el año 2013 y fue dirigido hacia *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae), *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae), *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae) y *Chaetocnema pulicaria* (Coleoptera: Chrysomelidae), especies abundantes e importantes en el cultivo. Esta actividad se realizó quincenalmente, tomando al azar 10 plantas y examinándolas minuciosamente desde la base de la planta hasta la hoja más joven o espiga. Las especies observadas e identificadas fueron contabilizadas y registradas para su análisis y determinar su frecuencia y curva de fluctuación, esto con el objetivo de observar cambios en la densidad poblacional.

Con el conteo e identificación de los tres tipos de trampeo (trampas amarillas, trampas pitfall y red entomológica) se determinaron los atributos de la comunidad; número de familias y abundancia de artrópodos por familia y con ambos atributos se estimaron la diversidad, riqueza y uniformidad de la diversidad. La diversidad se calculó con el índice de Shannon-Wiener (Moreno, 2001; Magurran, 2004); índice que representa el valor de la diversidad en una población y fue calculado

con la fórmula $H' = -\sum p_i \ln p_i$; donde: H' = Índice de Shannon-Wiener; P_i es la proporción de cada especie en el total de la población del sitio de muestreo, calculado como una media de la comunidad $F_{ri} / \sum F_{ri}$; F_{ri} es la densidad relativa de la especie i ; $\sum F_{ri}$ es la sumatoria de todas las densidades de todas las especies observadas. Se determinó la riqueza de artrópodos mediante el índice de diversidad de Margalef (D_{mg}) (Moreno, 2001; Magurran, 2004), mediante la fórmula $D_{mg} = S - 1 / \ln N$; donde S es el número de familias encontradas y N es el número de individuos observados; este índice mide la riqueza de manera independiente al tamaño de la muestra, se basan en la relación entre el número de familias y el número total de individuos observados, que se incrementa con el tamaño de la muestra.

Como medida de heterogeneidad del índice de diversidad de Shannon-Wiener, se calculó el índice de Índice de uniformidad del Pielou (J'), mediante la fórmula $J' = H' / \ln S$; donde H' es el índice de Shannon-Wiener y S es el número de familias recolectadas. Este índice representa la uniformidad de una comunidad, con valores de J' que oscilan entre 0 y 1; valores altos indican baja variación entre las especies dentro de una población dada (Magurran, 2004).

Los datos de la abundancia de artrópodos en los tres primeros trampeos y la abundancia resultante de las inspecciones visuales fueron analizados mediante estadística no paramétrica con la prueba de Kruskal-Wallis (2011, 2013), prueba aplicada para tres o más grupos y la prueba de U Mann-Whitney (2012), prueba aplicada a dos muestras; ambas utilizando el software Minitab 16 Statistical (Minitab, Inc.). Pruebas que utilizan rangos de datos de muestras independientes para probar la hipótesis de que las muestras provienen de poblaciones con medianas iguales con el objetivo de detectar diferencias entre las poblaciones de maíz genéticamente modificado y convencional.

Resultados

Abundancia de artrópodos. Se registró una abundancia total de 164,182 ejemplares de artrópodos identificados a nivel de familia durante 3 años en híbridos de maíz genéticamente modificado y convencional en localidades del estado de Sinaloa. Por cada localidad e híbrido, con base a cada diseño experimental, se realizó el registro de los artrópodos de los tres tipos de trapeo.

Fitófagos: Durante los tres años se registró una abundancia de 85,186 ejemplares, entre el maíz genéticamente modificado y convencional, en las distintas localidades.

En 2011, en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, se registró una abundancia de 5,515 fitófagos, de los cuales 3,016 (54.7%) se encontraron en el híbrido Agrisure™ 3000 GT y 2,499 (45.3%) en su híbrido convencional; ubicados en 20 familias distintas entre los tratamientos; de las cuales, las 20 familias se localizaron en el maíz Agrisure™ 3000 GT y 17 en el híbrido de maíz convencional (Cuadro 1), en esta evaluación se encontró una mayor diversidad y riqueza en el Agrisure™ 3000 GT ($H' = 1.24 \pm 0.09$; $D_{mg} = 2.37$) seguido del híbrido convencional ($H' = 1.22 \pm 0.09$; $D_{mg} = 2.04$) y una distribución de ambas comunidades similares entre sí, con una uniformidad heterogénea entre estos híbridos, (Agrisure™ 3000 GT, $J' = 0.41$; híbrido convencional, $J' = 0.43$), dado que no están representadas todas las especies en igual de abundancia. En la misma localidad, con la evaluación del híbrido Agrisure® Viptera™ 3110, se recolectó una abundancia de 2911 fitófagos, de estos, 1,624 (55.8%) correspondieron al híbrido Agrisure® Viptera™ 3110 y 1,287 fitófagos (44.2%) se registraron en su híbrido convencional, distribuidos en un total de 17 familias distintas, 17 en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3110 y 16 en su híbrido convencional (Cuadro 1). De esta abundancia se determinó una mayor diversidad en el híbrido convencional ($H' = 1.96 \pm 0.12$) sobre el híbrido Agrisure® Viptera™ 3110 ($H' = 1.61 \pm 0.10$) y una mayor riqueza en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3110 ($D_{mg} = 2.16$), sobre el híbrido convencional ($D_{mg} = 2.09$); mientras que la proporción de la diversidad es más homogénea en el híbrido convencional ($J' = 0.71$), cuyas especies están más representadas en la

comunidad, y en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3110 es homogénea, con un valor más bajo ($J' = 0.57$), indicando que las especies no se encuentran en igualdad de abundancia. En ambos experimentos se encontró que la densidad poblacional entre los híbridos de maíz evaluados no presenta diferencias (Agrisure™ 3000 GT-híbrido convencional, $g=1$, $p=0.951$; Agrisure® Viptera™ 3110-híbrido convencional, $g=1$, $p=0.843$), indicando que las poblaciones son similares.

Cuadro 1. Fitófagos en maíz Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3110 y sus convencionales en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, 2011.

Orden	Familia ¹	Agrisure™ 3000 GT	Híbrido convencional	Agrisure® Viptera™ 3110	Híbrido convencional
Acari	Tetranychidae	7	1	1	0
Orthoptera	Gryllidae	2	3	9	3
Embiidina	Oligotomidae	3	2	3	1
Hemiptera	Aphididae	16	16	27	22
Hemiptera	Cicadellidae	53	38	36	28
Hemiptera	Cixiidae	1	0	0	0
Hemiptera	Miridae	2	0	0	0
Hemiptera	Psyllidae	35	4	13	13
Thysanoptera	Thripidae	1952	1686	882	333
Psocoptera	Caeciliusidae	164	141	61	84
Psocoptera	Dasydemellidae	572	331	282	360
Coleoptera	Bruchidae	26	8	15	6
Coleoptera	Chrysomelidae	43	48	44	50
Coleoptera	Tenebrionidae	1	0	0	0
Lepidoptera	Gelechiidae	23	21	16	3
Lepidoptera	Noctuidae	2	5	15	22
Diptera	Cecidomyiidae	22	14	38	60
Diptera	Chloropidae	75	154	147	223
Diptera	Drosophilidae	6	1	1	2
Diptera	Ulidiidae	11	26	34	77
Total		3016	2499	1624	1287

¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

En 2012, en Navolato Sinaloa, se contabilizó una abundancia de 26,039 fitófagos, de los cuales 14,866 (57.1%) se recolectaron en el maíz Agrisure™ 3000 GT y en menor cantidad con 11,173 fitófagos (42.9%) en la parcela de maíz híbrido convencional, distribuidos en 45 familias distintas entre los tratamientos; de estas, 37 se localizaron en el maíz Agrisure™ 3000 GT y 39 en el híbrido de maíz convencional (Cuadro 2). En esta evaluación se determinó una mayor diversidad y riqueza en el híbrido convencional ($H' = 1.83 \pm 0.09$; $D_{mg} = 4.08$) sobre el híbrido Agrisure™ 3000 GT ($H' = 1.43 \pm 0.08$; $D_{mg} = 3.75$) y uniformidad heterogénea entre poblaciones de estos híbridos (Agrisure™ 3000 GT, $J' = 0.40$; híbrido convencional $J' = 0.50$). En la misma localidad, con la evaluación del híbrido Agrisure® Viptera™ 3111, se registró una abundancia de 25,343 fitófagos, de los cuales 13,367 (52.7%) se recolectaron en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y en menor cantidad con 11,976 fitófagos (47.3%) en la parcela de maíz híbrido convencional, ubicados en 41 familias distintas; 35 ubicadas en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y 37 familias en el híbrido de maíz convencional (Cuadro 2).

La diversidad fue mayor en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($H' = 1.67 \pm 0.09$) sobre el híbrido convencional ($H' = 1.60 \pm 0.09$) y la riqueza fue superior en el híbrido convencional ($D_{mg} = 3.83$), sobre el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($D_{mg} = 3.58$) y uniformidad similar entre estos híbridos, con especies en abundancia desiguales con una diversidad heterogénea (Agrisure® Viptera™ 3111, $J' = 0.47$; híbrido convencional, $J' = 0.44$).

En ambos experimentos la abundancia entre híbridos de maíz no reflejó diferencias significativas, indicando que las poblaciones son similares (Agrisure™ 3000 GT-convencional, $g/l = 1$, $p = 0.958$; Agrisure® Viptera™ 3111-convencional $g/l = 1$, $p = 0.761$).

Cuadro 2. Fitófagos en maíz Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3111 y sus convencionales en Navolato, Sinaloa, 2012.

Orden	Familia ¹	Agrisure™ 3000 GT	Hibrido convencional	Agrisure® Viptera™ 3111	Hibrido convencional
Acari	Tetranychidae	2	0	2	6
Orthoptera	Gryllidae	13	9	11	8
Orthoptera	Tanaoceridae	1	1	0	0
Orthoptera	Tettigonidae	1	0	1	0
Isoptera	Termitidae	0	0	1	0
Hemiptera	Aleyrodidae	7076	2275	2585	3776
Hemiptera	Aphididae	36	18	12	13
Hemiptera	Cercopidae	0	0	1	0
Hemiptera	Cicadellidae	432	360	427	348
Hemiptera	Coccidae	0	1	0	0
Hemiptera	Delphacidae	23	10	10	13
Hemiptera	Lygaeidae	1	3	5	2
Hemiptera	Membracidae	0	0	0	1
Hemiptera	Miridae	45	24	11	13
Hemiptera	Pentatomidae	1	0	0	0
Hemiptera	Pyrrhocoridae	0	1	0	3
Hemiptera	Psyllidae	62	45	50	46
Hemiptera	Scutelleridae	0	0	0	1
Hemiptera	Tingidae	1	0	21	1
Thysanoptera	Phlaeothripidae	14	5	2	9
Thysanoptera	Thripidae	5228	4090	6029	5005
Psocoptera	Caeciliusidae	50	130	114	176
Psocoptera	Dasydemellidae	82	79	40	63
Psocoptera	Ectopsocidae	8	5	10	3
Psocoptera	Lachesillidae	0	4	7	3
Psocoptera	Liposcelidae	5	4	2	2
Psocoptera	Pseudocaecilidae	0	0	0	1
Psocoptera	Psocidae	91	146	151	162
Coleoptera	Anobiidae	1	3	1	1
Coleoptera	Bostrichidae	0	1	0	0

Coleoptera	Chrysomelidae	31	34	27	47
Coleoptera	Curculionidae	0	0	1	0
Coleoptera	Elateridae	1	1	0	0
Coleoptera	Lyctidae	1	0	0	0
Coleoptera	Mordellidae	1	1	0	0
Coleoptera	Scarabaeidae	1	0	0	0
Coleoptera	Scolytidae	0	2	0	0
Coleoptera	Silvanidae	31	45	46	35
Coleoptera	Tenebrionidae	0	1	0	0
Coleoptera	Trogidae	0	1	0	0
Lepidoptera	Gelechiidae	2	1	2	6
Lepidoptera	Noctuidae	12	33	22	19
Lepidoptera	Pieridae	0	0	0	1
Lepidoptera	Pyralidae	2	2	0	0
Diptera	Agromyzidae	532	2486	191	66
Diptera	Chloropidae	40	30	20	23
Diptera	Cecidomyiidae	236	274	2306	158
Diptera	Cylindrotomidae	0	0	1	3
Diptera	Drosophilidae	16	137	108	92
Diptera	Ephydriidae	274	134	153	261
Diptera	Lonchaeidae	6	5	8	7
Diptera	Tephritidae	0	3	0	1
Diptera	Ulidiidae	507	769	989	1601
Total		14866	11173	13367	11976

¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

En 2012, en El Dorado, Sinaloa, se registró una abundancia de 6,670 fitófagos, de estos 4023 (60.3%) se recolectaron en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y en menor cantidad en el híbrido convencional con 2,647 (39.7%), abundancia que no presento diferencias entre tratamientos ($g=1$, $p=0.369$); distribuida en 45 familias distintas, de las cuales, se localizaron 43 en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y 38 en el maíz híbrido convencional (Cuadro 3). Se determinó una mayor diversidad y riqueza en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($H' = 2.53 \pm 0.09$; $D_{mg} = 5.06$) sobre el híbrido convencional ($H' = 2.20 \pm 0.09$; $D_{mg} = 4.70$) y uniformidad

homogénea similar entre poblaciones de estos híbridos (Agrisure® Viptera™ 3111, $J^2=0.67$; híbrido convencional, $J^2=0.60$).

Cuadro 3. Fitófagos en maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y convencional en El Dorado, Sinaloa, 2012.

Orden	Familia¹	Agrisure® Viptera™ 3111	Híbrido convencional
Acari	Tetranychidae	2	3
Orthoptera	Gryllidae	6	7
Hemiptera	Aleyrodidae	727	243
Hemiptera	Aphididae	66	28
Hemiptera	Cercopidae	6	4
Hemiptera	Cicadellidae	542	647
Hemiptera	Coccidae	1	0
Hemiptera	Delphacidae	133	34
Hemiptera	Lygaeidae	16	1
Hemiptera	Membracidae	3	0
Hemiptera	Miridae	25	3
Hemiptera	Piesmatidae	1	1
Hemiptera	Pyrrhocoridae	2	0
Hemiptera	Psyllidae	38	19
Hemiptera	Scutelleridae	2	0
Hemiptera	Tingidae	4	4
Thysanoptera	Phlaeothripidae	7	2
Thysanoptera	Thripidae	587	231
Psocoptera	Caeciliusidae	121	110
Psocoptera	Dasydemellidae	36	11
Psocoptera	Ectopsocidae	2	2
Psocoptera	Lachesillidae	0	7
Psocoptera	Liposcelidae	15	6
Psocoptera	Psocidae	60	43
Coleoptera	Anobiidae	1	2
Coleoptera	Chrysomelidae	298	135
Coleoptera	Curculionidae	8	2

Coleoptera	Elateridae	4	1
Coleoptera	Mordellidae	4	1
Coleoptera	Scarabaeidae	1	0
Coleoptera	Scolytidae	4	1
Coleoptera	Silvanidae	18	1
Coleoptera	Tenebrionidae	2	2
Lepidoptera	Gelechiidae	14	11
Lepidoptera	Noctuidae	12	11
Lepidoptera	Pieridae	1	0
Lepidoptera	Pyralidae	7	4
Diptera	Agromyzidae	82	22
Diptera	Bibionidae	0	1
Diptera	Chloropidae	62	17
Diptera	Cecidomyiidae	257	245
Diptera	Drosophilidae	137	15
Diptera	Ephydriidae	51	27
Diptera	Tephritidae	1	0
Diptera	Ulidiidae	657	743
Total		4023	2647

¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

En 2013, en la localidad de El Camalote, se encontró una abundancia de 10,370 fitófagos, de los cuales 2,564 (24.7%) se encontraron en la parcela de maíz híbrido convencional (testigo absoluto), 3,787 (36.5%) en la parcela de maíz híbrido convencional con manejo de insectos (testigo químico) y 4,019 fitófagos (38.8%) en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111, abundancia que no reflejo diferencias entre los híbridos evaluados ($g=2$, $p=0.969$); la cual se distribuyó en 29 familias distintas, de estas, 23 se localizaron en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y en el híbrido convencional sin manejo de insectos y 25 en el maíz híbrido convencional con insecticida (Cuadro 4). La diversidad fue mayor en el híbrido convencional sin control de plagas ($H'=1.95 \pm 0.11$), seguido del Agrisure® Viptera™ 3111 ($H'=1.73 \pm 0.10$) y el híbrido convencional con insecticida ($H'=1.72 \pm 0.10$), y una mayor riqueza en el híbrido convencional con insecticida

($D_{mg}=2.91$), seguido del híbrido convencional sin control de plagas ($D_{mg}=2.80$) y el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($D_{mg}=2.65$); encontrándose que estas poblaciones son similares entre híbridos, con características de homogeneidad entre el híbrido convencional con insecticida ($J'=0.53$) y el Agrisure® Viptera™ 3111 ($J'=0.55$) con valores bajos, considerándose menos uniformes, en comparación con el híbrido convencional sin manejo de plagas con un valor más alto ($J'=0.62$), con mayor uniformidad en su comunidad.

Cuadro 4. Fitófagos en la parcela de maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y convencional con y sin insecticida en El Camalote, Sinaloa, 2013.

Orden	Familia ¹	Agrisure® Viptera™ 3111	Híbrido convencional	Híbrido convencional + i
Acari	Tetranychidae	1	0	2
Orthoptera	Gryllidae	24	46	26
Embiidina	Oligotomidae	0	2	1
Hemiptera	Aleyrodidae	289	226	242
Hemiptera	Aphididae	7	4	13
Hemiptera	Berytidae	1	0	0
Hemiptera	Cicadellidae	254	317	337
Hemiptera	Cixiidae	0	0	1
Hemiptera	Delphacidae	21	16	2
Hemiptera	Lygaeidae	4	5	5
Hemiptera	Membracidae	1	4	0
Hemiptera	Miridae	36	15	9
Hemiptera	Pyrrhocoridae	0	0	1
Hemiptera	Psyllidae	1	2	3
Hemiptera	Tingidae	0	1	6
Thysanoptera	Thripidae	129	49	76
Psocoptera	Caeciliusidae	175	115	286
Psocoptera	Dasydemellidae	117	90	145
Psocoptera	Ectopsocidae	12	15	15
Coleoptera	Chrysomelidae	132	257	141
Coleoptera	Curculionidae	2	1	1

Coleoptera	Elateridae	0	2	0
Coleoptera	Scolytidae	1	3	5
Lepidoptera	Gelechiidae	1	0	1
Lepidoptera	Noctuidae	0	1	2
Diptera	Chloropidae	52	34	29
Diptera	Cecidomyiidae	894	333	498
Diptera	Cylindrotomidae	1	0	0
Diptera	Ulidiidae	1864	1026	1930
		4019	2564	3787

¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

Durante el mismo año, en la localidad de Oso viejo, se registró una abundancia de 8,338 fitófagos, de los cuales 2,193 (26.3%) se encontraron en la parcela de maíz híbrido convencional (testigo absoluto), 2,477 (29.7%) en la parcela de maíz híbrido convencional con manejo de insectos (testigo químico) y 3,668 (44.0%) en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111, abundancia similar entre los híbridos no presentando diferencias significativas ($g=2$, $p=0.948$). Esta abundancia estuvo representada por 31 familias distintas, de las cuales se encontraron 27 en el Agrisure® Viptera™ 3111, 26 en el híbrido convencional sin manejo de plagas y 25 en el híbrido convencional con insecticida (Cuadro 5). La diversidad fue mayor en el híbrido convencional con y sin insecticida, con la misma diversidad en ambos ($H' = 2.13 \pm 0.11$), seguidos del Agrisure® Viptera™ 3111 ($H = 2.04 \pm 0.11$) y una mayor riqueza en el híbrido convencional sin control de plagas ($D_{mg} = 3.25$), seguido del híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($D_{mg} = 3.17$) y el convencional con insecticida ($D_{mg} = 3.07$); encontrándose que estas poblaciones son homogéneas entre híbridos evaluados (convencional sin control, $J' = 0.65$; convencional + i, $J' = 0.66$) y con un valor más bajo el Agrisure® Viptera™ 3111 ($J' = 0.62$), siendo menos uniforme en su diversidad que los convencionales.

Cuadro 5. Fitófagos en la parcela de maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y convencional con y sin insecticida en Oso Viejo, Sinaloa, 2013.

Orden	Familia ¹	Agrisure®	Hibrido	Hibrido
		Viptera™ 3111	convencional	convencional + i
Acari	Tetranychidae	0	1	1
Orthoptera	Gryllidae	15	23	9
Hemiptera	Aleyrodidae	94	172	219
Hemiptera	Aphididae	8	9	5
Hemiptera	Cicadellidae	346	331	399
Hemiptera	Cixiidae	1	0	0
Hemiptera	Coreidae	1	0	1
Hemiptera	Delphacidae	321	134	165
Hemiptera	Lygaeidae	2	2	5
Hemiptera	Membracidae	1	0	2
Hemiptera	Miridae	9	5	23
Hemiptera	Pachygrontidae	1	0	0
Hemiptera	Pentatomidae	2	1	2
Hemiptera	Psyllidae	1	3	2
Thysanoptera	Thripidae	550	404	218
Psocoptera	Caeciliusidae	74	37	79
Psocoptera	Dasydemellidae	111	122	240
Psocoptera	Ectopsocidae	10	3	5
Coleoptera	Chrysomelidae	239	116	150
Coleoptera	Curculionidae	2	0	1
Coleoptera	Elateridae	2	7	3
Coleoptera	Mordellidae	0	1	1
Coleoptera	Scarabaeidae	0	1	0
Coleoptera	Scolytidae	1	1	0
Lepidoptera	Gelechiidae	4	3	5
Lepidoptera	Noctuidae	6	2	1
Hymenoptera	Diprionidae	0	3	0
Diptera	Agromyzidae	1	0	0
Diptera	Chloropidae	77	10	25
Diptera	Cecidomyiidae	646	208	139
Diptera	Ulidiidae	1143	593	777

Total	3668	2193	2477
-------	------	------	------

¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

Depredadores. En este nivel trófico se registró una abundancia total de 17,626 depredadores entre el maíz genéticamente modificado y convencional, en las distintas localidades.

En 2011, en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, se registró una abundancia de 1,574 depredadores, de los cuales 834 (53%) se encontraron en el híbrido Agrisure™ 3000 GT y 740 (47%) en su híbrido convencional; ubicados en 14 familias distintas entre los tratamientos; de las cuales, 13 familias se localizaron en el maíz Agrisure™ 3000 GT y 12 en el híbrido de maíz convencional (Cuadro 6), en esta evaluación se encontró una mayor diversidad en el híbrido convencional ($H' = 1.63 \pm 0.14$), seguida del Agrisure™ 3000 GT ($H' = 1.49 \pm 0.14$); mientras que la mayor riqueza se presentó en el híbrido Agrisure™ 3000 GT ($D_{mg} = 1.78$) sobre el híbrido convencional con $D_{mg} = 1.66$ y una uniformidad homogénea similar entre estos híbridos (Agrisure™ 3000 GT, $J' = 0.58$; híbrido convencional, $J' = 0.65$), con mayor uniformidad el híbrido convencional.

En la misma localidad, con la evaluación del híbrido Agrisure® Viptera™ 3110, se recolectó una abundancia de 771 depredadores, de estos, 439 (57%) correspondieron al híbrido Agrisure® Viptera™ 3110 y 332 depredadores (43%) se registraron en su híbrido convencional, distribuidos en un total de 11 familias distintas, 9 en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3110 y 11 en su híbrido convencional (Cuadro 6). De esta abundancia se determinó una mayor diversidad en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3110 ($H' = 1.62 \pm 0.14$) sobre el híbrido convencional ($H' = 1.51 \pm 0.11$) y una mayor riqueza en este último con $D_{mg} = 1.72$, sobre el híbrido Agrisure® Viptera™ 3110 con $D_{mg} = 1.31$; y uniformidad homogénea similar entre estos híbridos (Agrisure® Viptera™ 3110, $J' = 0.74$; híbrido convencional, $J' = 0.63$), con una distribución de la diversidad más uniforme en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3110.

En ambos experimentos se encontró que la densidad poblacional entre los híbridos de maíz evaluados no presenta diferencias (Agrisure™ 3000 GT-híbrido

convencional, $g/1$, $p=0.661$; Agrisure® Viptera™ 3110-hibrido convencional, $g/1$, $p=0.305$), indicando que las poblaciones son similares.

Cuadro 6. Depredadores en maíz Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3110 y sus convencionales en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, 2011.

Orden	Familia ¹	Agrisure™ 3000 GT	Hibrido convencional	Agrisure® Viptera™ 3110	Hibrido convencional
Araneae	Miturgidae	1	0	0	1
Araneae	Salticidae	19	12	13	10
Araneae	Sicariidae	2	5	0	0
Ephemeroptera	Ephemeridae	12	1	9	4
Hemiptera	Anthocoridae	19	12	15	15
Hemiptera	Geocoridae	1	1	0	0
Thysanoptera	Aeolothripidae	1	201	11	14
Coleoptera	Carabidae	1	3	0	4
Coleoptera	Coccinellidae	42	29	22	26
Coleoptera	Melyridae	0	2	0	0
Coleoptera	Staphylinidae	293	101	122	82
Neuroptera	Chrysopidae	2	0	1	2
Hymenoptera	Formicidae	294	264	131	166
Diptera	Dolichopodidae	147	109	115	8
Total		834	740	439	332

¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

En 2012, en Navolato Sinaloa, se contabilizó una abundancia de 2,737 depredadores, de los cuales 2,152 (78.6%) se recolectaron en el maíz Agrisure™ 3000 GT y en menor cantidad con 585 depredadores (21.4%) en la parcela de maíz híbrido convencional, distribuidos en 19 familias distintas entre los tratamientos; de estas, 16 se localizaron en el maíz Agrisure™ 3000 GT y 15 en el híbrido de maíz convencional (Cuadro 7). En esta evaluación se determinó una mayor diversidad y riqueza en el híbrido convencional ($H' = 1.77 \pm 0.11$; $D_{mg} =$

2.20) sobre el híbrido Agrisure™ 3000 GT ($H' = 1.20 \pm 0.08$; $D_{mg} = 1.95$) y uniformidad desigual entre poblaciones de estos híbridos, con una diversidad homogénea en el híbrido convencional ($J' = 0.65$) y distribución heterogénea en el Agrisure™ 3000 GT ($J' = 0.43$).

En la misma localidad, con la evaluación del híbrido Agrisure® Viptera™ 3111, se registró una abundancia de 2,143 depredadores, de los cuales 1,589 (74.1%) se recolectaron en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y en menor cantidad con 554 depredadores (25.9%) en la parcela de maíz híbrido convencional, ubicados en 18 familias distintas; 17 ubicadas en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y 14 familias en el híbrido de maíz convencional (Cuadro 7). La diversidad fue mayor en el híbrido convencional ($H' = 2.06 \pm 0.11$) sobre el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($H' = 1.21 \pm 0.09$) y la riqueza fue superior en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($D_{mg} = 2.17$), sobre el híbrido convencional ($D_{mg} = 2.06$) y uniformidad desigual entre estos híbridos, con distribución heterogénea en el Agrisure® Viptera™ 3111 ($J' = 0.43$) y una distribución homogénea en el híbrido convencional ($J' = 0.78$), con mayor igualdad de abundancia entre especies en la comunidad. En ambos experimentos la abundancia entre híbridos de maíz no reflejó diferencias significativas, indicando que las poblaciones son similares (Agrisure™ 3000 GT-convencional, $g/l = 1$, $p = 0.749$; Agrisure® Viptera™ 3111-convencional $g/l = 1$, $p = 0.461$).

Cuadro 7. Depredadores en maíz Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3111 y sus convencionales en Navolato, Sinaloa, 2012.

Orden	Familia ¹	Agrisure™ 3000 GT	Híbrido convencional	Agrisure® Viptera™ 3111	Híbrido convencional
Araneae	Araneae*	38	51	55	51
Ephemeroptera	Ephemeridae	0	1	1	0
Dermaptera	Labiduridae	1	0	1	0
Hemiptera	Anthocoridae	198	270	210	185
Hemiptera	Nabidae	5	0	3	2

Hemiptera	Reduviidae	1	0	4	1
Thysanoptera	Aeolothripidae	84	5	2	67
Coleoptera	Carabidae	1	1	3	0
Coleoptera	Coccinellidae	172	82	109	75
Coleoptera	Malachiidae	0	1	0	0
Coleoptera	Melyridae	1	0	0	0
Coleoptera	Staphylinidae	31	19	26	25
Coleoptera	Trogossitidae	1	7	2	9
Neuroptera	Chrysopidae	4	3	4	5
Neuroptera	Hemerobiidae	0	1	0	0
Hymenoptera	Formicidae	1491	44	1074	55
Diptera	Dolichopodidae	53	61	54	31
Diptera	Empididae	28	29	18	25
Diptera	Micropezidae	0	0	0	1
Diptera	Syrphidae	43	10	22	22
Diptera	Trichoceridae	0	0	1	0
Total		2152	585	1589	554

*No identificadas a familia. ¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

En 2012, en El Dorado, Sinaloa, se registró una abundancia de 1,418 depredadores, de estos 800 (56.4 %) se recolectaron en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y en menor cantidad en el híbrido convencional con 618 depredadores (43.6%), abundancia que no presentó diferencias entre tratamientos ($g=1$, $p=0.869$); distribuida en 20 familias distintas, de las cuales, se localizaron 18 en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y 17 en el maíz híbrido convencional (Cuadro 8). En esta evaluación se determinó una mayor diversidad y riqueza en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($H' = 2.06 \pm 0.12$; $D_{mg} = 2.59$) sobre el híbrido convencional ($H' = 1.97 \pm 0.11$; $D_{mg} = 2.44$) y uniformidad homogénea similar entre poblaciones de estos híbridos (Agrisure® Viptera™ 3111, $J' = 0.71$; híbrido convencional, $J' = 0.69$), cuyas especies tienden a la igualdad de abundancia.

Cuadro 8. Depredadores en maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y convencional en El Dorado, Sinaloa, 2012.

Orden	Familia ¹	Agrisure® Viptera™ 3111	Hibrido convencional
Araneae	Araneae*	94	97
Dermaptera	Forficulidae	0	1
Hemiptera	Anthocoridae	125	104
Hemiptera	Geocoridae	3	3
Hemiptera	Nabidae	2	0
Hemiptera	Reduviidae	5	2
Coleoptera	Cantharidae	1	4
Coleoptera	Carabidae	17	6
Coleoptera	Coccinellidae	171	223
Coleoptera	Staphylinidae	1	27
Coleoptera	Trogossitidae	22	22
Neuroptera	Chrysopidae	0	2
Neuroptera	Hemerobiidae	1	2
Hymenoptera	Formicidae	182	46
Hymenoptera	Sphecidae	4	0
Diptera	Asilidae	2	0
Diptera	Dolichopodidae	74	40
Diptera	Empididae	77	30
Diptera	Syrphidae	18	8
Diptera	Therevidae	1	1
Total		800	618

*No identificadas a familia. ¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

En 2013, en El Camalote, se encontró una abundancia de 4,541 depredadores; 1,292 (28.4%) en el híbrido convencional (testigo absoluto), 1,190 (26.2%) en el híbrido convencional con manejo de insectos (testigo químico) y 2,059 depredadores (45.4%) en el Agrisure® Viptera™ 3111, abundancia que no reflejo diferencias entre los híbridos evaluados ($g/2$, $p=0.863$); la cual se distribuyó en 17 familias distintas, de estas, 15 se localizaron en el Agrisure® Viptera™ 3111, 16 en el híbrido convencional con insecticida y 15 en el convencional sin manejo

de insectos (Cuadro 9). La diversidad fue mayor en el híbrido convencional sin control de plagas ($H' = 1.82 \pm 0.12$), seguido del convencional con insecticida ($H' = 1.81 \pm 0.12$) y el Agrisure® Viptera™ 3111 ($H = 1.60 \pm 0.12$) y una mayor riqueza en el convencional con insecticida ($D_{mg} = 2.12$), seguido del convencional sin control de plagas ($D_{mg} = 1.95$) y el Agrisure® Viptera™ 3111 ($D_{mg} = 1.83$); encontrándose que estas poblaciones son homogéneas y similares entre los híbridos convencionales (convencional, $J' = 0.67$; convencional + i, $J' = 0.65$) y homogénea con menor uniformidad en el Agrisure® Viptera™ 3111 ($J' = 0.59$).

Cuadro 9. Depredadores en la parcela de maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y convencional con y sin insecticida en El Camalote, Sinaloa, 2013.

Orden	Familia ¹	Agrisure® Viptera™ 3111	Híbrido convencional	Híbrido convencional + i
Araneae	Araneae*	119	81	48
Dermaptera	Labiduridae	1	15	33
Hemiptera	Anthocoridae	80	115	99
Hemiptera	Geocoridae	1	0	1
Hemiptera	Nabidae	0	1	3
Hemiptera	Reduviidae	3	15	16
Coleoptera	Cantharidae	2	2	0
Coleoptera	Carabidae	8	14	4
Coleoptera	Coccinellidae	125	44	43
Coleoptera	Lampyridae	1	7	1
Coleoptera	Melyridae	66	111	102
Coleoptera	Staphylinidae	17	17	15
Neuroptera	Chrysopidae	7	15	6
Hymenoptera	Formicidae	302	25	45
Diptera	Dolichopodidae	311	359	416
Diptera	Empididae	1016	471	357
Diptera	Syrphidae	0	0	1
Total		2059	1292	1190

*No identificadas a familia. ¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

Durante el mismo año, en Oso viejo, se registró una abundancia de 4,442 depredadores, de los cuales 1,239 (27.9 %) se encontraron en el maíz híbrido convencional (testigo absoluto), 1,361 (30.6 %) en el híbrido convencional con insecticida y 1,842 depredadores (41.5 %) en el Agrisure® Viptera™ 3111, abundancia similar entre híbridos que no presento diferencias ($g=2$, $p=0.999$). Esta abundancia estuvo representada por 15 familias distintas, de las cuales se encontraron 14 familias en cada uno de los híbridos evaluados (Cuadro 10).

La diversidad en este estudio fue mayor el híbrido convencional con insecticida ($H' = 1.82 \pm 0.13$), seguido del híbrido convencional sin control de plagas ($H' = 1.80 \pm 0.12$) y el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($H = 1.64 \pm 0.13$) y una mayor riqueza en el híbrido convencional sin control de plagas ($D_{mg} = 1.82$), seguido del híbrido convencional con insecticida ($D_{mg} = 1.80$) y el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($D_{mg} = 1.73$); encontrándose que de estas poblaciones son homogéneas y similares entre los híbridos convencionales (híbrido convencional, $J' = 0.68$; híbrido convencional + i, $J' = 0.69$) y homogéneas con menor uniformidad la comunidad del híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($J' = 0.62$).

Cuadro 10. Depredadores en la parcela de maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y convencional con y sin insecticida en Oso Viejo, Sinaloa, 2013.

Orden	Familia ¹	Agrisure®	Híbrido	Híbrido
		Viptera™ 3111	convencional	convencional + i
Araneae	Araneae*	97	160	119
Ephemeroptera	Ephemeridae	1	2	1
Dermaptera	Labiduridae	248	37	227
Hemiptera	Anthocoridae	100	100	77
Hemiptera	Geocoridae	3	0	4
Hemiptera	Nabidae	0	2	0
Hemiptera	Reduviidae	14	15	26
Coleoptera	Carabidae	3	12	10
Coleoptera	Coccinellidae	24	54	23
Coleoptera	Melyridae	44	50	45

Coleoptera	Staphylinidae	21	27	30
Neuroptera	Chrysopidae	1	2	2
Hymenoptera	Formicidae	29	9	5
Diptera	Dolichopodidae	531	444	418
Diptera	Empididae	726	325	374
Total		1842	1239	1361

*No identificadas a familia. ¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

Parasitoides. En este nivel trófico se registraron 10,170 parasitoides entre el maíz genéticamente modificado y el híbrido convencional.

En 2011, en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, se registró una abundancia de 146 parasitoides, de los cuales 75 (51.4%) se encontraron en el híbrido Agrisure™ 3000 GT y 71 (48.6%) en su híbrido convencional; ubicados en 12 familias distintas entre los tratamientos; de las cuales, 7 se localizaron en cada uno (Cuadro 11), en esta evaluación se encontró una mayor diversidad en el híbrido Agrisure™ 3000 GT ($H' = 1.34 \pm 0.15$), seguida del híbrido convencional ($H' = 1.28 \pm 0.12$); mientras que la mayor riqueza se presentó en el híbrido convencional ($D_{mg} = 1.41$), sobre el Agrisure™ 3000 GT ($D_{mg} = 1.39$) y una uniformidad homogénea entre estos híbridos (Agrisure™ 3000 GT, $J' = 0.69$; híbrido convencional, $J' = 0.66$). En la misma localidad, con la evaluación del híbrido Agrisure® Viptera™ 3110, se recolectó una abundancia de 146 parasitoides, de estos, 71 (48.6%) correspondieron al híbrido Agrisure® Viptera™ 3110 y 75 parasitoides (51.4%) se registraron en su híbrido convencional, distribuidos en un total de 10 familias distintas, 9 en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3110 y 5 en su híbrido convencional (Cuadro 11). De esta abundancia se determinó una mayor diversidad y riqueza en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3110 ($H' = 1.36 \pm 0.08$; $D_{mg} = 1.88$) sobre el híbrido convencional ($H' = 0.91 \pm 0.11$; $D_{mg} = 0.93$), y uniformidad homogénea entre estos híbridos, con mayor uniformidad en el Agrisure® Viptera™ 3110 ($J' = 0.62$) en comparación al híbrido convencional ($J' = 0.56$).

En ambos experimentos se encontró que la densidad poblacional entre los híbridos de maíz evaluados no presenta diferencias (Agrisure™ 3000 GT-híbrido

convencional, $gI=1$, $p=0.746$; Agrisure® Viptera™ 3110-hibrido convencional, $gI=1$, $p=0.500$), indicando que las poblaciones son similares.

Cuadro 11. Parasitoides en maíz Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3110 y sus convencionales en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, 2011.

Orden	Familia ¹	Agrisure™ 3000 GT	Hibrido convencional	Agrisure® Viptera™ 3110	Hibrido convencional
Hymenoptera	Aphelinidae	0	0	1	0
Hymenoptera	Bethylidae	23	21	8	15
Hymenoptera	Braconidae	32	37	44	52
Hymenoptera	Encyrtidae	0	1	1	0
Hymenoptera	Eulophidae	14	5	6	5
Hymenoptera	Eucoliidae	3	0	0	0
Hymenoptera	Figitidae	1	2	3	0
Hymenoptera	Perilampidae	1	3	3	1
Hymenoptera	Platygastridae	0	0	1	0
Hymenoptera	Pteromalidae	0	0	0	2
Hymenoptera	Scelionidae	0	2	4	0
Hymenoptera	Trichogrammatidae	1	0	0	0
Total		75	71	71	75

¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

En 2012, en Navolato Sinaloa, se contabilizó una abundancia de 3,273 parasitoides, de los cuales 1,496 (45.7%) se recolectaron en el maíz Agrisure™ 3000 GT y en mayor cantidad con 1777 parasitoides (54.3%) en la parcela de maíz híbrido convencional, distribuidos en 22 familias distintas entre los tratamientos; de estas, 17 se localizaron en el maíz Agrisure™ 3000 GT y 18 en el híbrido de maíz convencional (Cuadro 12).

En esta evaluación se determinó una mayor diversidad y riqueza en el híbrido convencional ($H' = 1.96 \pm 0.12$; $D_{mg} = 2.27$) sobre el híbrido Agrisure™ 3000 GT

($H' = 1.94 \pm 0.12$; $D_{mg} = 2.19$) y uniformidad homogénea similar entre poblaciones de estos híbridos con $J' = 0.68$, en cada híbrido evaluado.

En la misma localidad, con la evaluación del híbrido Agrisure® Viptera™ 3111, se registró una abundancia de 2,913 parasitoides, de los cuales 1,518 (52.1%) se recolectaron en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y en menor cantidad con 1,395 parasitoides (47.9%) en la parcela de maíz híbrido convencional, ubicados en 23 familias distintas; 22 ubicadas en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y 18 familias en el híbrido de maíz convencional (Cuadro 12).

La diversidad fue mayor en el híbrido convencional ($H' = 2.10 \pm 0.12$) sobre el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($H' = 2.08 \pm 0.11$) y la riqueza fue superior en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($D_{mg} = 2.87$), sobre el híbrido convencional ($D_{mg} = 2.35$) y una distribución de la diversidad homogénea entre comunidades de estos híbridos, con mayor uniformidad el híbrido convencional ($J' = 0.73$) en comparación al Agrisure® Viptera™ 3111 ($J' = 0.67$).

En ambos experimentos la abundancia entre híbridos de maíz no reflejó diferencias significativas, indicando que las poblaciones son similares (Agrisure™ 3000 GT-convencional, $g/l = 1$, $p = 0.804$; Agrisure® Viptera™ 3111-convencional $g/l = 1$, $p = 0.503$).

Cuadro 12. Parasitoides en maíz Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3111 y sus convencionales en Navolato, Sinaloa, 2012.

Orden	Familia ¹	Agrisure™ 3000 GT	Híbrido convencional	Agrisure® Viptera™ 3111	Híbrido convencional
Hymenoptera	Aphelinidae	1	0	2	1
Hymenoptera	Bethylidae	3	3	1	2
Hymenoptera	Braconidae	43	67	48	49
Hymenoptera	Ceraphronidae	57	76	55	101
Hymenoptera	Chalcididae	0	0	1	0
Hymenoptera	Chrysididae	0	0	1	0
Hymenoptera	Diapriidae	3	19	13	32

Hymenoptera	Encyrtidae	450	401	370	254
Hymenoptera	Eulophidae	24	23	22	26
Hymenoptera	Eurytomidae	1	0	0	1
Hymenoptera	Figitidae	0	3	2	7
Hymenoptera	Ichneumonidae	0	1	2	2
Hymenoptera	Megaspilidae	2	0	0	0
Hymenoptera	Mymaridae	28	28	31	53
Hymenoptera	Platygastridae	1	0	6	2
Hymenoptera	Proctotrupidae	22	3	21	20
Hymenoptera	Pteromalidae	106	95	155	107
Hymenoptera	Scelionidae	212	175	342	294
Hymenoptera	Scoliidae	0	2	1	0
Hymenoptera	Torymidae	0	3	2	0
Hymenoptera	Trichogrammatidae	16	26	63	8
Diptera	Acroceridae	360	393	287	349
Diptera	Pipunculidae	0	2	3	0
Diptera	Tachinidae	167	457	90	87
Total		1496	1777	1518	1395

¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

En 2012, en El Dorado, Sinaloa, se registró una abundancia de 1,787 parasitoides, de estos 822 (46.0 %) se recolectaron en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y en mayor cantidad en el híbrido convencional con 965 (54.0%), abundancia que no presento diferencias entre tratamientos ($g/1$, $p=0.666$); distribuida en 22 familias distintas, de las cuales, se localizaron 21 en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y 20 en el maíz híbrido convencional (Cuadro 13).

En esta evaluación se determinó una mayor diversidad y riqueza en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($H' = 2.46 \pm 0.10$; $D_{mg} = 2.98$) sobre el híbrido convencional ($H' = 1.90 \pm 0.09$; $D_{mg} = 2.76$) y uniformidad homogénea entre comunidades de estos híbridos, con una mayor uniformidad de la diversidad en el Agrisure® Viptera™ 3111 ($J' = 0.81$) en comparación al híbrido convencional ($J' = 0.63$).

Cuadro 13. Parasitoides en maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y convencional en El Dorado, Sinaloa, 2012.

Orden	Familia ¹	Agrisure® Viptera™ 3111	Hibrido convencional
Coleoptera	Ripiphoridae	9	6
Hymenoptera	Aphelinidae	2	0
Hymenoptera	Bethylidae	11	6
Hymenoptera	Braconidae	40	31
Hymenoptera	Ceraphronidae	97	76
Hymenoptera	Diapriidae	43	112
Hymenoptera	Encyrtidae	56	29
Hymenoptera	Eulophidae	10	8
Hymenoptera	Figitidae	13	5
Hymenoptera	Ichneumonidae	1	0
Hymenoptera	Mymaridae	19	11
Hymenoptera	Platygastridae	112	43
Hymenoptera	Proctotrupidae	20	16
Hymenoptera	Pteromalidae	99	58
Hymenoptera	Scelionidae	164	470
Hymenoptera	Scoliidae	2	1
Hymenoptera	Signiphoridae	0	1
Hymenoptera	Torymidae	1	2
Hymenoptera	Trichogrammatidae	5	3
Diptera	Acroceridae	74	58
Diptera	Pipunculidae	6	4
Diptera	Tachinidae	38	25
Total		822	965

*No identificadas a familia. Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

En 2013, en la localidad de El Camalote, se encontró una abundancia de 935 parasitoides, de los cuales, 403 (43.1%) se encontraron en la parcela de maíz Agrisure® Viptera™ 3111, seguido del híbrido convencional sin manejo de insectos con 275 (29.4%) y el híbrido convencional con insecticida con 257

(27.5%) parasitoides, abundancia que no reflejo diferencias entre los híbridos evaluados ($g/2$, $p=0.951$); la cual se distribuyó en 17 familias distintas, de estas, 14 se localizaron en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y 15 tanto en el híbrido convencional con insecticida , como en el convencional sin manejo de insectos (Cuadro 14). La diversidad y riqueza en esta evaluación fue mayor el híbrido convencional con control de plagas ($H^{\prime}=2.21 \pm 0.11$; $D_{mg}=2.52$), seguido del híbrido convencional sin manejo de insectos ($H^{\prime}=2.09 \pm 0.11$; $D_{mg}=2.49$) y el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($H=1.86 \pm 0.12$; $D_{mg}=2.17$), encontrándose que estas poblaciones son homogéneas entre los híbridos convencionales (híbrido convencional, $J^{\prime}=0.77$; híbrido convencional + i, $J^{\prime}=0.81$; Agrisure® Viptera™ 3111, $J^{\prime}=0.71$), con menor uniformidad en el maíz GM.

Cuadro 14. Parasitoides en la parcela de maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y convencional con y sin insecticida en El Camalote, Sinaloa, 2013.

Orden	Familia ¹	Agrisure®	Hibrido	Hibrido
		Viptera™ 3111	convencional	convencional + i
Hymenoptera	Aphelinidae	1	3	1
Hymenoptera	Bethylidae	14	10	14
Hymenoptera	Braconidae	17	21	24
Hymenoptera	Ceraphronidae	79	35	40
Hymenoptera	Chrysididae	1	0	0
Hymenoptera	Diapriidae	147	76	53
Hymenoptera	Dryinidae	4	4	3
Hymenoptera	Encyrtidae	10	25	25
Hymenoptera	Eulophidae	0	2	4
Hymenoptera	Figitidae	1	1	0
Hymenoptera	Ichneumonidae	0	1	1
Hymenoptera	Mymaridae	9	13	9
Hymenoptera	Platygastridae	25	11	6
Hymenoptera	Pteromalidae	72	63	45
Hymenoptera	Scelionidae	21	8	25
Hymenoptera	Scoliidae	2	0	3

Hymenoptera Torymidae	0	2	1
Total	403	275	257

*No identificadas a familia. ¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

Durante el mismo año, en la localidad de Oso viejo, se registró una abundancia de 970 parasitoides, de los cuales 362 (37.3%) se encontraron en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111, 336 (34.6%) en el híbrido convencional con manejo de insectos y 272 (28.1%) se encontraron en la parcela de maíz híbrido convencional (testigo absoluto), abundancia similar entre los híbridos no presentando diferencias significativas ($g=2$, $p=0.855$). Esta abundancia estuvo representada por 21 familias distintas, de las cuales se encontraron 17 familias en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111, 16 en el híbrido convencional sin manejo de insectos y 15 en el híbrido convencional con manejo de insectos (Cuadro 15). La diversidad y riqueza fue mayor el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($H'=2.38 \pm 0.10$; $D_{mg}=2.71$), seguido del híbrido convencional sin manejo de insectos ($H'=2.30 \pm 0.11$; $D_{mg}=2.67$) y el híbrido convencional con insecticida ($H'=2.07 \pm 0.12$; $D_{mg}=2.41$); encontrándose que de estas poblaciones son homogéneas y similares entre el híbrido convencional y Agrisure® Viptera™ 3111 con el mismo valor ($J'=0.84$) y homogéneas con menor uniformidad el híbrido convencional + i ($J'=0.76$), con respecto a los anteriores.

Cuadro 15. Parasitoides en la parcela de maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y convencional con y sin insecticida en Oso Viejo, Sinaloa, 2013.

Orden	Familia ¹	Agrisure® Viptera™ 3111	Hibrido convencional	Hibrido convencional + i
Hymenoptera	Aphelinidae	9	10	3
Hymenoptera	Bethylidae	16	29	18
Hymenoptera	Braconidae	39	24	25
Hymenoptera	Ceraphronidae	43	48	70

Hymenoptera Chalcididae	0	1	0
Hymenoptera Chrysididae	1	0	0
Hymenoptera Diapriidae	69	30	81
Hymenoptera Dryinidae	37	27	13
Hymenoptera Elasmidae	1	0	0
Hymenoptera Encyrtidae	6	4	3
Hymenoptera Eulophidae	0	1	0
Hymenoptera Figitidae	8	2	1
Hymenoptera Ichneumonidae	0	1	0
Hymenoptera Mymaridae	25	24	26
Hymenoptera Platygasteridae	14	5	4
Hymenoptera Pteromalidae	58	47	65
Hymenoptera Scelionidae	24	18	22
Hymenoptera Scoliidae	3	1	3
Hymenoptera Tiphidae	0	0	1
Hymenoptera Torymidae	7	0	0
Hymenoptera Trichogrammatidae	2	0	1
Total	362	272	336

¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

Saprófagos. Para este nivel trófico se registró una abundancia de 51,200 saprófagos distribuidos entre el maíz genéticamente modificado y convencional, durante los tres años, en las distintas localidades.

En 2011, en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, se registró una abundancia de 4,125 saprófagos, de los cuales 2059 (49.9%) se encontraron en el híbrido Agrisure™ 3000 GT y 2066 (50.1%) en su híbrido convencional; ubicados en 12 familias distintas en cada uno de los híbridos (Cuadro 16), con una mayor diversidad en el híbrido Agrisure™ 3000 GT ($H' = 1.66 \pm 0.13$), seguida del híbrido convencional ($H' = 1.65 \pm 0.14$); mientras que se presentó la misma riqueza en ambos híbridos ($D_{mg} = 1.44$) con una uniformidad homogénea similar entre estos híbridos (Agrisure™ 3000 GT, $J' = 0.67$; híbrido convencional, $J' = 0.66$). En la misma localidad, con la evaluación del híbrido Agrisure® Viptera™ 3110, se recolecto

una abundancia de 4,015 saprófagos, de estos, 2,016 (50.2%) correspondieron al híbrido Agrisure® Viptera™ 3110 y 1999 (49.8%) se registraron en su híbrido convencional, distribuidos en un total de 12 familias distintas, 12 en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3110 y 9 en su híbrido convencional (Cuadro 16). De esta abundancia se determinó una mayor diversidad y riqueza en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3110 ($H' = 1.69 \pm 0.14$; $D_{mg} = 1.44$) sobre el híbrido convencional ($H' = 1.50 \pm 0.15$; $D_{mg} = 1.05$) y una uniformidad de la diversidad homogénea entre estos híbridos con $J' = 0.68$ en cada uno.

En ambos experimentos se encontró que la densidad poblacional entre los híbridos de maíz evaluados no presenta diferencias (Agrisure™ 3000 GT-híbrido convencional, $g=1$, $p=0.977$; Agrisure® Viptera™ 3110-híbrido convencional, $g=1$, $p=0.618$), indicando que las poblaciones son similares.

Cuadro 16. Saprófagos en maíz Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3110 y sus convencionales en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, 2011.

Orden	Familia ¹	Agrisure™ 3000 GT	Híbrido convencional	Agrisure® Viptera™ 3110	Híbrido convencional
Collembola	Entomobryidae	169	270	595	655
Collembola	Isotomidae	486	400	273	407
Coleoptera	Anthicidae	2	7	4	3
Diptera	Calliphoridae	1	1	0	0
Diptera	Chironomidae	139	268	175	71
Diptera	Muscidae	2	2	2	0
Diptera	Mycetophilidae	66	19	46	64
Diptera	Phoridae	830	834	669	693
Diptera	Psychodidae	1	1	1	0
Diptera	Sarcophagidae	0	0	1	0
Diptera	Scatopsidae	3	2	17	1
Diptera	Sciaridae	169	123	146	58
Diptera	Sphaeroceridae	191	139	87	47
Total		2059	2066	2016	1999

¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

En 2012, en Navolato Sinaloa, se contabilizó una abundancia de 8,541 saprófagos, de los cuales 2,805 (32.8%) se recolectaron en el maíz Agrisure™ 3000 GT y en mayor cantidad con 5,736 saprófagos (67.2%) en la parcela de maíz híbrido convencional, distribuidos en 25 familias distintas entre los tratamientos; de estas, 19 se localizaron en el maíz Agrisure™ 3000 GT y 22 en el híbrido de maíz convencional (Cuadro 17).

En esta evaluación se determinó una mayor diversidad en el híbrido Agrisure™ 3000 GT ($H' = 1.50 \pm 0.11$) en comparación al híbrido convencional ($H' = 0.73 \pm 0.04$) y una mayor riqueza en este último con $D_{mg} = 2.43$, en comparación al híbrido Agrisure™ 3000 GT ($D_{mg} = 2.27$) y uniformidad desigual entre comunidades de estos híbridos, con una diversidad homogénea el Agrisure™ 3000 GT ($J' = 0.51$) y con una comunidad heterogénea con baja uniformidad en la diversidad el híbrido convencional ($J' = 0.23$).

En la misma localidad, con la evaluación del híbrido Agrisure® Viptera™ 3111, se registró una abundancia de 12,546 saprófagos, de los cuales 9,718 (77.5%) se recolectaron en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y en menor cantidad con 2828 saprófagos (22.5%) en la parcela de maíz híbrido convencional, ubicados en 23 familias distintas; 21 familias en cada híbrido evaluado (Cuadro 17). La diversidad y riqueza fue mayor en el híbrido convencional ($H' = 1.43 \pm 0.09$; $D_{mg} = 2.52$), sobre el híbrido convencional ($H' = 0.80 \pm 0.08$; $D_{mg} = 2.18$), y uniformidad entre estos híbridos desigual con una distribución de la diversidad heterogénea en ambos híbridos, con un valor más bajo el Agrisure® Viptera™ 3111 ($J' = 0.26$), con respecto al híbrido convencional ($J' = 0.47$). En ambos experimentos la abundancia entre híbridos de maíz no reflejó diferencias significativas, indicando que las poblaciones son similares (Agrisure™ 3000 GT-convencional, $g = 1$, $p = 0.989$; Agrisure® Viptera™ 3111-convencional $g = 1$, $p = 0.631$).

Cuadro 17. Saprófagos en maíz Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3111 y sus convencionales en Navolato, Sinaloa, 2012.

Orden	Familia ¹	Agrisure™	Hibrido	Agrisure®	Hibrido
		3000 GT	convencional	Viptera™ 3111	convencional
Collembola	Entomobryidae	781	258	7268	527
Collembola	Isotomidae	189	46	107	197
Collembola	Sminthuridae	17	2	3	2
Coleoptera	Anthicidae	4	0	1	0
Coleoptera	Corylophidae	1	11	5	9
Coleoptera	Cryptophagidae	13	14	10	12
Coleoptera	Languriidae	0	1	0	0
Coleoptera	Latridiidae	0	0	1	1
Coleoptera	Phalacridae	0	2	1	1
Diptera	Anthomyiidae	1	0	0	0
Diptera	Anthomyzidae	1	12	11	11
Diptera	Calliphoridae	0	1	1	0
Diptera	Chironomidae	7	15	13	14
Diptera	Dixidae	11	46	18	17
Diptera	Heleomyzidae	0	1	0	1
Diptera	Lauxaniidae	0	2	0	0
Diptera	Muscidae	10	14	18	20
Diptera	Mycetophilidae	10	12	13	9
Diptera	Phoridae	1355	4895	1937	1659
Diptera	Psychodidae	85	113	56	91
Diptera	Sarcophagidae	2	0	0	0
Diptera	Scatopsidae	204	139	168	127
Diptera	Sciaridae	91	126	71	86
Diptera	Sphaeroceridae	14	13	7	19
Diptera	Stratiomyidae	0	2	1	1
Diptera	Tipulidae	0	0	0	3
Diptera	Trichoceridae	9	11	8	21
Total		2805	5736	9718	2828

¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

En 2012, en El Dorado, Sinaloa, se registró una abundancia de 14,056 saprófagos, de estos 8,875 (63.1%) se recolectaron en el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y en menor cantidad en el híbrido convencional con 5,181 (36.9%), abundancia que no presentó diferencias entre tratamientos ($g=1$, $p=0.961$); distribuida en 25 familias distintas, de las cuales, se localizaron 24 en el Agrisure® Viptera™ 3111 y 19 en el híbrido convencional (Cuadro 18). Se determinó una mayor diversidad en el híbrido convencional ($H' = 0.60 \pm 0.04$) sobre el Agrisure® Viptera™ 3111 ($H' = 0.55 \pm 0.03$) y una mayor riqueza en este último ($D_{mg} = 2.53$) sobre el híbrido convencional ($D_{mg} = 2.10$) y uniformidad heterogénea similar entre comunidades de estos híbridos (Agrisure® Viptera™ 3111, $J' = 0.17$; híbrido convencional, $J' = 0.20$), con tendencia a la ausencia de uniformidad, indicando que unas pocas familias presentan la mayor abundancia.

Cuadro 18. Saprófagos en maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y convencional en El Dorado, Sinaloa, 2012.

Orden	Familia ¹	Agrisure® Viptera™ 3111	Híbrido convencional
Collembola	Entomobryidae	275	249
Collembola	Isotomidae	57	19
Collembola	Sminthuridae	29	31
Coleoptera	Anthicidae	6	2
Coleoptera	Corylophidae	8	1
Coleoptera	Cryptophagidae	17	10
Coleoptera	Derodontidae	1	0
Coleoptera	Languriidae	2	1
Coleoptera	Phalacridae	15	10
Coleoptera	Silphidae	1	0
Diptera	Anthomyzidae	2	1
Diptera	Calliphoridae	2	0
Diptera	Chironomidae	15	1
Diptera	Coelopidae	1	0
Diptera	Dixidae	10	38
Diptera	Lauxaniidae	0	4

Diptera	Muscidae	67	17
Diptera	Mycetophilidae	20	4
Diptera	Phoridae	7946	4557
Diptera	Psychodidae	26	30
Diptera	Sarcophagidae	1	0
Diptera	Scatopsidae	16	95
Diptera	Sciaridae	285	110
Diptera	Sphaeroceridae	72	1
Diptera	Tipulidae	1	0
Total		8875	5181

¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

En 2013, en la localidad de El Camalote, se encontró una abundancia de 5,416 saprófagos, de los cuales 2,173 (40.2%) se encontraron en la parcela de maíz Agrisure® Viptera™ 3111, 1767 (32.6%) en la parcela de maíz híbrido convencional y 1,476 saprófagos (27.2%) en el maíz convencional con insecticida; abundancia que no reflejo diferencias entre los híbridos evaluados ($gI=2$, $p=0.941$); la cual se distribuyó en 17 familias distintas, de estas se localizaron 15 en cada uno de los híbridos evaluados (Cuadro 19).

La diversidad y riqueza en esta evaluación fue mayor en el híbrido convencional con control de plagas ($H'=0.67 \pm 0.05$; $D_{mg}=1.92$), seguido del híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($H=0.55 \pm 0.04$; $D_{mg}=1.82$) y el híbrido convencional sin control de plagas ($H=0.52 \pm 0.04$; $D_{mg}=1.87$); encontrándose que estas poblaciones son heterogéneas entre híbridos evaluados, con un menor valor y uniformidad el híbrido convencional sin manejo de insectos ($J'=0.19$) y el Agrisure® Viptera™ 3111 ($J'=0.20$) y con un valor más alto el híbrido convencional con insecticida ($J'=0.25$).

Cuadro 19. Saprófagos en la parcela de maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y convencional con y sin insecticida en El Camalote, Sinaloa, 2013.

Orden	Familia ¹	Agrisure®	Hibrido	Hibrido
		Viptera™ 3111	convencional	convencional + i
Collembola	Entomobryidae	84	69	100
Collembola	Isotomidae	1	0	0
Coleoptera	Anthricidae	6	7	12
Coleoptera	Corylophidae	1	5	1
Coleoptera	Languriidae	4	1	2
Coleoptera	Nitidulidae	7	1	1
Coleoptera	Silphidae	1	0	0
Diptera	Anthomyzidae	0	2	3
Diptera	Chironomidae	7	12	13
Diptera	Heleomyzidae	3	2	1
Diptera	Muscidae	0	1	2
Diptera	Phoridae	1933	1587	1259
Diptera	Psychodidae	13	8	3
Diptera	Scatopsidae	54	34	42
Diptera	Sciaridae	41	24	24
Diptera	Sphaeroceridae	17	12	12
Diptera	Tipulidae	1	2	1
Total		2173	1767	1476

¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

Durante el mismo año, en la localidad de Oso viejo, se registró una abundancia de 2,501 saprófagos, de los cuales 1,140 (45.6%) se encontraron en la parcela de maíz Agrisure® Viptera™ 3111, 708 (28.3%) en el híbrido convencional con manejo de insectos y 653 (26.1%) en la parcela de maíz híbrido convencional sin manejo de insectos; abundancia similar entre los híbridos no presentando diferencias significativas ($g=2$, $p=0.258$). Esta abundancia estuvo representada por 16 familias distintas, de las cuales se encontraron 14 en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 y 15 familias en cada uno de los híbridos convencionales (Cuadro 20). La diversidad y riqueza fue mayor en el híbrido convencional sin manejo de

plagas ($H' = 1.47 \pm 0.10$; $D_{mg} = 2.16$), seguido en diversidad por el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($H' = 1.36 \pm 0.10$) y el híbrido convencional con control de plagas ($H' = 1.27 \pm 0.11$); mientras que en riqueza le siguen el híbrido convencional con control de plagas ($D_{mg} = 2.13$) y el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 ($D_{mg} = 1.85$); encontrándose que de estas poblaciones son heterogéneas similares entre estos híbridos con mayor valor el híbrido convencional sin manejo de plagas ($J' = 0.54$), seguido del Agrisure® Viptera™ 3111 ($J' = 0.52$) y el híbrido convencional con manejo de plagas ($J' = 0.47$).

Cuadro 20. Saprófagos en la parcela de maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y convencional con y sin insecticida en Oso Viejo, Sinaloa, 2013.

Orden	Familia ¹	Agrisure® Viptera™ 3111	Híbrido convencional	Híbrido convencional + i
Collembola	Entomobryidae	238	145	207
Collembola	Isotomidae	24	16	0
Collembola	Sminthuridae	10	1	1
Coleoptera	Anthicidae	5	6	1
Coleoptera	Corylophidae	0	0	1
Coleoptera	Languriidae	1	1	1
Coleoptera	Nitidulidae	2	4	1
Diptera	Anthomyzidae	0	3	2
Diptera	Chironomidae	19	26	19
Diptera	Heleomyzidae	2	3	1
Diptera	Muscidae	4	1	2
Diptera	Phoridae	675	363	390
Diptera	Psychodidae	41	22	11
Diptera	Scatopsidae	25	17	13
Diptera	Sciaridae	60	25	30
Diptera	Sphaeroceridae	34	20	28
Total		1140	653	708

¹Identificación de artrópodos basados principalmente en Triplehorn y Johnson, 2005.

Mediante las inspecciones visuales se registró un total de 7,467 ejemplares entre los híbridos genéticamente modificados y convencionales, de los cuales 3,786 se contabilizaron en Oso Viejo y 3,681 en El Camalote.

La evaluación de la chinche pirata *O. insidiosus* en Oso Viejo permitió registrar una abundancia de 873 individuos, de estos 369 (42.3%) se contabilizaron en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111, 218 (24.9%) en el híbrido convencional con insecticida y 286 (32.8%) en el híbrido convencional sin manejo de insectos; con una frecuencia del 100% en el híbrido convencional con insecticida y 80% tanto en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 como en el híbrido convencional sin manejo de insectos, con dos picos poblacionales, uno antes y otro después de la polinización, la cual se presentó entre el 18 y 20 de mayo (Fig. 1), encontrando que las poblaciones de artrópodos no son estadísticamente diferentes entre materiales evaluados ($gl=2$, $P=0.820$).

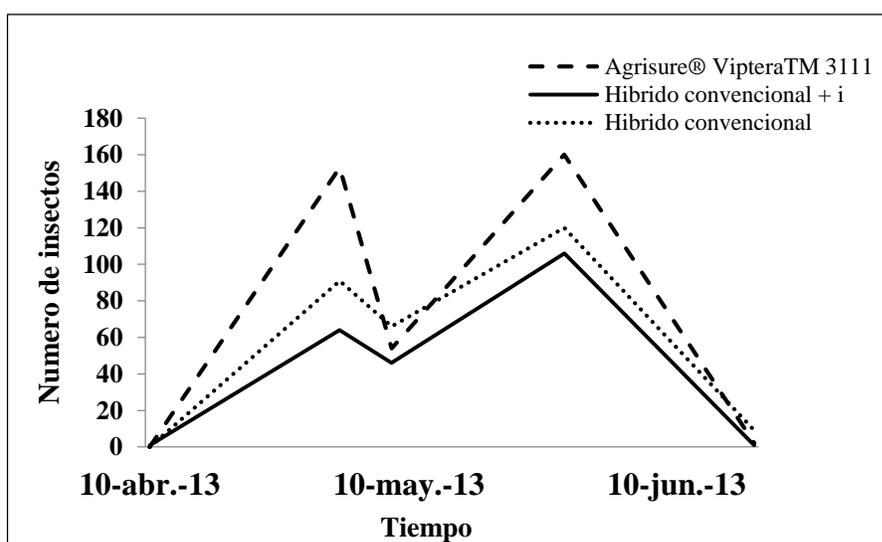


Figura. 1. Fluctuación poblacional de *Orius insidiosus* en maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y su híbrido convencional con y sin control insecticida en Oso Viejo. +i=insecticida.

Esta misma especie en la localidad de El Camalote, permitió contabilizar durante el ciclo de cultivo un total de 586 insectos entre los híbridos de maíz evaluados, de los cuales el maíz genéticamente modificado contabilizó 217 artrópodos

representando el 37%, el maíz convencional con manejo de insectos con insecticida presento una abundancia de 177 artrópodos representando el 30.2% y el híbrido convencional sin manejo de insectos (testigo absoluto) presento una abundancia de 192 artrópodos (32.8%), con una frecuencia del 100 % durante el desarrollo del cultivo en las parcelas de maíz GM y en los convencionales, con un pico poblacionales antes de la polinización (18-20 mayo) (Fig. 2), encontrando que las poblaciones de artrópodos no son estadísticamente diferentes entre materiales evaluados ($g/2$, $P=0.911$).

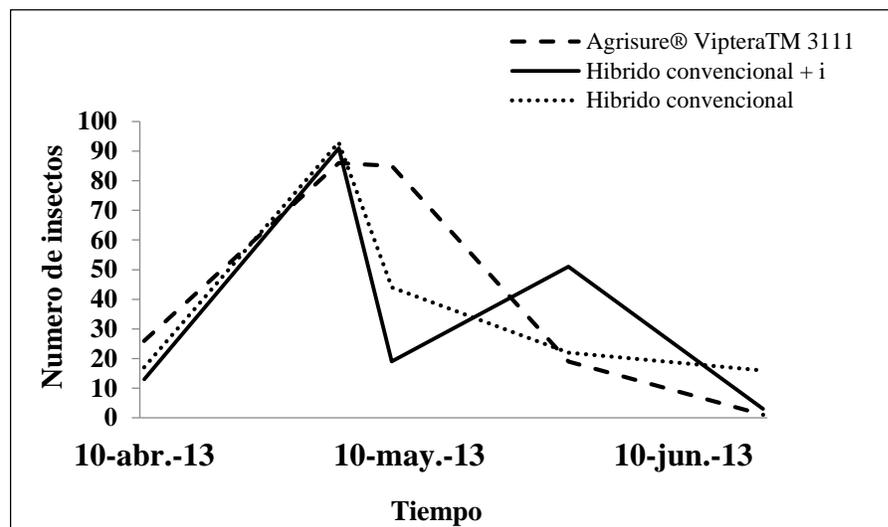


Figura. 2. Fluctuación poblacional de *Orius insidiosus* en maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y su convencional con y sin control insecticida en El Camalote. +i=insecticida.

En el Oso Viejo, se registró una abundancia de 409 *C. carnea* entre híbridos, de las cuales 179 (43.8%) se localizaron en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111, el maíz convencional con manejo de insectos con insecticida presento una abundancia de 120 artrópodos representando el 29.3% y el híbrido convencional sin manejo de insectos (testigo absoluto) presento una abundancia de 110 artrópodos (26.9%), con una frecuencia del 80% durante el desarrollo del cultivo en el híbrido convencional sin manejo de insectos y 100% en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 y en el híbrido convencional con insecticida, con un pico

poblacional antes de la polinización (20 mayo) (Fig. 3), encontrando que las poblaciones de artrópodos no son estadísticamente diferentes entre materiales evaluados ($g=2$, $P=0.460$).

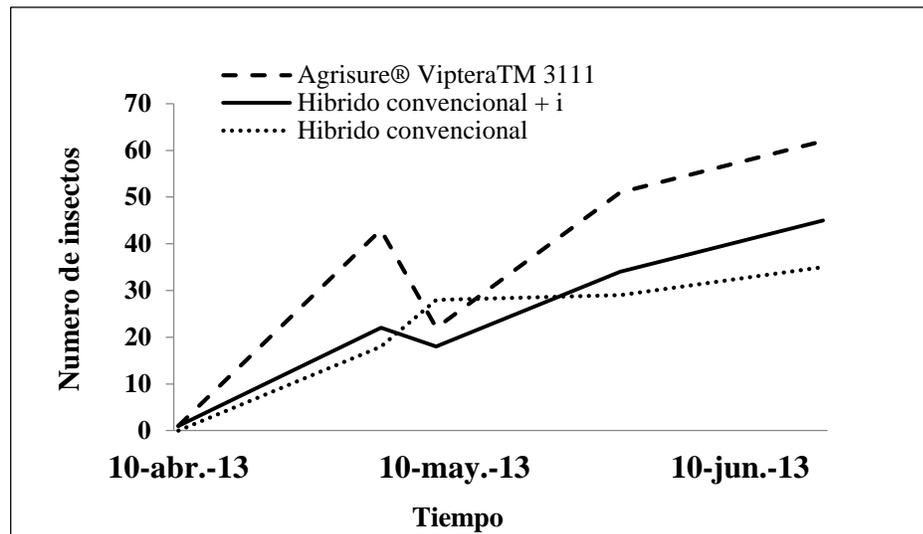


Figura. 3. Fluctuación poblacional de *Chrysoperla carnea* en maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y su convencional con y sin control insecticida en Oso Viejo. +i=insecticida.

En Camalote, se observaron 607 individuos de *C. carnea* entre los tres híbridos; el Agrisure® Viptera™ 3111 contabilizó 230 insectos, representando el 37.9%, el híbrido convencional con insecticida 216, representando el 35.6% y el híbrido convencional sin manejo 161 artrópodos (26.5%), encontrándose una frecuencia del 100% durante todo el cultivo (Fig. 4); densidad poblacional que no presento diferencias entre los híbridos evaluados ($g=2$; $P=0.845$).

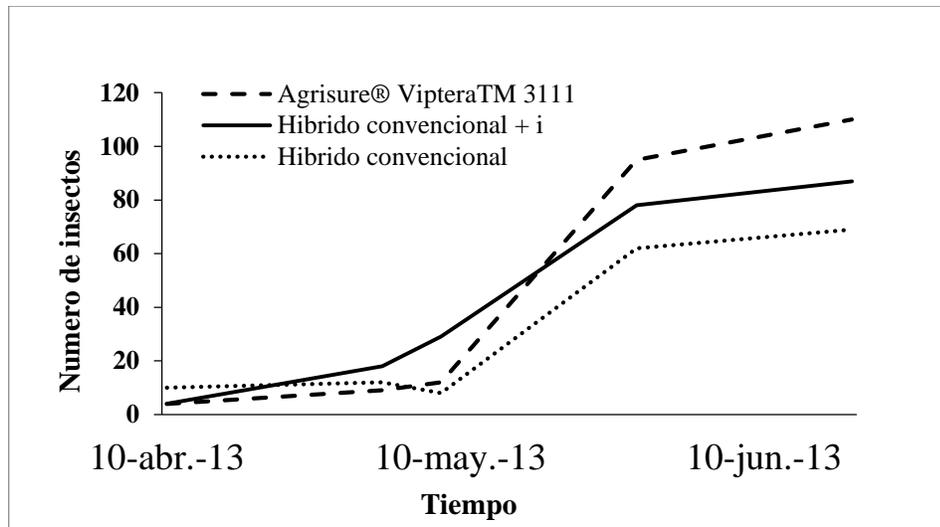


Figura. 4. Fluctuación poblacional de *Chrysoperla carnea* en maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y su convencional con y sin control insecticida en El Camalote. +i=insecticida.

En Oso Viejo, la evaluación de la población de *C. maculata* permitió contabilizar durante un ciclo de cultivo un total de 1,149 insectos entre los híbridos de maíz evaluados, de los cuales el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 contabilizó 536 artrópodos (46.6%), el híbrido convencional con insecticida presentó una abundancia de 257 artrópodos representando el 22.4% y el híbrido convencional sin manejo de insectos presentó una abundancia de 356 artrópodos (31.0%), con una frecuencia del 80% durante el desarrollo del cultivo en los tres híbridos evaluados, observándose un pico poblacional después de la polinización, encontrando que las poblaciones de artrópodos no son estadísticamente diferentes entre materiales evaluados ($g=2$; $P=0.610$).

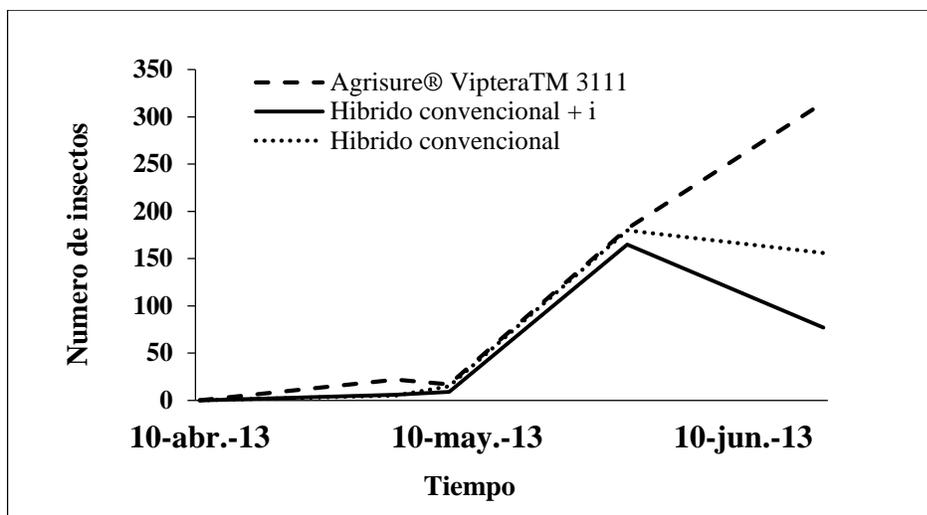


Figura. 5. Fluctuación poblacional de *Coleomegilla maculata* en maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y su convencional con y sin control insecticida en Oso Viejo. +i=insecticida.

En El Camalote la evaluación de la abundancia de *C. maculata* permitió contabilizar durante un ciclo de cultivo un total de 1,604 insectos entre los híbridos de maíz evaluados, de los cuales el maíz Agrisure® Viptera™ 3111 contabilizó 638 artrópodos (39.8%), el maíz convencional con manejo de insectos con insecticida presentó una abundancia de 588 artrópodos, representando el 36.6% y el híbrido convencional sin manejo de insectos presentó una abundancia de 378 artrópodos (23.6%), con una frecuencia del 80% durante el desarrollo del cultivo en todos los materiales evaluados, observándose una tendencia similar en la fluctuación poblacional en los tres materiales de maíz evaluados, con un incremento en la densidad poblacional previo al inicio de la floración, durante el desarrollo del cultivo y hasta la etapa de rendimiento, próximo a ser cosechado (Fig.6), encontrando que las poblaciones de artrópodos no son estadísticamente diferentes ($gl=2$; $P=0.932$).

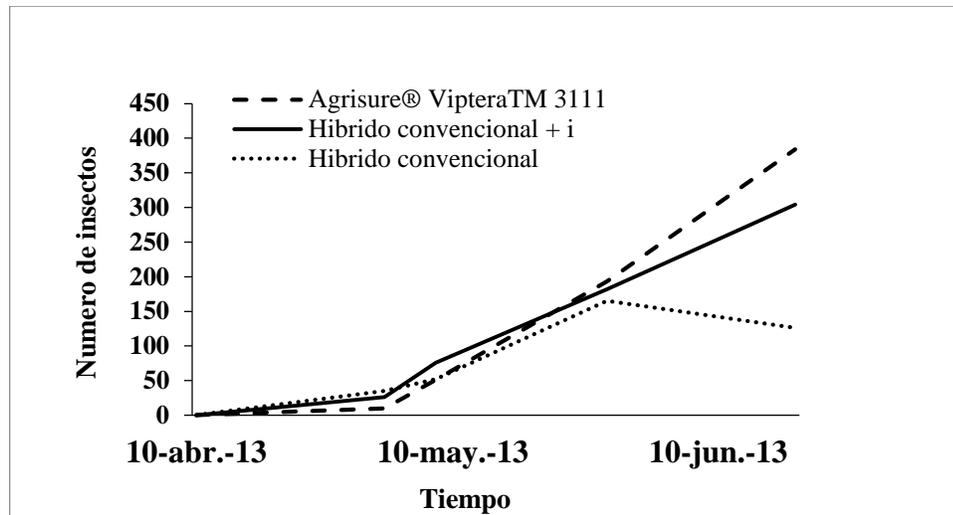


Figura. 6. Fluctuación poblacional de *Coleomegilla maculata* en maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y su convencional con y sin control insecticida en El Camalote. +i=insecticida.

La evaluación de la pulga saltona *Chaetocnema pulicaria* en Oso Viejo, contabilizó una abundancia de 1355 insectos, de estos se localizaron 515 (38.0%) en el híbrido convencional sin manejo de plagas, 496 (36.6%) en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111 y en el híbrido convencional con insecticida se encontró una abundancia de 344 (25.4%) insectos, encontrándose una frecuencia del 100% durante todo el cultivo, con un pico poblacional pronunciado en los tres híbridos, después de la floración (Fig. 7); densidad poblacional que no presentó diferencias entre los híbridos evaluados ($g/2$; $P=0.0932$).

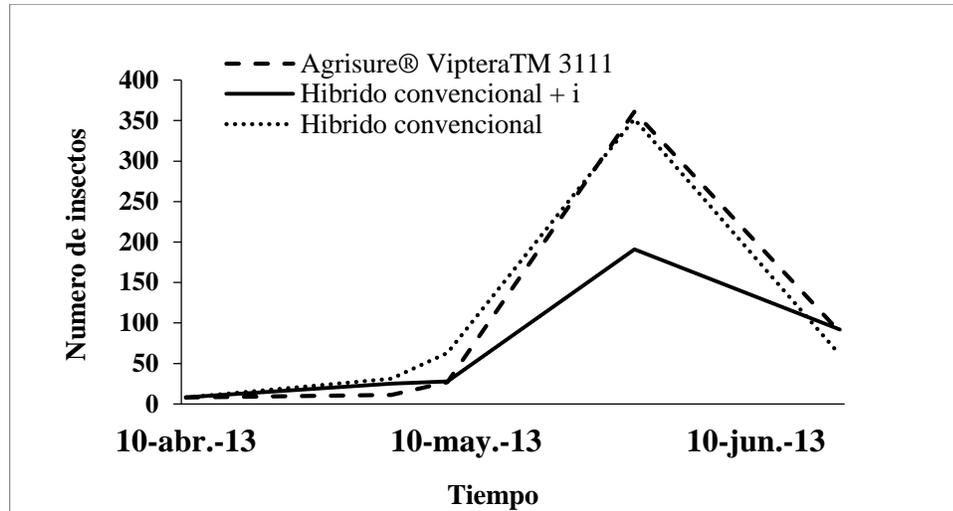


Figura. 7. Fluctuación poblacional de *Chaetocnema pulicaria* en maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y su convencional con y sin control insecticida en Oso Viejo. +i=insecticida.

En la localidad de El Camalote, se registró una abundancia total de 884 *Chaetocnema pulicaria*, distribuidas 397 (44.9%) en el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111, 299 (33.8%) en el híbrido convencional con insecticida y 188 (21.3%) en el híbrido convencional sin manejo de insectos; con una frecuencia del 100% entre los híbridos evaluados y un pico poblacional pronunciado en los híbridos después de la floración (Fig. 8); densidad poblacional que no presento diferencias entre los híbridos evaluados ($g/2$; $P=0.0932$).

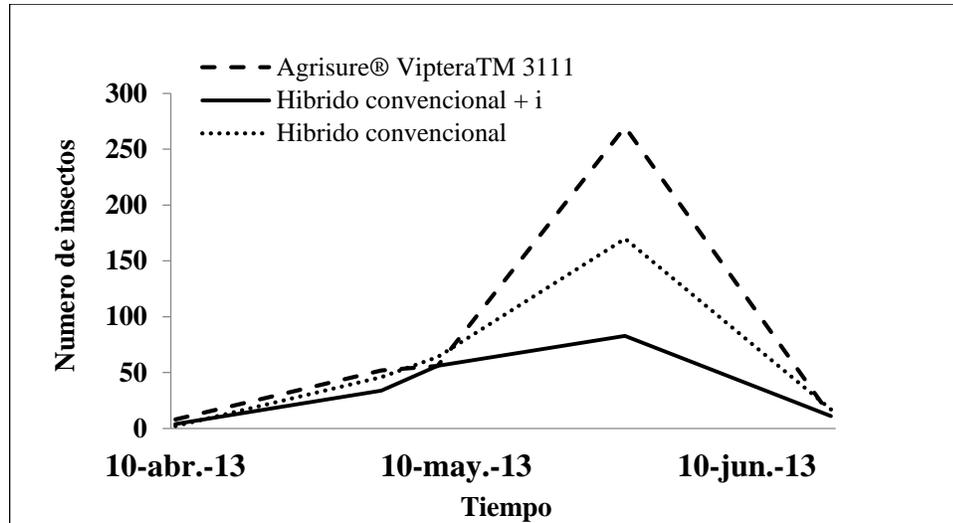


Figura. 8. Fluctuación poblacional de *Chaetocnema pulicaria* en maíz Agrisure® Viptera™ 3111 y su convencional con y sin control insecticida en El Camalote. +i=insecticida.

Discusión

En el presente estudio, en general se aprecia una mayor abundancia de artrópodos en los híbridos genéticamente modificados durante los tres años de evaluación, principalmente fitófagos y depredadores; con excepción de los parasitoides cuya abundancia fue mayor en el híbrido convencional en comparación, al Agrisure® Viptera™ 3110 (Oso Viejo, 2011, ver cuadro 11), al Agrisure™ 3000 GT (Navolato, 2012, ver cuadro 12) y al Agrisure® Viptera™ 3111 (El Dorado, 2012, ver cuadro 13). De igual forma, los saprófagos se presentaron en mayor número en el híbrido convencional respecto al híbrido Agrisure™ 3000 GT en Oso Viejo, 2011 y Navolato, 2012 (ver cuadros 16 y 17 respectivamente). No obstante, la diferencia en la densidad de población entre híbridos de genéticamente modificado y convencionales, en cada diseño experimental, no presentó diferencias (prueba de Kruskal-Wallis y U Mann-Whitney), observándose similitud entre poblaciones, indicando que los híbridos con la inserción de genes de *B. thuringiensis* no ejercen un efecto negativo sobre la abundancia de estos artrópodos.

De igual manera Dively y Rose (2002), encontraron una gama de artrópodos asociados al maíz Bt (Cry1Ab), en su mayoría saprófagos, seguido en abundancia se registraron los fitófagos, depredadores y parasitoides, a lo que reportaron que esta gama de artrópodos no se vio afectada por la ausencia del barrenador europeo y gusano elotero, plagas objetivo del maíz Bt, salvo parasitoides específicos que se vieron afectados indirectamente, además encontraron una menor abundancia de escarabajos de la savia en el maíz Bt, debido a que estos son atraídos a la planta por el daño ocasionado en la mazorca por los lepidópteros. Aunque en general no se presentaron evidencias de efectos adversos del maíz Bt en los fitófagos y saprófagos no blanco, ni efectos significativos sobre la abundancia y diversidad de enemigos naturales, declarando que si bien es cierto estas sufren algún cambio, pero estos cambios están vinculados indirectamente a la planta y a la ausencia del alimento objetivo de la planta Bt. Estos resultados difieren en una pequeña parte a lo reportado por Jasinski et al. (2003) en su estudio de la abundancia de artrópodos no blanco en campos de maíz Bt y convencional en Ohio; de los artrópodos evaluados encontraron pocos casos donde las diferencias estadísticas entre el cultivo Bt y convencional pudieron ser detectados, con una mayoría de interacciones benignas, concluyendo que solo unos pocos efectos negativos sobre los artrópodos no blanco pueden ser directamente asociados con la producción de maíz genéticamente modificado.

En artrópodos que habitan sobre el follaje, Candolfi *et al.* (2004) no observaron ningún efecto significativo de ningún tipo en la densidad poblacional de fitófagos y enemigos naturales no blanco de la comunidad como son chicharritas y trips, himenópteros parasíticos, depredadores, escarabajos y arañas, así como otros indiferentes como moscas Phoridae, aunque si este maíz si ejerció un pequeño efecto en la comunidad de algunos artrópodos voladores, no es estadísticamente significativo, con una menor abundancia de Lonchopteridae, Mycetophilidae y Syrphidae del orden Diptera, parasitoides del orden Hymenoptera (Ceraphronidae, Ichneumonidae y Eurytomidae), efectos que son limitados a dos fechas de muestreo correspondiendo al inicio de la floración, indicando que la

interpretación de estos resultados es difícil, ya que ningún taxón individual fue reducido consistentemente durante un periodo largo durante el cultivo. Por otro lado, Higgins et al. (2009), mencionan no haber encontrado un efecto significativo sobre la abundancia de la comunidad de artrópodos no blanco en campos de maíz Bt que expresa la toxina Cry1F por tres años de monitoreo de la diversidad de artrópodos, soportando los resultados aquí encontrados.

La gran mayoría de los estudios sobre artrópodos no blanco, han estado enfocados al estudio de la diversidad y abundancia de los niveles tróficos a gran escala, evaluando toda la diversidad del agroecosistema maíz en conjunto

El agroecosistema maíz mantiene una gran diversidad de artrópodos, encontrándose que el nivel trófico más abundante durante los tres años de evaluación son los fitófagos con el 51.9 %; grupo más abundante en el maíz genéticamente modificado en todas las localidades de estudio, probablemente atraídos por la biomasa vegetal, cuya disponibilidad es debido a la protección del cultivo hacia plagas blanco. Estas observaciones son consistentes con Candolfi et al. (2004), Harwood et al. (2005) y Dively (2005), quienes no observaron ningún efecto significativo de ningún tipo en la densidad poblacional de fitófagos no blanco de la comunidad y algunos cambios en ciertos taxones en las parcelas de maíz Bt, son una respuesta a la ausencia de daños en la planta y a la mayor disponibilidad en la densidad de población de presas.

En este grupo destacaron los trips (Thysanoptera: Thripidae), los psocópteros (Psocoptera: Dasydemellidae, Caeciliusidae y Psocidae), los crisomélidos (Coleoptera: Chrysomelidae), moscas cloropide (Diptera: Chloropidae), las moscas blancas (Hemiptera: Aleyrodidae), las chicharritas (Hemiptera: Cicadellidae, Delphacidae), las chinches de las plantas (Hemiptera: Miridae), los pulgones (Hemiptera: Aphididae), los psilidos (Hemiptera: Psyllidae), los minadores (Diptera: Agromyzidae), los cecidómidos (Diptera: Cecidomyiidae) y las moscas de los estigmas (Diptera: Ulidiidae). Este grupo que se alimenta de tejidos de la planta, tienen una alta probabilidad de ingerir las toxinas Cry, aunque no se conoce ningún mecanismo específico que afecte a cualquier fitófago no blanco sin sitios específicos para la proteína de Bt incorporada en las plantas de

maíz (Daly y Buntin 2005), con excepción de ciertos insectos que están estrechamente relacionados con las plagas objetivo (Betz et al. 2002), tal como lo documentaron en estudios de artropodofauna asociada al maíz Dutton *et al.* (2002), quienes argumentaron que el maíz Bt (Cry1Ab) solo afectaba la tasa de mortalidad y ocasionaba un retraso en el desarrollo de *Spodoptera littoralis*, especie emparentada con la plaga objetivo del maíz.

Al respecto Lewandowski y Górecka (2008), en Polonia al estudiar la influencia del Maíz Bt MON810 que expresa la toxina Cry1Ab sobre el desarrollo de fitófagos, principalmente pulgones, no encontraron diferencia entre el número de fitófagos que se desarrollaron en variedades de maíz Bt y maíz convencional. Pons *et al.* (2005) en la península Ibérica durante tres años; estudiaron la abundancia de diversos fitófagos no blanco del maíz Bt que expresa la toxina Cry1Ab, encontrando diferencias en cada grupo estudiado, sin embargo; concluyeron en su análisis que el maíz genéticamente modificado no tiene un efecto negativo sobre la biocenosis no blanco e incluso señalan que para algunas especies como *Zyginidia scutellaris* (Cicadellidae) muy abundante en el maíz Bt, la modificación genética favoreció a las chicharritas, correlacionado con la mayor abundancia de biomasa vegetal.

Daly y Buntin (2005), en sus estudios de artrópodos no blanco en maíz Bt (MON810) que expresan la proteína Cry1Ab, en Georgia, Estados Unidos durante dos años, indicaron que el único insecto que se vio afectado fuertemente por el maíz Bt fue *Helicoverpa zea*, objetivo de la tecnología, lo que trajo como consecuencia una menor abundancia de larvas de la mosca de los estigmas *Euxesta stigmatis* (Diptera: Ulidiidae), presumiblemente por un menor daño del gusano elotero en las mazorcas de maíz Bt, aunque en general no hubo diferencias consistentes en los artrópodos no blanco.

Al igual que los fitófagos, el grupo de los depredadores presento un mayor número de artrópodos en los híbridos genéticamente modificados, destacando por su abundancia las arañas (Araneae, Salticidae), las catarinas o mariquitas (Coleoptera: Coccinellidae), las chinches pirata (Hemiptera: Anthocoridae), los estafilínidos (Coleoptera: Staphylinidae), las hormigas (Hymenoptera:

Formicidae), las crisopas (Neuroptera: Chrysopidae), las moscas de patas largas (Diptera: Dolichopodidae) y los empíidos (Diptera: Empididae), no encontrándose diferencias en la densidad de esta comunidad; resultados consistentes con Daly y Buntin (2005), quienes no observaron diferencia significativa consistente en las poblaciones de artrópodos depredadores que habitan en el follaje en maíz Bt y maíz convencional.

Estos grupos son consistentes en el agroecosistema maíz en diversos estudios, así como otros depredadores como arañas (Lycosidae), ácaros depredadores (Mesostigmata), carábidos (Carabidae), y ciempiés (Geophilomorpha); de todos estos Dively y Rose (2002), en su estudio de la comunidad de enemigos naturales con maíz Bt y convencional con control insecticida, reportaron que la ausencia de las plagas objetivo del maíz Bt, no generó un efecto sobre la gama de enemigos naturales antes mencionados, sin efectos significativos sobre la abundancia y diversidad. En grupos específicos de depredadores, Pilcher *et al.* (1997), Orr y Landis (1997) y Candolfi *et al.* (2004), para *Chrysoperla carnea*, reportaron no haber encontrado un efecto perjudicial sobre la abundancia en maíz Bt (Cry1Ab). Al-Deeb y Wilde (2003) y Ahmad *et al.* (2006), en su estudio con maíz Bt (Cry3Bb1) para control de gusano de la raíz *Diabrotica virgifera virgifera* durante dos años en Kansas, no encontraron diferencias en la abundancia de *Coleomegilla maculata*, *Orius insidiosus*, *Hippodamia convergens* y *Scymnus spp.*, entre el maíz Bt y convencional, llegando a concluir que el maíz Bt no tiene efectos nocivos sobre los artrópodos benéficos. De la Poza *et al.* (2005), en España, durante 3 años de evaluar el efecto del maíz Bt que expresa la toxina Cry1Ac sobre la abundancia de depredadores, mediante trampas Pitfall y observaciones visuales encontraron a Anthocoridae, Coccinellidae, Araneae y Carabidae con mayor representación y dejaron en claro que no hay tendencia de un efecto negativo del maíz Bt, sugiriendo que este maíz es compatible con los depredadores naturales del agroecosistema.

Pilcher *et al.* (2005) durante tres años en Iowa determinaron el efecto del maíz Bt (evento 76 y Bt11) que expresa la toxina Cry1Ab sobre la abundancia de los depredadores *C. maculata*, *Cycloneda munda*, *O. insidiosus* y *C. carnea*,

encontrando pocas diferencias en la abundancia entre maíz Bt y convencional, concluyendo que los efectos de la abundancia del maíz Bt sobre estos enemigos naturales no fueron inesperados, dado el comportamiento de forrajeo y la búsqueda de diferentes especies.

Fernandes *et al.* (2007), analizaron una amplia diversidad de depredadores, donde evaluaron el efecto de los híbridos de maíz genéticamente modificado Bt (7590-Bt11 y Avant-ICP4) que expresan las proteínas Cry1Ab y VIP3A y sus híbridos convencionales sobre enemigos naturales en Brasil, no encontrando un efecto negativo en poblaciones de la tijereta *Doru luteipes* (Dermaptera: Forficulidae), ni en el Orden Hemiptera principalmente en las familias Reduviidae, Lygaeidae, Pentatomidae y Anthocoridae, con una predominancia de la chinche pirata *O. insidiosus*, tampoco en las catarinas (Coccinellidae), arañas (Araneae), escarabajos de tierra (Carabidae) y escarabajos tigre (Cicindelidae), concluyendo que los híbridos de maíz Bt que expresa las proteínas insecticidas Cry1Ab y VIP3A no causan una reducción en los principales depredadores asociados al maíz en Brasil. Duan *et al.* (2010) de la misma manera manifestaron en estudios de campo, no haber encontrado diferencia significativa en la abundancia de depredadores a la exposición de la toxina Cry.

En menor representación se encontraron los parasitoides con una abundancia del 6.2% de todos los artrópodos; este nivel trófico vario su abundancia entre los híbridos de maíz genéticamente modificados y sus convencionales durante los tres años de estudio, no obstante; en ningún caso se presentó diferencias entre las comunidades de parasitoides. En este nivel trófico se encontraron dos órdenes primordiales, destacando por su abundancia los himenópteros (Hymenoptera: Bethylidae, Braconidae, Ceraphronidae, Encyrtidae, Eulophidae, Diapriidae, Mymaridae, Platygasteridae, Proctotrupidae, Pteromalidae y Scelionidae), las moscas jorobadas (Diptera: Acroceridae) y los taquínidos (Diptera: Tachinidae).

Este grupo de artrópodos a nivel de campo ha sido poco estudiado. Una de las primeras investigaciones realizadas con parasitoides fue llevada a cabo por Orr y Landis (1997), donde evaluaron la oviposición del barrenador europeo del maíz

(*Ostrinia nubilalis*) y el impacto del maíz transgénico que expresa la toxina Cry1Ab sobre el parasitismo de enemigos naturales, en este no se encontró diferencia significativas entre el parasitismo de huevos de *O. nubilalis*, aunque se presentó 10.2% menos eclosión (afectada por el maíz Bt) en las plantas transgénicas comparadas con las convencionales. Por otro lado el parasitismo de larvas de *O. nubilalis* por *Eriborus terebrans* (Gravenhorst) (Hymenoptera: Ichneumonidae) y *Macrocentrus grandii* Goidanich (Hymenoptera: Braconidae) no fue significativamente diferente entre maíces transgénicos y convencionales. Dively y Rose (2002), en su estudio con maíz Bt (Cry1Ab) encontraron con muy poca abundancia al grupo de los parasíticos, destacando a Hymenoptera (Scelionidae, Mymaridae, Braconidae y Trichogrammatidae) y en menor proporción Diptera. En este estudio la expresión de la toxina Cry1Ab del maíz Bt redujo significativamente la densidad y el daño causado por el barrenador europeo y gusano elotero (*Helicoverpa zea*), plagas objetivo de esta tecnología y esta ausencia afecto indirectamente a los parasitoides específicos del barrenador europeo (Ichneumonidae y Braconidae), declarando que si bien es cierto que taxas sufren algún cambio, pero estos cambios están vinculados indirectamente a la planta y a la ausencia del alimento objetivo de la planta Bt (barrenador europeo y gusano elotero).

Jasinski *et al.* (2003) en su estudio de la abundancia de artrópodos no blanco en campos de maíz Bt y convencional en Ohio, encontraron pocos casos donde las diferencias estadísticas entre el cultivo Bt y convencional pudieron ser detectados, con una mayoría de interacciones benignas; particularmente en parasitoides de larvas del barrenador *Ostrinia nubilalis*, encontraron 2000 avispas parasitoides (100 más que en los convencionales), de las cuales no se encontró diferencia significativa entre parcelas de maíz.

Al respecto, Candolfi *et al.* (2004), en artrópodos que habitan el follaje, mencionan haber encontrado una menor abundancia de parasitoides de las familias Ceraphronidae, Ichneumonidae y Eurytomidae, limitado a dos fechas de muestreo correspondiendo al inicio de la floración; aunque no observaron ningún efecto significativo de ningún tipo en la densidad poblacional, indicando que la

interpretación de estos resultados es difícil, ya que ningún taxón individual fue reducido consistentemente durante un largo periodo durante el cultivo.

Pilcher *et al.* (2005), durante tres años en Iowa determinaron el efecto del maíz Bt (evento 76 y Bt11) que expresa la toxina Cry1Ab sobre la abundancia del parasitoide especialista *Macrocentrus cingulum*, encontrando pocas diferencias en la abundancia entre maíz Bt y convencional, sin embargo mencionan que el parasitoide *M. cingulum* especialista del barrenador europeo del maíz se vio afectado significativamente por la presencia de maíz Bt, concluyendo que los efectos de la abundancia del maíz Bt sobre estos enemigos naturales no fueron inesperados, dado el comportamiento de forrajeo y la búsqueda de diferentes especies y sus distintos niveles de dependencia de la presencia del barrenador europeo del maíz.

Dively (2005), durante tres años de monitoreo de los efectos del maíz Bt con eventos piramidales (Vip3A y Cry1Ab) sobre la abundancia de niveles tróficos de artrópodos no blanco, en términos de abundancia, el 3% fueron parasitoides y encontraron que estos no se ven afectados significativamente por la expresión del maíz con eventos piramidales.

Bruck *et al.* (2006) en su estudio de campo que incluía maíz genéticamente modificado Bt (MON810) que expresa la toxina Cry1Ab, con el objetivo de medir el efecto de la toxina de Bt sobre la abundancia de artrópodos no blanco del agroecosistema maíz, durante dos años en New York, reportaron una gran variación en la estimación de las poblaciones de artrópodos, con pocas diferencias significativas detectadas como resultado del maíz Bt, observando que solo se vio afectado por el maíz Bt el parasitoide *Macrocentrus cingulum* (Hymenoptera: Braconidae), reconocido como huésped de *Ostrinia nubilalis* (objetivo del maíz Bt), y la ausencia de esta, causó la baja de la otra población. Sin embargo, los autores hacen referencia que para que haya un efecto en las interacciones multi-tróficas naturales en un agroecosistema maíz es necesaria una disminución drástica en las poblaciones benéficas y no blanco del maíz. Rose y Dively (2007), durante 2 años, descubrieron una gran diversidad y abundancia de artrópodos, de la cual; solo el 5% fueron parasitoides, 91%

correspondía a parasitoides de huevo y larvas de las familias Braconidae, Scelionidae, Mymaridae, Trichogrammatidae, Pteromalidae, Ceraphronidae, Encyrtidae y Aphelinidae y el resto de Charipidae, Eulophidae, Ichneumonidae, Chrysididae, Proctotrupidae, Pompilidae y algunos dípteros de la familia Tachinidae; no obstante, no se presentó ningún efecto significativo por efecto del híbrido de maíz Bt; de estos solo el 5% fueron parasitoides, 91% correspondía a parasitoides de huevo y larvas de las familias Braconidae, Scelionidae, Mymaridae, Trichogrammatidae, Pteromalidae, Ceraphronidae, Encyrtidae y Aphelinidae y el resto de Charipidae, Eulophidae, Ichneumonidae, Chrysididae, Proctotrupidae, Pompilidae y algunos dípteros de la familia Tachinidae.

Los artrópodos que habitan y se alimentan en la materia orgánica en descomposición, los saprófagos, se encontraron como el segundo nivel trófico más ampliamente distribuido con el 31.2%, cuya abundancia vario entre los híbridos de maíz genéticamente modificados y sus convencionales durante los tres años de estudio; densidad de población que no presento diferencias entre las comunidades. Por su abundancia, destacaron los colémbolos (Collembola: Entomobryidae, Isotomidae, Sminthuridae), los quironómidos (Diptera: Chironomidae), mosquitos de los hongos (Diptera: Mycetophilidae), los fóridos (Diptera: Phoridae), mosquitos de los hongos de alas negras (Diptera: Sciaridae), moscas pequeñas del estiércol (Diptera: Sphaeroceridae), moscas de la humedad (Diptera: Psychodidae) y moscas negras de la carroña o basura (Diptera: Scatopsidae).

Los colémbolos es uno de los grupos más estudiados del nivel trófico de los saprófagos, particularmente la familia Entomobryidae, de la cual Al-deeb et al. (2003), Rose y Dively (2007) no encontraron en su abundancia diferencias en el suelo sembrado con maíz Bt y maíz convencional, no encontrando un efecto del cultivo modificado genéticamente sobre estos insectos.

El mayor número de saprófagos en los híbridos convencionales, probablemente este influenciada por los restos del daño en la planta por los insectos plaga de este cultivo y que entran en descomposición al caer al suelo, atrayendo artrópodos de este nivel trófico y que explotan ese nicho como hábitat y/o les

sirve de alimento. Por otro lado, la abundancia de artrópodos observados en el maíz genéticamente modificado, no se espera un efecto negativo de las proteínas de Bt hacia este grupo, dado que las proteínas Cry se ha demostrado que se degradan rápidamente en los residuos que se incorporan al suelo, por lo tanto el efecto ambiental de estos cultivos no es significativo (Betz et al. 2000), al respecto Saxena et al. (2002), explican que la toxina Cry1Ab se acumula en el suelo, ya que absorbe y se une rápidamente a partículas activas de la superficie (por ejemplo, arcillas y sustancias húmicas) y retiene la actividad insecticida durante al menos 180 días, no afectando a los artrópodos del suelo; resultados confirmados con anterioridad con pruebas de laboratorio hechas con tejidos de plantas Bt mezclado en una dieta con carbón vegetal, no encontrándose un riesgo toxicológico para Collembola (Sims y Martin, 1997).

Candolfi et al. (2004) confirmo que la posible liberación de toxinas al suelo por el maíz Bt-176 que expresan la toxina Cry1Ab sobre los artrópodos no objetivo bajo condiciones de campo, no conduce a un cambio detectable en la comunidad de colémbolos, indicando que la proteína insertada en el maíz no tiene un impacto sobre los artrópodos de suelo asociado al maíz, y que su comportamiento es similar en una parcela de maíz Bt a una parcela de maíz con la aplicación de insecticidas. Particularmente en el grupo Collembola, se ha reportado que este grupo ha sido beneficiado al estar expuestos a las proteínas Cry en estudios de laboratorio, y en campo no se han encontrado efectos negativos (Duan et al. 2010).

La mayor densidad de población de artrópodos en los híbridos GM, probablemente es debido a que estas plantas, presentan un menor daño foliar por efecto de plagas objetivo de Bt, lo que lo hace atractivo hacia otros fitófagos no blanco de la tecnología, por la mayor disponibilidad de biomasa vegetal, lo que ocasiona que sus enemigos naturales también sean atraídos hacia este sistema agrobiotecnológico; presentando un mayor número de artrópodos ampliamente distribuidos, en función de la organización de cada sub-comunidad dentro de la cadena trófica y se puede apreciar que la diversidad y abundancia es propia de la distribución espacial de cada organismo dentro del

agroecosistema, además que esta generalmente en función de la búsqueda de alimento y de mejores condiciones físicas y características propias de dependencia; en este sentido Dively (2005), indica que si hay cambios significativos en ciertos taxones en las parcelas de maíz Bt, mencionando que son indirectamente relacionados con factores mediados por la planta, sino que más bien son una respuesta a la ausencia de daños en la planta y a la mayor disponibilidad en la densidad de población de presas. Rose y Dively (2007), sugirieron que el aumento constante en el número y diversidad de artrópodos que viven en las plantas se produce en función de la biomasa vegetal, y la diversidad estructural que provee más nichos y recursos para su hábitat.

En el caso del tratamiento insecticida (comparativo principal con los cultivos Bt), en este estudio solo se realizaron aplicaciones durante el 2013 y se comparó con el híbrido Agrisure Viptera™ 3111 en las localidades de El Camalote y Oso Viejo. Los cuatro niveles tróficos de artrópodos identificados, en ambas localidades presentaron mayor abundancia en el maíz genéticamente modificado en comparación con el híbrido convencional con insecticida, no obstante; en todas las evaluaciones, no se encontraron diferencias estadísticas entre estas poblaciones. Estos resultados ofrecen un acercamiento entre el maíz GM e híbridos convencionales con insecticida, sobre la abundancia de artrópodos, sin embargo; este resultado no se puede considerar concluyente, más bien una aportación y confirmación a la experiencia internacional en este sentido.

Dively y Rose (2002), en su estudio de la comunidad mencionan que no se presentan evidencias de efectos adversos del maíz Bt en la abundancia y diversidad de fitófagos, saprófagos y enemigos naturales no blanco, sin embargo; el insecticida lambda-cyhalotrina si presento un efecto negativo sobre especies plaga e invertebrados no blanco. Por otro lado Saxena et al. (2002) indican que la proteína insertada en el maíz no tiene un impacto sobre los artrópodos de suelo asociado al maíz; no obstante, menciona que el comportamiento de artrópodos es similar en una parcela de maíz Bt a una parcela de maíz con la aplicación de insecticidas. De igual manera Dively (2005), durante tres años de monitoreo de los efectos del maíz Bt con eventos apilados (Vip3A y Cry1Ab) en comparación

con un híbrido convencional con control con insecticida foliar (piretroide λ -cyhalotrina), determino que las comunidades de artrópodos en las parcelas tratadas con insecticidas presentaron cambios negativos y positivos en la abundancia de distintos taxones, aunque el efecto de la aplicaciones del químico es significativamente mayor que los disturbios provocados por el efecto Bt.

Bruck *et al.* (2006) hacen referencia que para que haya un efecto en las interacciones multi-tróficas naturales en el agroecosistema maíz es necesaria una disminución drástica en las poblaciones benéficas y no blanco, situación que se asemeja con la aplicación de insecticidas, ya que estos ocasionan mayor daño en diversos taxones de artrópodos no blanco. Rose y Dively (2007), mencionan que los efectos del maíz Bt son mínimos y menores a diferencia de las disrupciones a nivel de la comunidad de artrópodos causados por insecticidas, con grandes impactos en la abundancia de los artrópodos no blanco.

Zenner y Álvarez (2008), durante tres años de evaluación del híbrido de maíz Bt (Yielgard) que expresa la toxina Cry1Ab sobre sobre parasitoides y depredadores asociados al cultivo de maíz en Colombia, encontraron que la toxina no ejerce un efecto directo sobre las poblaciones de insectos benéficos estudiados, y la disminución de sus poblaciones, en el cultivo Bt como en el convencional, se atribuye a la merma de presas y de huéspedes a causa de aplicaciones de insecticidas contra insectos plaga no controladas con los cultivares transformados y al control de *S. frugiperda* por las toxina incorporada en el maíz y mencionan que los parasitoides de huevo como *Trichogramma* y *Telenomus* no pueden ser afectados por las toxinas, pero si por las aplicaciones químicas, y agregan que *Cycloneda* sp y los parasitoides *Cardiochiles* y *Meteorus* se podrían convertir a la larga en un organismo en vía de extinción, por lo menos a nivel local, más aun si se pretenden implementar los cultivos Bt, y menciona que el maíz Bt Yielgard que sí controla satisfactoriamente las larvas neonatas del cogollero representa por lo tanto un peligro eminente para *Chelonus insularis* parasitoide de huevo larva, concluyendo que la práctica ausencia de enemigos naturales en el cultivar Bt no se le puede atribuir a la toxina Cry.

Lo que respecta a las cuatro especies evaluadas mediante inspecciones visuales, *O. insidiosus*, *C. carnea*, *C. maculata* y *C. pulicaria*, estas especies presentaron una tendencia similar entre sus poblaciones en cada híbrido evaluado, con una mayor abundancia en los tres depredadores en el híbrido Agrisure Viptera™ 3111 en ambas localidades de evaluación, mientras que el fitófago *C. pulicaria* en El Camalote presentó mayor abundancia en el Agrisure Viptera™ 3111 y en la localidad de Oso Viejo fue el híbrido convencional sin manejo de plagas; no obstante, en ninguno de los casos se presentaron diferencias entre poblaciones. Las fluctuaciones iniciaron con una densidad baja con menos de 10 insectos por inspección, con excepción de la evaluación de *O. insidiosus* en El Camalote, que inició con una abundancia por encima de entre 10 y 27 insectos por muestreo. Densidad poblacional que se incrementó con el desarrollo del cultivo, probablemente en función de la densidad de población de los fitófagos presa disponibles para los depredadores y a su vez biomasa vegetal para los fitófagos, con un posterior incremento hasta llegar a uno o dos picos poblacionales (Figs. 1-8), asociados al inicio y término de la floración la cual se presentó entre el 18 y 20 de mayo en ambas localidades; esta situación probablemente asociada con la ingesta de polen, ya que depredadores como *C. maculata* al incluir en su dieta néctar y/o polen, responde con un aumento poblacional, principalmente cuando el cultivo está en floración (Hoffmann y Frodsham 1993). El mayor número de insectos en el híbrido genéticamente modificado, puede estar asociado al hecho de que estos presentan menos daño foliar por *S. frugiperda*, plaga primaria de este cultivo, brindando una mayor disponibilidad de recursos alimenticios y de protección para otros fitófagos no blanco de la tecnología Bt, y atrayendo a sus enemigos naturales equilibrando la comunidad trófica; al respecto Rose y Dively (2007) mencionan que el aumento constante en el número de artrópodos que viven en las plantas se produce en función de la biomasa vegetal, y la diversidad estructural provee más nichos y recursos para su hábitat. El híbrido convencional con control de insectos presenta menor densidad poblacional respecto al maíz genéticamente modificado y el convencional sin manejo de insectos en 5 de los 8 casos estudiados (Fig.1, 2, 5, 7 y 8), sugiriendo

que el control químico con Benzoato de emamectina afectó la abundancia de *O. insidiosus* (ambas localidades), *C. maculata* (Oso Viejo) y *C. pulicaria* (ambas localidades), no permitiéndole autorregularse adecuadamente, ocasionando una disrupción en el patrón natural de su población. Situación que no sucedió en *C. carnea*, esto probablemente a que las crisopas son insectos muy móviles y se desplazan más ampliamente entre las plantas, evitando de alguna manera el contacto con el insecticida, mientras que los escarabajos y las chinches tienden a agregarse y permanecer en la misma planta por periodos más largos de tiempo, lo cual también se refleja en la mayor abundancia observada, principalmente en escarabajos.

Los resultados encontrados reflejan que el maíz GM que expresa las toxinas de *Bacillus thuringiensis* no tiene un efecto negativo en la abundancia, ni en los cambios en la densidad de población de *O. insidiosus*, los cuales son propios de su ciclo de vida y de la disponibilidad de alimento, concordando con lo obtenido por Fernandes et al. (2007) en Brasil, quienes no encontraron un efecto negativo en poblaciones de depredadores en maíz Bt que expresa las proteínas Cry1Ab y VIP3A y sus híbridos convencionales, concluyendo que la tecnología Bt no causa una reducción en los principales depredadores asociados al maíz.

Al-Deeb y Wilde (2003), en un estudio realizado con maíz Bt (Cry3Bb1) en Kansas, donde no encontraron diferencias en el número de *O. insidiosus* y *C. maculata*, llegando a concluir que el maíz Bt no tiene efectos nocivos sobre los artrópodos benéficos. De la Poza et al. (2005), en España, durante más de 3 años de evaluar el impacto del maíz que expresa la toxina Cry1Ac sobre la abundancia de depredadores, mediante trampas Pitfall y observaciones visuales encontraron a Anthocoridae con mayor representación y dejaron en claro que no hay tendencia de un efecto negativo del maíz Bt, sugiriendo que este maíz es compatible con los depredadores naturales del agroecosistema. Pilcher et al. (2005) durante tres años en Iowa encontraron pocas diferencias en la abundancia de *O. insidiosus* y *C. maculata* entre maíz Bt que expresa la toxina Cry1Ab y convencional, concluyendo que los efectos del maíz Bt sobre este enemigo natural no fue inesperado, dado el comportamiento de forrajeo y búsqueda de

diferentes presas. A su vez, Ahmad et al. (2006), mediante estudios de campo con maíz Bt que expresa la proteína Cry3Bb1 en Kansas en 2002 y 2003, no encontraron diferencias significativas en la abundancia de *O. insidiosus* y *C. maculata* entre el maíz Bt y convencional.

Pilcher et al. (1997), Orr y Landis (1997) y Candolfi et al. (2004), específicamente para *C. carnea*, depredador de diversas presas, reportaron no haber encontrado un efecto perjudicial sobre la abundancia en maíz Bt (Cry1Ab) bajo condiciones de campo. Jasinski et al. (2003) en su estudio de la abundancia de artrópodos no blanco en campos de maíz Bt y convencional en Ohio, de los artrópodos evaluados encontraron pocos casos donde las diferencias estadísticas entre el cultivo Bt y convencional pudieron ser detectados, con una mayoría de interacciones benignas, salvo el caso de *Chrysoperla* spp, Staphylinidae y ácaros de suelo que fueron más abundantes en maíz convencional y otros como *Orius* spp fue más abundante en maíz Bt, concluyendo que solo unos pocos impactos negativos sobre los artrópodos no blanco pueden ser directamente asociados con la producción de maíz transgénico.

Pilcher et al. (2005), determinaron el efecto del maíz Bt (evento 76 y Bt11) que expresa la toxina Cry1Ab sobre la abundancia de depredadores como *C. carnea*, encontraron pocas diferencias en la abundancia entre maíz Bt y convencional, concluyendo que los efectos de la abundancia del maíz Bt sobre estos enemigos naturales no fueron inesperados, dado el comportamiento de forrajeo y la búsqueda de diferentes especies.

Dively y Rose (2002) encontraron una mayor abundancia de pulga saltona en el maíz GM, no observando efectos adversos del maíz Bt sobre este y otros fitófagos no blanco, declarando que ciertas taxas si sufren algún cambio, pero estos cambios están vinculados indirectamente a la planta y a la ausencia del alimento, el cual es el objetivo de las planta Bt, sin embargo; mencionan que el control con insecticida si presenta un impacto negativo sobre plagas secundarias no objetivo. Daly y Buntin (2005), en Georgia Estado Unidos, durante dos años estudiaron poblaciones de artrópodos no blanco en campos de maíz Bt que expresa la proteína Cry1Ab, en comparación con campos de maíz convencional;

estudio en el cual no encontraron diferencias consistentes en los artrópodos no blanco e indico que plagas secundarias como la pulga saltona *C. pulicaria* presento mayor abundancia en maíz Bt, aunque sugieren que no se vieron afectados negativamente por el maíz GM y concluyeron que este maíz no presenta un efecto adverso sobre las poblaciones no blanco en el sistema maíz. Al respecto Pons *et al.* (2005) en la Península Ibérica durante tres años, en su estudio de plagas del maíz que no son blanco de la tecnología Bt, no encontraron diferencias en cada grupo estudiado, concluyendo en su análisis que el maíz genéticamente modificado no tiene un impacto negativo sobre la biocenosis no blanco de la tecnología Bt e incluso señalan que para algunas especies fitófagas muy abundantes en el maíz Bt, la modificación del maíz las favorece, correlacionado con la mayor abundancia de biomasa vegetal.

Rose y Dively (2007), durante 2 años en maíz dulce Bt y su línea convencional tratada con un insecticida foliar, encontraron que la abundancia de fitófagos no presento ningún efecto significativo por efecto del maíz Bt, consecuencia que si se presentó con la aplicación del insecticida reduciendo la abundancia de los artrópodos no blanco, concluyendo que los efectos del maíz Bt son mínimos y menores a diferencia de las disrupciones a nivel de la comunidad de artrópodos causadas por el insecticida.

Como cualquier tecnología de control de insectos, las plantas genéticamente modificadas que expresan la toxina de Bt pudieran presentar un riesgo para la comunidad de artrópodos, sin embargo; en el mediano plazo las observaciones hechas en Sinaloa, México, no han arrojado resultados que indiquen un posible efecto negativo del maíz Bt sobre la abundancia en campo de artrópodos no blanco, asociados al cultivo de maíz, aunque si bien es importante continuar con las evaluaciones a fin de no dejar cabos sueltos, sobre todo con eventos nuevos y en combinación (piramidales y apilados) que se están desarrollando en el maíz y otros cultivos, con el objetivo de darle un uso racional a esta tecnología y cuidado de los cultivos Bt, ya que tienen un potencial considerable para reducir los insumos de productos químicos. Por lo tanto esta tecnología puede contribuir

potencialmente a preservar la biodiversidad del agroecosistema en relación a otras opciones de manejo de plagas.

Conclusión

Las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis* que expresa el maíz genéticamente modificado no tienen un efecto negativo sobre la abundancia de fitófagos, depredadores, parasitoides y saprófagos no blanco, asociados al agroecosistema maíz.

Agradecimientos

A la compañía Syngenta Agro S.A de C.V. por haber proporcionado el material genético para la presente investigación.

Literatura Citada

- Abel, C. A., R. L. Wilson, B. R. Wiseman, W. H. White and F. M. Davis. 2000. Conventional Resistance of Experimental Maize Lines to Corn Earworm (Lepidoptera: Noctuidae), Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae), Southwestern Corn Borer (Lepidoptera: Crambidae), and Sugarcane Borer (Lepidoptera: Crambidae). *J. Econ. Entomol.* 93(3): 982-988.
- Ahmad, A., G. E. Wilde, R. J. Whitworth and G. Zolnerowich. 2006. Effect of corn hybrids expressing the coleopteran-specific Cry3Bb1 protein for corn rootworm control on aboveground insect predators. *J. Econ. Entomol.* 99(4):1085-1095.
- Al-Deeb, M. A. and G. E. Wilde. 2003. Effect of Bt Corn Expressing the Cry3Bb1 Toxin for Corn Rootworm Control on Aboveground Nontarget Arthropods. *Environ. Entomol.* 32(5):1164-1170.
- Al-Deeb, M. A., G. E. Wilde, J. M. Blair and T. C. Todd. 2003. Effect of Bt Corn for Corn Rootworm Control on Nontarget Soil Microarthropods and Nematodes. *Environ. Entomol.* 32(4):859-865.
- Bahena, J. F. 2008. Enemigos Naturales de las Plagas Agrícolas. Del maíz y otros cultivos. Libro Técnico Núm. 5 SAGARPA-INIFAP. Uruapan, Michoacán, México. 180 Pág.
- Bautista, M. N. 2006. Insectos Plaga. Una guía ilustrada para su identificación. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México. 113 Pág.

- Betz, F. S., B. G. Hammond and R. L. Fuchs. 2000. Safety and Advantages of *Bacillus thuringiensis*-Protected Plants to Control Insect Pests. *Reg. Tox. Pharmacol.* 32: 156–173.
- Borror D. J. and R. E. White. 1970. *A Field Guide to Insects America North of Mexico*. The Peterson field guide series Houghton Mifflin Company. U.S.A. 404 Pág.
- Bruck, J. D., M. D. Lopez, L. C. Lewis, J. R. Prasifka and R. D. Gunnarson. 2006. Effects of Transgenic *Bacillus thuringiensis* Corn and Permethrin on Nontarget Arthropods. *J. Agric. Urban Entomol.* 23(3): 111-124.
- Buntin, G. D. 2008. Corn expressing Cry1Ab or Cry1F endotoxin for fall armyworm and corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) management in field corn for grain production. *Fla. Entomol.* 91(4): 523-530.
- Burkness, E. C., G. Dively, T. Patton, A. C. Morey and W. D. Hutchison. 2010. Novel Vip3A *Bacillus thuringiensis* (Bt) maize approaches high-dose efficacy against *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) under field conditions. *GM Crops* 1(5): 337-343.
- Candolfi, M. P., K. Brown, C. Grimm, B. Reber and H. Schmidli. 2004. A Faunistic Approach to Assess Potential Side-Effects of Genetically Modified Bt-Corn on Non-Target Arthropods Under Field Conditions. *Biocontrol Science and Technology.* 14(2): 129-170.
- Castro, B. A., B. R. Leonard and T. J. Riley. 2004. Management of feeding damage and survival of southwestern corn borer and sugarcane borer (Lepidoptera: Crambidae) with *Bacillus thuringiensis* transgenic field corn. *J Econ Entomol* 97(6): 2106-2116.
- Daly, T. and G. D. Buntin. 2005. Effect of *Bacillus thuringiensis* Transgenic Corn for Lepidopteran Control on Nontarget Arthropods. *Environ. Entomol.* 34(5):1292-1301.
- De la Poza, M., X. Pons, G. P. Farinós, C. López, F. Ortego, M. Eizaguirre, P. Castañera and R. Albajes. 2005. Impact of farm-scale Bt maize on abundance of predatory arthropods in Spain. *Crop Protection.* 24:677-684.
- Dively, G. P. 2005. Impact of Transgenic VIP3A X Cry1Ab Lepidopteran-resistant Field Corn on the Nontarget Arthropod Community. *Environ. Entomol.* 34(5): 1267-1291.
- Dively, G. P. and R. Rose. 2002. Effects of Bt transgenic and conventional insecticide control on the non-target natural enemy Community in sweet corn. 1st International Symposium on Biological Control of Arthropods. Forest Health Technology Enterprise Team. United States. pp. 265-274.
- Duan, J. J., J. G. Lundgren, S. Naranjo and M. Marvier. 2010. Extrapolating non-target risk of Bt crops from laboratory to field. *Biol. Lett.* 6: 74–77.
- Duan, J.J., D. Teixeira, J. E. Huesing and C. Jiang. 2008. Assessing the Risk to Nontarget Organisms from *Bt* Corn Resistant to Corn Rootworms (Coleoptera: Chrysomelidae): Tier-I Testing with *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthracoridae). *Environ Entomol* 37(3): 838-844.
- Dutton, A., H. Klein, J. Romeis and F. Bigler. 2002. Uptake of Bt-toxin by herbivores feeding on transgenic maize and consequences for the predator *Chrysoperla carnea*. *Ecological Entomology.* 27(4):441-447.

- Dutton, A., J. Romeis and F. Bigler. 2003. Assessing the risks of insect resistant transgenic plants on entomophagous arthropods: Bt-maize expressing Cry1Ab as a case study. *BioControl*. 48:611-636.
- Fernandez, F. y M. J. Sharkey (Eds.). 2006. *Introducción a los Hymenoptera de la región Neotropical*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 893 Pág.
- Fernandes, O. A., M. Faria, S. Martinelli, F. Schmidt, C. V. Ferreira e G. Moro. 2007. Short-term assessment of Bt maize on non-target arthropods in Brazil. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. 64(3):249-255.
- Gauld, I. and B. Bolton (Eds). 1988. *The Hymenoptera*. Oxford University Press, New York, U.S.A. pp. 332.
- Gibson, G. A. P., I. T. Huber and J. B. Woolley (Editors). 1997. *Annotated Keys to the Genera of Nearctic Chalcidoidea (Hymenoptera)*. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada. pp. 794.
- Goulet, H. and J. T. Huber (Editors). 1993. *Hymenoptera of the world: an identification guide to families*. Minister of Supply and Services Canada. Ottawa, Canada. 668 Pág.
- Groot, A. T. and M. Dicke. 2002. Insect-resistant transgenic plants in a multi-trophic context. *The Plant Journal*. 31(4): 387-406.
- Halsey, M. E., K. M. Remund, C. A. Davis, M. Qualls, P. J. Eppard and S. A. Berberich. 2005. Isolation of Maize from Pollen Mediated Gene Flow by Time and Distance. *Crop Science*. 45:2172-2185.
- Hardke, J. T., B. R. Leonard, F. Huang and R. E. Jackson. 2011. Damage and survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic field corn expressing *Bacillus thuringiensis* Cry proteins. *Crop Protection* 30(2): 168-172.
- Harwood, J. D., W. G. Wallin and J. J. Obrycki. 2005. Uptake of Bt endotoxins by nontarget herbivores and higher order arthropod predators: molecular evidence from a transgenic corn agroecosystem. *Mol. Ecol.* 14:2815-2823.
- Higgins, L. S., J. Babcock, P. Neese, R. J. Layton, D. J. Moellenbeck and N. Storer. 2009. Three-Year Field Monitoring of Cry1F, Event DAS-Ø15Ø7-1, Maize Hybrids for Nontarget Arthropod Effects. *Environ. Entomol.* 38 (1): 281-292.
- Hoffmann, M. P. and A. C. Frodsman. 1993. *Natural enemies of vegetable insect pests*. Cooperative extension, Cornell University, Ithaca, N. Y. pp. 63.
- Hussein, M. H., Z. Svobodová, O. Habuštová, V. Půža and F. Sehnal. 2012. Impact of genetically modified maize expressing Cry 3Bb1 on Some non-target arthropods. *Journal of Applied Sciences Research*. 8(10): 5124-5131.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2010. *Maíz: En: Guía técnica para el área de influencia del Campo Experimental Valle de Culiacán*. Culiacán, Sinaloa; México. Centro de Investigación Regional del Noreste (CIRNO). Campo Experimental Valle de Culiacán (CEVACU). México. pp: 41-47.
- James, C. 2014. *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2014*. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA). Brief No. 49-2014: Executive Summary. ISAAA: Ithaca, NY. In <http://www.isaaa.org>

- Jasinski, J. R., J. B. Easley, C. E. Young, J. Kovach and H. Willson. 2003. Select Nontarget Arthropod Abundance in Transgenic and Nontransgenic Field Crops in Ohio. *Environ. Entomol.* 32(2):407-413.
- Krantz, G. W. 1970. A manual of Acarology. O.S.U. Book Stores, Inc. Fourth printing. Corvallis, Oregon, U.S.A. pp. 335.
- Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM). 2005. Diario Oficial de la Federación 18 de marzo de 2005. México. 44 p.
- Lewandowski, A. and J. Górecka. 2008. Effect of transgenic maize MON810 on selected non-target organisms: the bird cherry-oat Aphid (*Rhopalosiphum padi* L.) and its predator – green lacewing (*Chrysoperla carnea* Steph.). *Vegetable Crops Research Bulletin.* 69: 21-30
- Magurran, A. E. 2004. Measuring Biological Diversity. Blackwell Science Ltd a Blackwell Publishing company. United Kingdom. pp: 256.
- Marvier, M., C. McCreedy, J. Regetz and P. Kareiva. 2007. A Meta-Analysis of Effects of Bt Cotton and Maize on Nontarget Invertebrates. *Science.* 316: 1475-1477.
- McAlpine, J. F., B. V. Peterson, G. E. Shewell, H. J. Teskey; J. R. Vockeroth and D. M. Wood. (Eds.) 1981. Manual of Nearctic Diptera. Vol. 1. Monograph No. 27. Canada. Pp: 1-674.
- McAlpine, J. F. (Ed.), B. V. Peterson, G. E. Shewell, H. J. Teskey, J. R. Vockeroth and D. M. Wood. 1987. Manual of Nearctic Diptera. Vol. 2. Monograph No. 27. Canada. Pp: 675-1332.
- McAlpine, J. F. (Ed.) and D. M. Wood. 1989. Manual of Nearctic Diptera. Vol. 3. Monograph No. 32. Canada. Pp: 1333-1581.
- Minitab Inc. Quality Plaza 1829 Pine Hall Road State College PA 16801-308. Disponible en: www.Minitab.com
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 Pág.
- Nájera, R. M. B. y B. Souza. 2010. Insectos Benéficos. Guía para su Identificación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 73 Pág.
- Niu, Y., R. L. Meagher Jr., F. Yang and F. Huang. 2013. Susceptibility of field populations of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) from Florida and Puerto Rico to purified Cry1F and corn leaf tissue containing single and pyramided Bt genes. *Fla Entomol* 96(3): 701-713.
- Noyes, J. S. 2011. Universal Chalcidoidea Database. World Wide Web electronic publication. Disponible en: <http://www.nhm.ac.uk/our-science/data/chalcidoids/database/> (Último acceso Noviembre 2015)
- Obrist, L. B., A. Dutton, J. Romeis and F. Bigler. 2006. Biological Activity of Cry1Ab Toxin Expressed by Bt Maize Following Ingestion by Herbivorous Arthropods and Exposure of the Predator *Chrysoperla carnea*. *BioControl.* 51:31-48.
- Orr, D. B. and D. A. Landis. 1997. Oviposition of European corn borer (Lepidoptera: Pyralidae) and impact of natural enemy population in transgenic versus isogenic corn. *J. Econ. Entomol.* 90(4): 905-909.

- Pilcher, C. D., J. J. Obrycki, M. E. Rice and L. C. Lewis. 1997. Preimaginal development, survival and field abundance of insect predators on transgenic *Bacillus thuringiensis* corn. *Environ. Entomol.* 26 (2): 446-454.
- Pilcher, C. D., M. E. Rice and J. J. Obrycki. 2005. Impact of Transgenic *Bacillus thuringiensis* Corn and Crop Phenology on Five Nontarget Arthropods. *Environ. Entomol.* 34(5): 1302-1316.
- Pons, X., B. Lumbierres, C. López and R. Albajes. 2005. Abundance of non-target pests in transgenic Bt-maize: A farm scale study. *Eur. J. Entomol.* 102: 73–79.
- Rose, R. and G. P. Dively. 2007. Effects of Insecticide-Treated and Lepidopteran-Active Bt Transgenic Sweet Corn on the Abundance and Diversity of Arthropods. *Environ. Entomol.* 36(5): 1254-1268.
- S.A.S. Institute. 2002. The SAS System for Windows, Release 9.0. SAS, Institute, Cary N. C. U.S.A.
- Saxena, D., S. Flores and G. Stotzky. 2002. Bt toxin is released in root exudates from 12 transgenic corn hybrids representing three transformation events. *Soil Biology and Biochemistry.* 34: 133-137.
- Schuh, R. T. and J. A. Slater. 1995. True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera). Cornell University Press, New York, U.S.A. pp. 336.
- Silva, C. C. A. 2005. Maíz Genéticamente Modificado. AGRO-BIO. Bogotá, Colombia. Pág. 60.
- Sims, S. R. and J. W. Martin. 1997. Effect of the *Bacillus thuringiensis* insecticidal proteins CryIA(b), CryIIA, and CryIIIA on *Folsomia candida* and *Xenylla grisea* (Insecta: Collembola). *Pedobiologia.* 41: 412-416.
- Sisterson, M. S., Y. Carrière, T. J. Dennehy and B. E. Tabashnik. 2007. Nontarget Effects of Transgenic Insecticidal Crops: Implications of Source-Sink Population Dynamics. *Environ. Entomol.* 36(1): 121-127.
- Tabashnik, B. E., T. J. Dennehy, M. A. Sims, K. Larkin, G. P. Head, W. J. Moar and Y. Carrière. 2002. Control of Resistant Pink Bollworm (*Pectinophora gossypiella*) by Transgenic Cotton That Produces *Bacillus thuringiensis* Toxin Cry2Ab. *Appl. Environ. Microbiol.* 68(8): 3790-3794.
- Tabashnik, B. E., Y. B. Liu, D. C. Unnithan, Y. Carrière, T. J. Dennehy and S. Morin. 2004. Shared genetic basis of resistance to Bt toxin Cry1Ac in independent strains of pink bollworm. *Journal of Economic Entomology* 97 (3):721-726.
- Triplehorn C. A. and N. F. Johnson. 2005. Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects. 7th Edition. Thompson Brooks/Cole. USA. Pág 865.
- White, R. E. 1983. A Field Guide to Beetles of North America. The Peterson field guide series Houghton Mifflin Company. U.S.A. 367 Pág.
- Yang, F., J. A. Qureshi, B. R. Leonard, G. P. Head, Y. Niu and F. Huang. 2013. Susceptibility of Louisiana and Florida populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to pyramided Bt corn containing Genuity® VT Double Pro™ and SmartStax™ traits. *Fla. Entomol.* 96(3): 714-723.
- Zenner, D. P. I. y G. A. Álvarez. 2008. Análisis del efecto de dos cultivares transgénicos, algodón y maíz, sobre la principal fauna benéfica en El Espinal (Tolima). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica.* 11(1): 133-142.

LITERATURA CITADA

- ABEL, C. A., R. L. WILSON, B. R. WISEMAN, W. H. WHITE and F. M. DAVIS. Conventional Resistance of Experimental Maize Lines to Corn Earworm (Lepidoptera: Noctuidae), Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae), Southwestern Corn Borer (Lepidoptera: Crambidae), and Sugarcane Borer (Lepidoptera: Crambidae). *J. Econ. Entomol.* 2000, 93, 982-988.
- ANDOW, D. A. and G. LÖVEI. Cry toxins in transgenic plants have direct effects on natural enemies in the laboratory. *Environ. Entomol.* 2012, 41(5), 1045-1047.
- ANDOW, D. A., G. LÖVEI and S. ARPAIA. Cry toxins and proteinase inhibitors in transgenic plants do have nonzero effects on natural enemies in the laboratory: Rebuttal to Shelton *et al.* 2009. *Environ. Entomol.* 2009, 38(6), 1528-1532.
- BAKAN, B., D. MELCION, D. RICHARD-MOLARD and B. CAHAGNIER. Fungal growth and *Fusarium* mycotoxin content in isogenic traditional maize and genetically modified maize grown in France and Spain. *J. Agric. Food. Chem.* 2002, 50(4), 728-731.
- BENAVIDEZ, M. A., R. E. M. V. HERNÁNDEZ., H. R. RAMÍREZ y R. A. SANDOVAL. Tratado de Botánica Económica Moderna. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Saltillo, Coahuila; México. 2010. Pág. 332.
- BENZ, B. F. Archeological evidence of teosinte domestication from Guilá Naquitz, Oaxaca. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2001, 98, 2104-2106.
- BERTONE, M. 2015. Imágenes de Spodoptera frugiperda. Fecha de consulta: 08 Noviembre 2015. Disponible en: http://ncsupdicblog.blogspot.mx/2014_08_01_archive.html
- BRIONES, R. D., G. F. CASTILLO, S. J. L. CHÁVEZ, R. V. H. AGUILAR, A. C. L. GARCÍA y H. A. RAMÍREZ. Respuesta del maíz nativo del altiplano mexicano a pudrición de mazorca, bajo infección natural. *Agronomía Mesoamericana* 2015, 26(1), 73-85.
- BRUCK, D. J., D. M. LOPEZ, C. L. LEWIS, R. J. PRASIFKA and D. R. GUNNARSON. Effects of Transgenic *Bacillus thuringiensis* Corn and Permethrin on Nontarget Arthropods. *J. Agr. Urban. Entomol.* 2006, 23, 111-124.
- BUNTIN, G. D. Corn expressing Cry1Ab or Cry1F endotoxin for fall armyworm and corn earworm (Lepidoptera: Noctuidae) management in field corn for grain production. *Fla. Entomol.* 2008. 91, 523-530.
- BUNTIN, G. D., K. L. FLANDERS and R. E. LYNCH. Assessment of Experimental Bt Events Against Fall Armyworm and Corn Earworm in Field Corn. *J. Econ. Entomol.* 2004, 97(2), 259-264.
- BURKNESS, E. C., G. DIVELY, T. PATTON, A. C. MOREY, W. D. HUTCHISON. Novel Vip3A *Bacillus thuringiensis* (Bt) maize approaches high-dose efficacy against *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) under field conditions. *GM Crops* 2010, 1(5), 337-343.

- CANDOLFI, M. P., K. BROWN, C. GRIMM, B. REBER and H. SCHMIDLI. A Faunistic Approach to Assess Potential Side-Effects of Genetically Modified Bt-Corn on Non-Target Arthropods Under Field Conditions. *Biocontrol Sci. Techn.* 2004, 14(2), 129-170.
- CAPINERA, J. L. Corn Earworm, *Helicoverpa (=Heliothis) zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae). EENY-145 (IN302). Entomology and Nematology Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 2008. Disponible en: <http://creatures.ifas.ufl.edu>.
- CARVAJAL, R. Bases para el debate sobre los OGM en Bolivia. Foro-Debate Cultivos genéticamente modificados: impactos en la biodiversidad, la salud y los procesos productivos. Ecoseries 1. La Paz, Bolivia. 2002. Disponible en: <http://library.fes.de/pdf-files/iez/global/02049.pdf>.
- CASMUZ, A., M. L. JUÁREZ, M. G. SOCÍAS, M. G. MURÚA, S. PRIETO, S. MEDINA, E. WILLINK y G. GASTAMINZA. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Rev. Soc. Entomol. Argent.* 2010, 69 (3-4), 209-231.
- CASTRO, B. A., B. R. LEONARD and T. J. RILEY. Management of feeding damage and survival of southwestern corn borer and sugarcane borer (Lepidoptera: Crambidae) with *Bacillus thuringiensis* transgenic field corn. *J. Econ. Entomol.* 2004, 97, 2106-2116.
- CESAVEG (2015) Campaña Manejo Fitosanitario del maíz. Manual de Plagas y Enfermedades en maíz. Consulta: 15 Septiembre 2015. Disponible en: http://www.cesaveg.org.mx/html/folletos/folletos_11/folleto_maiz_11.pdf.
- CIMMYT (2004) Programa de Maíz del CIMMYT. Enfermedades del maíz: una guía para su identificación en el campo. Cuarta edición. México, D.F. Pág. 118.
- CIMMYT (2015) Lista de Plagas y enfermedades del maíz. Consulta: 14 Octubre 2015. Disponible en: <http://maizedoctor.org/es/plagas-y-enfermedades/lista>.
- CLEMENTS, M. J., K. W. CAMPBELL, C. M. MARAGOS, C. PILCHER, J. M. HEADRICK, J. K. PATAKY and D. G. WHITE. Influence of Cry1Ab Protein and Hybrid Genotype on Fumonisin Contamination and *Fusarium* Ear Rot of Corn. *Crop Sci.* 2003, 43(4), 1283-1293.
- CONABIO (2006) Elementos para la determinación de centros de origen y centros de diversidad en general y el caso específico de la liberación experimental de maíz transgénico al ambiente en México. Documento base preparado por la Coordinación Nacional de la CONABIO para la (SEMARNAT) y la (SAGARPA). México, D.F. Consulta: 1 Octubre 2015. Disponible en: http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Doc_CdeOCdeDG.pdf
- CONABIO (2008) Proyecto FZ002 "Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México". México D.F. Consulta: 1 Octubre 2015. Disponible en: http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo8_ResultadosProyectos/FZ002/Informe%20final/Maiz/Sinaloa/Informe%20Final_Sinaloa_FZ002.pdf
- CRICKMORE, N., D. R. ZEIGLER, J. FEITELSON, E. SCHNEPF, J. VAN RIE, D. LERECLUS, J. BAUM and D. H. DEAN. Revision of the Nomenclature for the

- Bacillus thuringiensis* Pesticidal Crystal Proteins. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 1998., 62(3), 807-813.
- DALY, T. and G. D. BUNTIN. Effect of *Bacillus thuringiensis* Transgenic Corn for Lepidopteran Control on Nontarget Arthropods. *Environ. Entomol.* 2005, 34(5), 1292-1301.
- DIVELY, G. P. and R. ROSE. 2002. Effects of Bt transgenic and conventional insecticide control on the non-target natural enemy Community in sweet corn. 1st International Symposium on Biological Control of Arthropods. Forest Health Technology Enterprise Team. United States. pp. 265-274.
- DUAN, J. J., D. TEIXEIRA, J. E. HUESING and C. JIANG. Assessing the Risk to Nontarget Organisms from *Bt* Corn Resistant to Corn Rootworms (Coleoptera: Chrysomelidae): Tier-I Testing with *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthocoridae). *Environ. Entomol.* 2008, 37, 838-844.
- DUTTON, A., J. ROMEIS and F. BIGLER. Assessing the risks of insect resistant transgenic plants on entomophagous arthropods: Bt-maize expressing Cry1Ab as a case study. *BioControl* 2003, 48, 611-636.
- DUTTON, A., H. KLEIN, J. ROMEIS and F. BIGLER. Uptake of Bt-toxin by herbivores feeding on transgenic maize and consequences for the predator *Chrysoperla carnea*. *Ecol. Entomol.* 2002, 27(4), 441-447.
- DALY, T. and G. D. BUNTIN. Effect of *Bacillus thuringiensis* Transgenic Corn for Lepidopteran Control on Nontarget Arthropods. *Environ. Entomol.* 2005, 34(5), 292-1301.
- DE LEÓN, C. Enfermedades del maíz causadas por hongos. Pp: 25-26. *In: I curso Internacional sobre Diagnostico y enfermedades en maíz. Seminario taller de cosecha de maíces de la zona andina. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Cochabamba, Bolivia. Editorial PRODUMEDIOS. Bogotá, Colombia. 1997, pp 94.*
- DESJARDINS, A. E., C. M. MARAGOS and R. H. PROCTOR. Maize ear rot and moniliformin contamination by cryptic species of *Fusarium subglutinans*. *J. Agr. Food Chem.* 2006. 54(19), 7383-7390.
- DESJARDINS, A. E., R. D. PLATTNER and P. E. NELSON. Fumonisin production and other traits of *Fusarium moniliforme* strains from maize in northeast Mexico. *Appl. Environ. Microb.* 1994, 60(5), 1695-1697.
- DIVELY, G. P. Impact of Transgenic VIP3A X Cry1Ab Lepidopteran-resistant Field Corn on the Nontarget Arthropod Community. *Environ. Entomol.* 2005, 34(5), 1267-1291.
- DIVELY, G. P. and R. ROSE. Effects of Bt transgenic and conventional insecticide control on the non-target natural enemy Community in sweet corn. 1st International Symposium on Biological Control of Arthropods. Forest Health Technology Enterprise Team. United States. 2002, pp: 265-274.
- DSCS (2015) Department of Soil and Crop Sciences. Consulta: 10 Noviembre 2015. Disponible en: http://cls.casa.colostate.edu/cultivostransgenicos/sp_how.html
- FARIAS, J. R., E. C. COSTA, J. V. C. GUEDES, A. P. ARBAGE, A. B. NETO, M. BIGOLIN and F. F. PINTO. Managing the sugarcane borer, *Diatraea saccharalis*, and corn earworm, *Helicoverpa zea*, using Bt corn and insecticide treatments. *J. Insect Sci.* 2013, 13, 1-10.

- FERNANDES, O. A., M. FARIA, S. MARTINELLI, F. SCHMIDT, C. V. FERREIRA e G. MORO. Short-term assessment of Bt maize on non-target arthropods in Brazil. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)*. 2007, 64(3):249-255.
- FINANCIERA RURAL. 2010. Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996-2012. Consulta: 25 Agosto 2015. Disponible en: <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Maz/Ma%C3%ADz/maiz96-12.pdf>.
- FORSTER, R. L. Imagen de agalla por *Agrobacterium tumefaciens*. 2015. Consulta: 10 Noviembre 2015. Disponible en: <http://www.apsnet.org/publications/apsnetfeatures/Pages/Agrobacterium.aspx>
- FRAIRE, V. S. Un panorama del tema de los organismos genéticamente modificados: bondades y riesgos con las plantas transgénicas. *Revista de Investigación Científica*. 2006, 2(2): 1-20.
- GARCÍA-GUTIÉRREZ, C, M. B. GONZÁLEZ-MALDONADO, E. CORTEZ-MONDACA. Uso de enemigos naturales y biorracionales para el control de plagas de maíz. *Ra Ximhai* 2012, 8(3), 57-70.
- GARCÍA, G. C., S. G. J. LIZÁRRAGA, B. A. D. ARMENTA y APODACA, S. M. A. Efecto de productos biorracionales en la incidencia de hongos y concentración de aflatoxinas en maíz blanco cultivado en Sinaloa, México. *Revista Científica UDO Agrícola* 2012, 12:(4), 830-838.
- GLARE, T. R. and M. O' CALLAGHAN. *Bacillus thuringiensis*: Biology, Ecology and Safety. John Wilery & Sons, LTD. New York, 2000, pp. 350.
- GEORGHIOU, G. P. and R. B. MELLON. Pesticide resistance in time and space. In: Georghiou, G. P. and T. Saito. *Pest Resistance to Pesticides*. New York, Plenum Press. 1983, pp: 1-46.
- GHIMIRE, M. N., F. HUANG, R. LEONARD, G. P. HEAD and Y. YANG. Susceptibility of Cry1Ab- susceptible and -resistant sugarcane borer to transgenic corn plants containing single or pyramided *Bacillus thuringiensis* genes. *Crop Prot.* 2011, 30, 74-81.
- GILLIGAN, T. M. and S. C. PASSOA. Imágenes de *Helicoverpa zea*. Identification Technology Program (ITP), Fort Collins, CO. Last updated, 2014. Disponible en: <http://idtools.org/id/leps/lepintercept/helicoverpa.html>
- GONZÁLEZ, H. A., G. L. M. VÁZQUEZ, C. J. SAHAGÚN, P. J. E. RODRÍGUEZ y L. D. J. PÉREZ. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agricultura Técnica en México* 2007, 33(1), 33-42.
- GORDON, R. E., W. C. HAYNES and C. H. N. PANG. 1973. The genus *Bacillus*. En: U.S. Department of Agriculture. *Agricultural Handbook N° 427*. Washington D. C. U.S.D.A.
- GROOT, A. T. and M. DICKE. Insect-resistant transgenic plants in a multi-trophic context. *The Plant Journal* 2002, 31(4), 387-406.
- HANSEN J. L. C. and J. J. OBRYCKI. Field deposition of Bt transgenic corn pollen: lethal effects on the monarch butterfly. *Oecologia*. 2000, 125(2), 241-248.
- HARWOOD, J. D., W. G. WALLIN and J. J. OBRYCKI. Uptake of Bt endotoxins by nontarget herbivores and higher order arthropod predators: molecular evidence from a transgenic corn agroecosystem. *Mol. Ecol.* 2005, 14, 2815-2823.

- HARDKE, J. T., B. R. LEONARD, F. HUANG and R. E. JACKSON. Damage and survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic field corn expressing *Bacillus thuringiensis* Cry proteins. *Crop Prot.* 2011, 30, 168-172.
- HELLMICH, R. L., B. D. SIEGFRIED, M. K. SEARS, D. E. STANLEY-HORN, M. J. DANIELS, H. R. MATTILA, T. SPENCER, K. G. BIDNE and L. C. LEWIS. Monarch larvae sensitivity to *Bacillus thuringiensis* purified proteins and pollen. *PNAS.* 2001, 98(21), 11925–11930.
- HERRERA, A. J. Principales Plagas del Maíz. Boletín Especial de la Dirección de Agricultura y Ganadería del Perú. 1979.
- HOFFMANN, M. P. and A. C. FRODSHAM. Natural Enemies of Vegetable Insect Pests. Cooperative Extension, Cornell University, Ithaca, NY. 1993, pp. 63.
- HÖFTE, H. and H. R. WHITELEY. Insecticidal Crystal Proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiol. Rev.* 1989, 53(2), 242-255.
- HUSSEIN, M. H., Z. SVOBODOVÁ, O. HABUŠTOVÁ, V. PŮŽA, and F. SEHNAL. Impact of genetically modified maize expressing Cry 3Bb1 on Some non-target arthropods. *J. Appl. Sci. Res.* 2012, 8(10), 5124-5131.
- IBARRA, J. E. Uso de bacterias en el control biológico, pp. 144-159. En: Rodríguez-del-Bosque, L. A. y H. C. Arredondo-Bernal (eds.). Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 2007, pp 303
- INTA (2015) Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Imágenes de pudrición de mazorca por *Fusarium* sp. Consulta: 10 Noviembre 2015. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/uso-de-resistencia-genetica-para-reducir-los-niveles-de-contaminación-con-micotoxinas-en-maíz>
- IRIARTE, J. y P. CABALLERO. Biología y Ecología de *Bacillus thuringiensis*. En: CABALLERO, P. y J. FERRE (Eds.). Bioinsecticidas: Fundamentos y aplicaciones de *Bacillus thuringiensis* en el Control Integrado de Plagas. PHITOMA-España, Navarra, España, 2001, pp. 15-44.
- ISAAA (2015) International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications. Base de datos de aprobación de GM. Consulta: 10 Noviembre 2015. Disponible en: <http://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/default.asp>
- JAMES, C. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2010. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA). Brief No. 42. Executive Summary. 2010. ISAAA: Ithaca, NY. Consulta: 10 Noviembre 2015. Disponible en <http://www.isaaa.org>
- JAMES, C. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2014. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA). Brief No. 49-2014: Executive Summary. 2014. ISAAA: Ithaca, NY. Consulta: 10 Noviembre 2015. Disponible en <http://www.isaaa.org>
- JOUNG, K. B. and J. C. CÔTÉ. A review of the environmental impacts of the microbial insecticide *Bacillus thuringiensis*. Technical Bulletin. Canada. 2000, 29: 1-16
- JUGENHEIMER, R.W. Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Ed. Limusa. México D.F. 1988. pp. 841.
- JURAT-FUENTES, J. L. Characterization of Cry toxin mode of action. Department of Entomology and Plant Pathology. The University of Tennessee. Knoxville,

- Tennessee. 2015. Consulta: 10 Noviembre 2015. Disponible en: <http://web.utk.edu/~jurat/Btresearchtable.html>.
- KATI, H., K. SEZEN, R. NALCACIOGLU and Z. DEMIRBAG. A Highly Pathogenic Strain of *Bacillus thuringiensis* serovar *kurstaki* in Lepidopteran Pests. *J. Microbiol.* 2007, 45(6), 553-557.
- KATO, T. A., C. MAPES, L. M. MERA, J. A. SERRATOS y R. A. BYE. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 2009. Pág.116.
- KNOWLES, B. H. Mechanism of action of *Bacillus thuringiensis* insecticidal delta-endotoxins. In *Advances in Insect Physiology*. 24. Ed. PD Evans. Academic Press, London, England. 1994, pp. 275-308.
- KOTCHONI, O. S., W. E. GACHOMO and M. MWANGI. Review Commercial Production of Genetically Modified Crops: A Prognosis Towards Global Acceptance. *Int. J. Agri. Biol.* 2005, 7(4), 681-688.
- LBOGM (2005) Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados Diario Oficial de la Federación, 18 marzo 2005. México. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LBOGM.pdf>
- LEONG, K. L. H., R. J. CANO and A. M. KUBINSKI. Factors Affecting *Bacillus thuringiensis* Total Field Persistence. *Environ. Entomol.* 1980, 9(5), 593-599.
- LÖVEI, G. L., D. A. ANDOW and S. ARPAIA. Transgenic Insecticidal Crops and Natural Enemies: A Detailed Review of Laboratory Studies. *Environ. Entomol.* 2009, 38(2), 293-306.
- LOSEY, J. E., L. S. RAYOR and M. E. CARTER. Transgenic Pollen Harms Monarch Larvae. *Nature*. 1999, 39: 214.
- MATZ, K. S. Imágenes de *Helicoverpa zea*. 2005. Disponible en <http://bugguide.net/node/view/23086>
- MENDOZA, E. M., B. A. LÓPEZ, G. A. OYERVIDES, Z. G. MARTÍNEZ, C. DE LEÓN y M. E. MORENO. Herencia genética y citoplásmica de la resistencia a la pudrición de la mazorca del maíz (*Zea mays* L.) causada por *Fusarium moniliforme* Sheld. *Rev. Mex. Fitopatol.* 2003, 21(3), 267-271.
- MERA, O. L. M. y S. C. MAPES. El Maíz. Aspectos Biológicos. En: Kato, T. A., C. Mapes, L. M. Mera, J. A. Serratos y R. A. Bye. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 2009. Pág. 116.
- MORALES, R. I., M. M. J. YAÑEZ, R. H. V. SILVA, S. G. GARCÍA and P. D. A. GUZMÁN. Biodiversity of *Fusarium* species in Mexico associated with ear rot in maize, and their identification using a phylogenetic approach. *Mycopathologia* 2007, 163(1), 31-39.
- MORILLO, F. and A. NOTZ. Resistencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) a lambdacihalotrina y metomil. *Entomotropica* 2001, 16(2), 79-87.
- MUNKVOLD, G. P., R. L. HELLMICH and L. G. RICE. Comparison of fumonisin concentrations in kernels of transgenic Bt maize hybrids and non-transgenic hybrids. *Plant Dis.* 1999, 83(2), 130-138.

- NCBI (2011) National Center for Biotechnology Information. Consulta: 10 Noviembre 2015. Disponible en: [Http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?id=1428](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?id=1428)
- NIU, Y., R. L. MEAGHER Jr, F. YANG and F. HUANG F. Susceptibility of field populations of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) from Florida and Puerto Rico to purified Cry1F and corn leaf tissue containing single and pyramided Bt genes. *Fla. Entomol.* 2013, 96(3), 701-713.
- OBRIST, L. B., A. DUTTON, J. ROMEIS and F. BIGLER. Biological Activity of Cry1Ab Toxin Expressed by Bt Maize Following Ingestion by Herbivorous Arthropods and Exposure of the Predator *Chrysoperla carnea*. *BioControl* 2006, 51, 31-48.
- ORTEGA, A. C. Insectos nocivos del maíz: una guía para su identificación en el campo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). D.F., México. 1987, pp 106.
- PACHECO-COVARRUBIAS, J. J. Monitoring insecticide resistance in *Spodoptera frugiperda* populations from the Yaqui Valley, Son., Mexico. *Resistant Pest Management, Newsletter* 1993, 5, 3-4.
- PALIWAL, R. L., G. GRANADOS, H. R. LAFITTE y A. D. VIOLIC. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Depósito de documentos de la Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). Roma, Italia. Consulta: 10 Agosto 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s00.htm>
- PERMINGEAT, H. y E. MARGARIT. Impacto ambiental de los cultivos genéticamente modificados: El caso de Maíz *Bt*. *Revista Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias*. 2005, 7, 33-44.
- PIÑA, S. y J. L. SOLLEIRO. México. En: SOLLEIRO, R.J. L. y I. R. CASTAÑÓN (eds) Introducción al ambiente del maíz transgénico: Análisis de ocho casos en Iberoamérica, México: AgroBio México y CambioTec, México, 2013, pp 341-410.
- PIPERNO, D. R. and K. V. FLANNERY. The earliest archeological maize (*Zea mays* L.) from highland Mexico: New accelerator mass spectrometry dates and their implications. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2001, 98, 2101-2103.
- RAUSELL, C., C. MUÑOZ-GARAY, R. MIRANDA-CASSOLUENGO, I. GÓMEZ, E. RUDINO-PINERA, M. SOBERON and A. BRAVO. Tryptophan spectroscopy studies and black lipid bilayer analysis indicate that the oligomeric structure of Cry1Ab toxin from *Bacillus thuringiensis* is the membrane-insertion intermediate. *Biochemistry*. 2004, 43: 166-74
- REYES C. P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT-EDITOR S. A. México, D. F. Pág. 280.
- ROBLEDO, M. L., S. MARÍN y A. J. RAMOS. Contaminación natural con micotoxinas en maíz forrajero y granos de café verde en el Estado de Nayarit (México). *Rev. Iberoam. Micol.* 2001, 18, 141-144.
- RODRÍGUEZ, F. E., R. J. M. ZUMALACÁRREGUI, C. A. OTERO, S. A. CALLEJA y C. L. F. DE LA FUENTE. Lo que vd. debe saber sobre los alimentos transgénicos (y organismos manipulados genéticamente). Cartilla de divulgación. Edición Caja España. 2003, pp 69.

- RODRÍGUEZ, D. L. A y A. J. MARÍN. Insectos plaga y su control. pp. 29-46. En: Rodríguez M. R. y C. De León. El cultivo del maíz. Temas selectos 1. Colegio de postgraduados. Mundi Prensa México, 2008. pp. 127.
- RODRÍGUEZ, R. P. y R. O. GONZÁLEZ. Plantas transgénicas: una revisión de los principales cultivos básicos en México. *e-Gnosis*. 2007, 5(9), 1-22. Disponible on-line en: <http://www.e-gnosis.udg.mx/vol15/art9>
- ROSE, R., DIVELY, G. P. and J. PETTIS. Effects of Bt corn pollen on honey bees: emphasis on protocol development. *Apidologie*. 2007, 38, 1-11.
- SAGARPA (2015) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Consulta: 21 Octubre 2015. Disponible en: www.siap.gob.mx/index
- SAXENA, D., S. FLORES and G. STOTZKY. Bt toxin is released in root exudates from 12 transgenic corn hybrids representing three transformation events. *Soil Biology and Biochemistry*. 2002, 34, 133-137.
- SCHNEPF, E., N. CRICKMORE, J. VAN RIE, D. LERECLUS, J. BAUM, J. FEITELSON, D. R. ZEIGLER and D. H. DEAN. *Bacillus thuringiensis* and Its Pesticidal Crystal Proteins. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 1998, 62(3), 775-806.
- SCHNEPF, E. and H. R. WHITELEY. Cloning and expression of the *Bacillus thuringiensis* crystal protein gene in *Escherichia coli*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1981, 78 (5), 2893-2897.
- SEARS, M. K., HELLMICH, R. L., STANLEY-HORN, D. E., OBERHAUSER, K. S., PLEASANTS, J. M., MATTILA, H. R., SIEGFRIED, B. D. and G. P. DIVELY. Impact of Bt corn pollen on monarch butterfly populations: A risk assessment. *PNAS*. 2001, 98(21), 11937-11942.
- SENA D. G. Jr., F. A. C. PINTO, D. M. QUEIROZ and P. A. VIANA. Fall Armyworm Damaged Maize Plant Identification using Digital Images. *Biosystems Eng.* 2003, 85(4), 449-454.
- SHELTON A. M. Genetically engineered vegetables expressing proteins from *Bacillus thuringiensis* for insect resistance: Successes, disappointments, challenges and ways to move forward. *GM Crops & Food: Biotechnology in Agriculture and the Food Chain*, 2012, 3, 175-183.
- SHELTON, A. M., S. E. NARANJO, J. ROMEIS and R. L. HELLMICH. Errors in Logic and Statistics Plague a Meta-Analysis (response to Andow and Lövei 2012). *Environ. Entomol.* 2012, 41(5), 1047:1049.
- SHELTON A. M., S. E. NARANJO, J. ROMEIS, R. L. HELLMICH, R. J. D. WOLT, B. A. FEDERICI, R. ALBAJES, F. BIGLER, E. P. J. BURGESS, G. P. DIVELY, A. M. R. GATEHOUSE, L. A. MALONE, R. ROUSH, M. SEARS and F. SEHNAL. Setting the record straight: a rebuttal to an erroneous analysis on transgenic insecticidal crops and natural enemies. *Transgenic. Res.* 2009a, 18, 317-322
- SHELTON, A. M., S. E. NARANJO, J. ROMEIS, R. L. HELLMICH, J. D. WOLT, B. A. FEDERICI, R. ALBAJES, F. BIGLER, E. P. J. BURGESS, G. P. DIVELY, A. M. R. GATEHOUSE, L. A. MALONE, R. ROUSH, M. SEARS, F. SEHNAL, N. FERRY and A. B. HOWARD. Appropriate analytical methods are necessary to assess nontarget effects of insecticidal proteins in GM crops through meta-analysis (response to Andow *et al.* 2009). *Environ. Entomol.* 2009b, 38(6), 1533-1538.

- SIFUENTES, J. A. Plagas del maíz en México. INIFAP. Folleto técnico. Núm. 85. México D. F. 1985. Pág. 49.
- SILVA-AGUAYO, G, J. C. RODRÍGUEZ-MACIEL, A. LAGUNES-TEJEDA, C. LANDERAL-CÁZARES, R. ALATORRE-ROSAS, A. M. SHELTON and C. A. BLANCO. Bioactivity of Boldo (*Peumus boldus* Molina) (Laurales: Monimiaceae) on *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) and *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae). *Southwest. Entomol.* 2010, 35(3), 215-231.
- SILVA, C. C. A. Algodón genéticamente modificado. Editorial AGRO-BIO. Bogotá, Colombia. 2005a. pp. 47.
- SILVA, C. C. A. Maíz genéticamente modificado. Editorial AGRO-BIO. Bogotá, Colombia. 2005b. pp. 60.
- SIPOVE (2015) Sistema Potosino de Vigilancia Epidemiológica. Imágenes de *Diatraea saccharalis*. Consulta: 08 Noviembre 2015. Disponible en: http://www.sipove.gob.mx/Doc_SIPOVE/SVegetal/Publica/barrenador/Fichas/FT_Barrenador.pdf
- SISTERSON, M. S., Y. CARRIÈRE, T. J. DENNEHY and B. E. TABASHNIK. Nontarget Effects of Transgenic Insecticidal Crops: Implications of Source-Sink Population Dynamics. *Environ. Entomol.* 2007, 36(1), 121-127.
- SOBERÓN, M. y A. BRAVO. Las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis*: modo de acción y consecuencias de su aplicación, en: REBOLLEDO, F y A. LOPEZ-MUNGUÍA (Eds.). 2008. Una ventana al quehacer científico. Instituto de Biotecnología de la UNAM 25 aniversario. México, D.F. UNAM. 2008, pp. 303-314.
- THOMAS, M. D. and I. W. BUDDENHAGEN. Incidence and persistence of *Fusarium moniliforme* in symptomless maize kernels and seedlings in Nigeria. *Mycologia* 1980, 72(5), 882-887.
- TROUBRIDGE, J. T. and J. D. LAFONTAINE. Imágenes de *Helicoverpa zea*. 2015. Consulta: 08 Noviembre 2015. Disponible en <http://www.biology.ualberta.ca/facilities/strickland/noctuoidea/noctuidae3i.htm>
- TURRENT, F. A., F. J. I. CORTES, C. A. ESPINOSA, A. H. MEJÍA y H. J. A. SERRATOS. Es ventajosa para México la tecnología actual de maíz transgénico. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2010, 1(4), 631-646.
- TURRENT-FERNÁNDEZ, A., J. A. SERRATOS-HERNÁNDEZ, H. MEJÍA-ANDRADE y A. ESPINOSA-CALDERÓN. Liberación comercial de maíz transgénico y acumulación de transgenes en razas de maíz mexicano. *Rev. Fitotec. Mex.* 2009, 32(4), 257-263.
- USDA (2015) U.S. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. Clasificación del maíz. Consulta: 10 Noviembre 2015. Disponible en: <http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=ZEMA>
- WALDORPH, P. Ilustración de *Agrobacterium tumefaciens* y cultivo in vitro. 2015. Consulta: 10 Noviembre 2015. Disponible en: <http://etiskraad.dk/da-DK/Temauniverser/Etikoglivetgym/GMO/Genetisk-modifikation-afplanter/Agrobacterium-tumefaciens.aspx>
- WRAIGHT, C. L., A. R. ZANGERL, M. J. CARROLL and M. R. BERENBAUM. Absence of toxicity of *Bacillus thuringiensis* pollen to black swallowtails under field conditions. *PNAS.* 2000, 97(14), 7700-7703.

- WU, F. Mycotoxin reduction in Bt corn: potential economic, health, and regulatory impacts. *Transgenic Res.* 2006, 15(3), 277-289.
- YANG, F., J. A. QURESHI, B. R. LEONARD, G. P. HEAD, Y. NIU and F. HUANG. Susceptibility of Louisiana and Florida populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) to pyramided Bt corn containing Genuity® VT Double Pro™ and SmartStax™ traits. *Fla Entomol.* 2013, 96(3), 714-723.
- YU, S. J. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Pestic. Biochem. Phys.* 1991, 39(1), 84-91.
- YU, S. J., S. N. NGUYEN and G. E. ABO-ELGHAR. Biochemical characteristics of insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). *Pestic. Biochem. Phys.* 2003, 77(1), 1-11.
- ZANGERL, A. R., A. D. MCKENNA, C. L. WRAIGHT, M. CARROLL, P. FICARELLO, R. WARNER and M. R. BERENBAUM. Effects of exposure to event 176 *Bacillus thuringiensis* corn pollen on monarch and black swallowtail caterpillars under field conditions. *PNAS.* 2001, 98 (21), 11908-11912.