

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Resistencia del Maíz Genéticamente Modificado al Daño de *Spodoptera frugiperda*
(J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en Sinaloa, México.

Por:

LIBRADO CASTILLO RODRÍGUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Resistencia del Maíz Genéticamente Modificado al Daño de *Spodoptera frugiperda*
(J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en Sinaloa, México

Por:

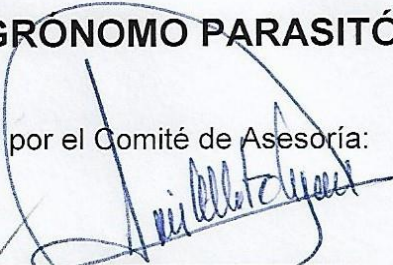
LIBRADO CASTILLO RODRÍGUEZ

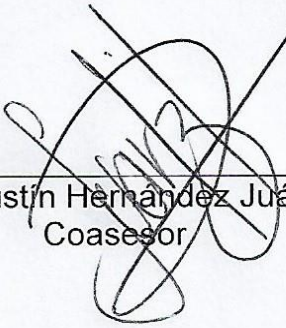
TESIS

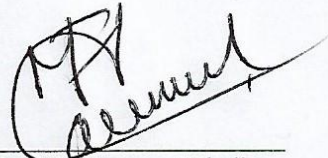
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

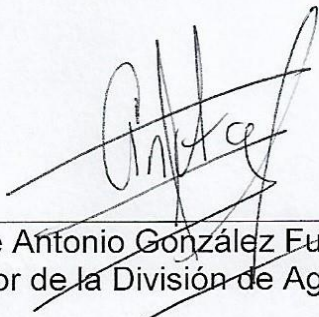
INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe
Asesor Principal


Dr. Agustín Hernández Juárez
Coasesor


Dr. Mariano Flores Dávila
Coasesor


Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2019



AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme dado la dicha vivir esta vida y cumplir mis metas.

A la compañía Syngenta Agro S.A de C.V., de México, por el apoyo con los materiales genéticos para la realización de la presente investigación.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme dado la oportunidad de residir en esta gran institución, al Departamento de Parasitología, por el apoyo, asistencia y orientación durante mis estudios de licenciatura.

Agradezco a mis maestros del departamento como de otras áreas, por los conocimientos transmitidos a lo largo de estancia como estudiante que son el legado que me llevare de la universidad y servirá de apoyo en mi vida profesional.

Mi especial agradecimiento al Dr. Agustín Hernández Juárez por todo el tiempo de amistad como mi tutor, buenos consejos, orientación en mis trabajos y por participar en esta fase terminal de mi formación estudiantil.

Al Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe, al Dr. Mariano Flores Dávila y Dr. Ernesto Cerna Chávez por su apoyo y colaboración en este trabajo que siempre les estaré agradecido.

Mi especial agradecimiento al M. C. Antonio Cárdenas Elizondo, Dra. Miriam Sánchez Vega y M. C. Víctor Manuel Sánchez Valdés, por los buenos consejos dentro fuera del aula y enseñanzas adquiridas en clase.

A todos mis compañeros y amigos de licenciatura en especial a Alonso Villatoro Ventura, Juan Manuel Juárez Ozuna, Ricardo Zayit Luviano Jaimes, María Elena Hernández Araiza y José Iver Velasco Pérez por el apoyo en los cursos que llevamos juntos, durante los trabajos y tareas realizados buenos momentos y principalmente por la amistad brindada que nunca olvidare.

A mis compañeros y amigos de internado palomar 3 cuarto 7 Alan Uriel Hernández Godos, Francisco Gutiérrez Galindo, Los hermanos del Villar Emir y Heriberto, Miguel Ángel López, Juan Jesús Vásquez Ricardo, por todos los momentos de diversión y convivencia.

A mi tía María Castillo Osorio por haberme enseñado a trabajar y ver lo que es la vida del campo.

A mi novia Mariana Rodríguez Arias gracias por el apoyo y amor incondicional que me sirvieron de inspiración en mi formación universitaria.

DEDICATORIA

A mis padres, Librado Castillo Osorio y Guillermina Rodríguez Aguilar. Quienes nunca me han dejado solo y siempre me han apoyado en todo a lo largo de mi vida, con sus buenos consejos, orientación y amor. A quienes les dedico mis victorias y metas cumplidas y por cumplir. Los amo demasiado.

A mis hermanos, Miguel Castillo Rodríguez, Nancy Adileni Castillo Rodríguez y José de Jesús Castillo Rodríguez. Porque con ellos crecí y compartí grandes momentos, aprendí que el apoyo de hermanos siempre es importante y que siempre contare con ellos.

A mis tías, Ma. Elena Rodríguez Aguilar y Clementina Rodríguez Aguilar. Gracias por el apoyo y el cariño brindado a lo largo de mi vida.

A mi abuelo, J. Jesús Rodríguez Maldonado. Por ser mi segundo padre y enseñarme que para conseguir nuestros objetivos ahí que trabajar duro y nunca desanimarse.

A mis padrinos, Bertha Rodríguez Aguilar y Leon Baltazar Gonzales. Por los buenos consejos y apoyo brindado desde mi niñez.

“POR USTEDES Y PARA USTEDES”

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE CUADROS	IX
RESUMEN	X
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General	3
Objetivos específicos	3
Hipótesis	3
REVISION DE LITERATURA.....	4
El cultivo de maíz	4
Generalidades	4
Clasificación taxonómica	4
Descripción botánica.....	5
Origen y distribución	6
Importancia del maíz.....	6
Plagas del maíz	7
Gusano cogollero <i>Spodoptera frugiperda</i>	7
Generalidades	7
Descripción taxonómica.....	8
Biología y hábitos.....	8
Distribución	10
Importancia económica.....	11
Hospederos	11
Estrategias de Control del Gusano Cogollero	12
Organismos Genéticamente Modificados	14
Generalidades	14
Adopción y situación actual de los cultivos genéticamente modificados	14
Cultivos genéticamente modificados para resistencia a insectos	16
Maíz transgénico Bt.....	17
Control de Lepidopteros plaga con maíz transgénico Bt.....	17

Maíz transgénico evento Agrisure™ 3000 GT	18
Maíz transgénico evento Agrisure® Viptera™ 3110	19
Maíz transgénico evento Agrisure® Viptera™ 3111	19
<i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt)	19
Modo de acción de <i>Bacillus thuringiensis</i>	20
Importancia de <i>Bacillus thuringiensis</i>	21
MATERIALES Y MÉTODOS	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
CONCLUSIÓN	40
LITERATURA CITADA.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de la planta de maíz.	6
Figura 2. Pupas de gusano cogollero. (A) Macho y (B) Hembra	9
Figura 3. Ciclo de vida de <i>Spodoptera frugiperda</i> (Lezaun, 2016).	10
Figura 4. Daños provocados por <i>Spodoptera frugiperda</i> al cogollo y mazorca.	11
Figura 5. Microfotografía de <i>Bacillus thuringiensis</i> en microscopio electrónico de transmisión. Se muestra el cristal proteínico romboide compuesto de toxinas Cry y una espora en proceso (Soberón y Bravo, 2007).	21
Figura 6. Representación fotografica de la escala de puntuación o escala de Davis.	27
Figura 7. Daño foliar por gusano cogollero <i>Spodoptera frugiperda</i> en maíz Agrisure® Viptera™ 3111 (a), e híbrido convencional con (b) y sin (c) aplicación insecticida, en Sinaloa, México.	31
Figura 8. Maíz Agrisure™ 3000 GT con pequeños daños por <i>Spodoptera frugiperda</i> en Sinaloa, México.	32

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Comparación de precios U\$\$/ha entre maíz Bt y no Bt (Sassano <i>et al.</i> , 2016).	18
Cuadro 2. Tratamientos usados para evaluar el daño foliar por gusano cogollero en maíz genéticamente modificado, durante 3 años en Sinaloa, México.	25
Cuadro 3. Evaluación del daño foliar causado por gusano cogollero del maíz <i>Spodoptera frugiperda</i>	26
Cuadro 4. Daño foliar y porcentaje de plantas con daño por gusano cogollero en híbridos de maíz genéticamente modificado Agrisure™ 3000 GT y Agrisure® Viptera™ 3110 y sus respectivos híbridos convencionales en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2011.	30
Cuadro 5. Daño foliar y porcentaje de plantas con daño por gusano cogollero en híbridos de maíz genéticamente modificado Agrisure® Viptera™ 3111 y Agrisure™ 3000 GT y sus respectivos híbridos convencionales en El Dorado y Navolato, Sinaloa, en 2012.....	33
Cuadro 6. Daño foliar y porcentaje de plantas con daño por gusano cogollero en híbridos de maíz genéticamente modificado Agrisure® Viptera™ 3111 y sus respectivos híbridos convencionales en Camalote y Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2013.....	34
Cuadro 7. Promedio del rendimiento en maíz transgénico con el evento Agrisure™ 3000 GT + i y Agrisure® Viptera™ 3110 en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2011.	35

RESUMEN

El uso de plaguicidas a través de la historia de la agricultura ha permitido eficientar el rendimiento, simplificar los sistemas de producción y renunciar a estrategias más complicadas de protección de cultivos. El cultivo de maíz es uno de los más importantes a nivel mundial desde la alimentación tanto humana como animal, además de su potencial en la industria, cuya producción se ve afectada por varios factores que ocasionan daños en la calidad y el rendimiento al no ser controlados. Uno de los principales factores es el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* plaga clave de la planta, como defoliador del tejido vegetal y se puede encontrar en varios países. En el presente trabajo se evaluó la resistencia del maíz genéticamente modificado, (GM), (transgénico) de los híbridos Agrisure del grupo Syngenta al daño del gusano cogollero en el estado de Sinaloa, México y se comparó su rendimiento con su híbrido convencional. El maíz transgénico Bt controla al gusano cogollero *S. frugiperda*; plaga blanco de las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis* con distintos genes específicos al orden Lepidoptera, que además de ser específicos para las plagas, proveen de una protección constante durante el desarrollo de cultivo, cosa que los insecticidas además de provocar contaminación y eliminación de fauna benéfica solo protegen por lapsos determinados de tiempo, la disminución del daño foliar ayuda a la libre expresión del cultivo, debido a que la planta no sufre perturbación por parte de plagas.

Palabras clave: *Bacillus thuringiensis*, Control biológico, Gusano cogollero, Organismo genéticamente modificado, Rendimiento.

INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de la agricultura el hombre tuvo la necesidad de enfrentarse a los problemas que afectaban sus cultivos y productos, una vía efectiva fue con el uso de sustancias capaces de eliminarlos. En la “era de los productos naturales” (A.C. hasta mediados del siglo XIX), se tienen evidencias en documentos escritos por Homero del uso del azufre como sustancia purificadora para eliminar los hongos, el rey de Persia (Jerjes) que utilizó las flores de piretro como insecticida, los chinos que utilizaron los arsenitos para el control de roedores y otras plagas, estos y más conocimientos de la mano con el desarrollo continuo han logrado lo que conocemos hoy como productos sintéticos, con sustancias activas muy eficaces contra organismos indeseables (Del Puerto *et al.*, 2014).

El uso de plaguicidas ha permitido aumentar el rendimiento, simplificar los sistemas de cultivo, y renunciar a estrategias más complicadas de protección de cultivos. La excesiva dependencia del control químico y la consecuente contaminación de los ecosistemas han provocado efectos negativos de salud. El futuro de la producción agrícola es ahora también amenazado por la aparición de resistencia a las plagas y la disminución de la disponibilidad de las sustancias activas. Por tanto, existe una necesidad de diseñar sistemas de cultivo menos dependientes de los pesticidas sintéticos (Barzman *et al.*, 2014).

La producción de maíz es afectada por varios factores que ocasionan daños en la calidad y el rendimiento al no ser controlados. Este es el caso de las plagas y las enfermedades que cíclicamente se presentan y atacan al cultivo (Ortega, 1987).

El gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) es una especie nativa de occidente con amplia distribución geográfica, desde Argentina, hasta el sur de Estados Unidos (Álvarez *et al.*, 1991 citado por Arévalo y Mejía, 2007).

Los organismos genéticamente modificados (OGM's), también llamados cultivos transgénicos o biotecnológicos son el resultado de la aplicación de la tecnología del ADN recombinante en la agricultura. Este tipo de organismos se constituyen con la transferencia de genes específicos de cualquier origen biológico (animal, vegetal, microbiano) al genoma de especies cultivadas de plantas. Los cultivos GM se utilizan en el mundo desde 1996 y en diciembre de 2018 se llegó a mil millones de hectáreas, sembradas en todo el periodo. Los cultivos que se usan en agricultura mundial son principalmente soya, algodón y maíz. Las primeras variedades transgénicas contenían solo un gen de interés, que en algunos casos conferían resistencia a diferentes especies de insectos lepidópteros y coleópteros. Los riesgos biológicos pueden ocurrir por los posibles efectos negativos sobre el consumidor o el ambiente en que se liberan. Los beneficios ambientales van ligados con la reducción en el uso de agroquímicos, y beneficios económicos, con la reducción en las pérdidas económicas debidas al ataque de insectos y así como una baja increíble de costos de producción (Chaparro, 2011).

Objetivo General

Evaluar la resistencia del maíz transgénico al daño del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* en Sinaloa, México.

Evaluar el rendimiento en maíz transgénico en Sinaloa, México.

Objetivos específicos

Evaluar la resistencia del maíz Agrisure™ 3000 GT al daño foliar de gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* en Sinaloa, México.

Evaluar la resistencia del maíz Agrisure® Viptera™ 3110 al daño foliar de gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* en Sinaloa, México.

Evaluar la resistencia del maíz Agrisure® Viptera™ 3111 al daño foliar de gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* en Sinaloa, México.

Evaluar el rendimiento en maíz Agrisure™ 3000 GT y maíz Agrisure® Viptera™ 3110 en Sinaloa, México.

Hipótesis

Las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis* insertadas en el maíz genéticamente modificado, controlará al gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*.

REVISION DE LITERATURA

El cultivo de maíz

Generalidades

El maíz *Zea mays* L. pertenece a la familia de las gramíneas (Poaceae). La planta alcanza de medio a seis metros de alto. Las hojas forman una larga vaina íntimamente arrollada al tallo y un limbo más ancho, alargado y flexuoso. Del tallo emergen dos o tres inflorescencias muy densas o mazorcas envueltas en brácteas, en la axila de las hojas muy ceñidas. En cada mazorca se ven las filas de granos, cuyo número puede variar de ocho a treinta (Jhon, 2008).

Debido a su productividad y adaptabilidad, se ha extendido rápidamente a lo largo de todo el planeta después de que los españoles exportaran la planta desde América durante los siglos XVI y XVII. Independientemente del uso industrial que se le ha dado, el maíz constituye un componente importante de la vida de los pueblos de América. Es indispensable en la dieta alimenticia de los pueblos indígenas y mestizos de Sur y Centro América (Asturias, 2004).

Clasificación taxonómica

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Subclase: Commelinidae

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: *Zea*

Especie: *Z. mays* (C. Linneo)

Descripción botánica

La planta del maíz es de porte robusto de fácil desarrollo y de producción anual (CONACYT, 2019).

Tallo: Es simple, erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar los 4 metros de altura, es robusto y sin ramificaciones. Por su aspecto recuerda al de una caña, no presenta entrenudos y si una médula esponjosa si se realiza un corte transversal (CONACYT, 2019).

Inflorescencia: El maíz es de inflorescencia monoica con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta. En cuanto a la inflorescencia masculina presenta una panícula (vulgarmente denominadas espigón o penacho) de coloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos de polen. En cada florecilla que compone la panícula se presentan tres estambres donde se desarrolla el polen. En cambio, la inflorescencia femenina marca un menor contenido en granos de polen, alrededor de los 800 o 1000 granos y se forman en unas estructuras vegetativas denominadas espádices que se disponen de forma lateral (CONACYT, 2019).

Hojas: Las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervias. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presenta vellosidades. Los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes (CONACYT, 2019).

Raíces: Las raíces son fasciculadas y su misión es la de aportar un perfecto anclaje a la planta. En algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias (CONACYT, 2019).

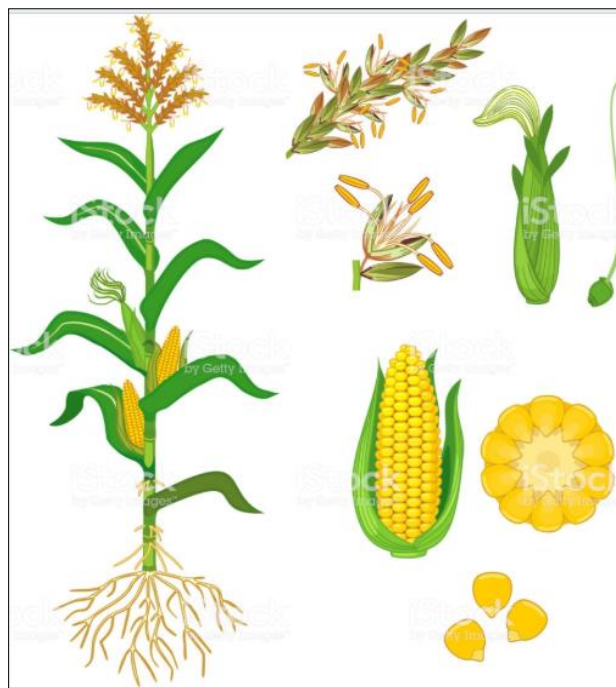


Figura 1. Morfología de la planta de maíz.

Origen y distribución

El esparcimiento del maíz desde su centro de origen en México a varias partes del mundo ha sido tan notable y rápida como su evolución a planta cultivada y la utilizada para alimentos. Los habitantes de varias tribus indígenas de América Central y México llevaron esta planta a otras regiones de América Latina, al Caribe y después a Estados Unidos de América y Canadá. Los exploradores europeos llevaron el maíz a Europa y posteriormente los comerciantes lo llevaron a Asia y África (Valladares, 2010).

Importancia del maíz

El cultivo del maíz es de vital importancia a nivel mundial y está ubicado como el segundo cultivo del mundo por su producción, después del trigo. Es el primer

cereal en rendimiento de grano por hectárea y es el segundo en producción total. Es utilizado ya sea como alimento humano, para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales (aceites, harinas, etc.). Posee una gran diversidad ambientes bajo los cuales es cultivado, que la de cualquier otro cultivo. Originado y evolucionado en zonas tropicales como una planta de excelentes rendimientos, hoy día se cultiva desde los 58° de latitud norte en Canadá y Rusia, hasta los 40° de latitud sur en Argentina y Chile (Paliwal, 1996).

Plagas del maíz

El cultivo del maíz está expuesto a los ataques de numerosas plagas, desde el momento de la siembra hasta cosecha y Poscosecha, entre los principales factores que pueden influir o dificultar la aparición de plagas y enfermedades en el cultivo están: condiciones climáticas, preparación del terreno, rotación de cultivos, el control de malas hierbas; entre las más relevantes (Deras, s/f).

Gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*

Generalidades

S. frugiperda es conocida comúnmente como “cogollero del maíz” (derivado de su forma de daño más conocida) u “oruga militar tardía” ya que, si el alimento se hace escaso, las larvas se trasladan a otros cultivos desplazándose en masa. Es el lepidóptero plaga del maíz más importante en la mayor parte del continente americano (Casmuz *et al.*, 2010).

Puede atacar al maíz desde su germinación actuando como gusano trozador, hasta la madurez del cultivo. Los ataques tempranos pueden afectar estados vegetativos de desarrollo mientras que los tardíos pueden dañar las espigas (Negrete y Morales, 2003).

Descripción taxonómica

Phylum: Arthropoda

Clase: Insecta

Subclase: Pterygota

Orden: Lepidoptera

Suborden: Frenatae

Familia: Noctuidae

Género: *Spodoptera*

Especie: *S. frugiperda* (J. E Smith)

Biología y hábitos

Los huevos son puestos en grupos de alrededor de 100, protegidos por una telilla transparente. Individualmente son de forma globosa, estriados radialmente, de color rosado pálido que se torna gris a medida que se aproxima la eclosión a los dos o tres días de la ovoposición. Las hembras depositan los huevos corrientemente durante las primeras horas de la noche, tanto en el haz como en el envés de las hojas. Las larvas después de la eclosión se alimentan del corion, después se trasladan a diferentes partes de la planta o aledañas, evitando así la competencia por el alimento y el canibalismo (ICA, 2003).

Al momento de la emergencia el cuerpo es de color blanco cremoso cubierto de pequeños puntos negros pubescentes y cabeza negra con sutura epicraneal bien marcada y en forma de Y invertida que se hace más notoria en el instar 4. El cuerpo puede variar de color castaño oscuro o verde pálido, con una línea media

longitudinal de color café oscuro entre dos líneas laterales de color castaño en el mismo sentido esto dependiendo de estado de desarrollo, las pupas presentan dimorfismo sexual (Fig. 2) (Guzmán *et al.*, 2016).



Figura 2. Pupas de gusano cogollero. (A) Macho y (B) Hembra

Los adultos vuelan con facilidad durante la noche, siendo atraídos por la luz, son de coloración gris oscura, las hembras tienen alas traseras de color blancuzco, mientras que los machos tienen figuras irregulares llamativas en las alas delanteras, y las traseras son blancas. En reposo doblan sus alas, las posteriores son de color blanco perla, grises hacia los bordes, terminando en flecos en ambos pares de alas y sexos. La cópula se realiza uno a dos días después de la emergencia, logrando poner huevos después de unos tres días, viven en promedio 12 días y alcanzan a ovipositar un promedio de 1000 huevos (Fig. 3) (ICA, 2003).

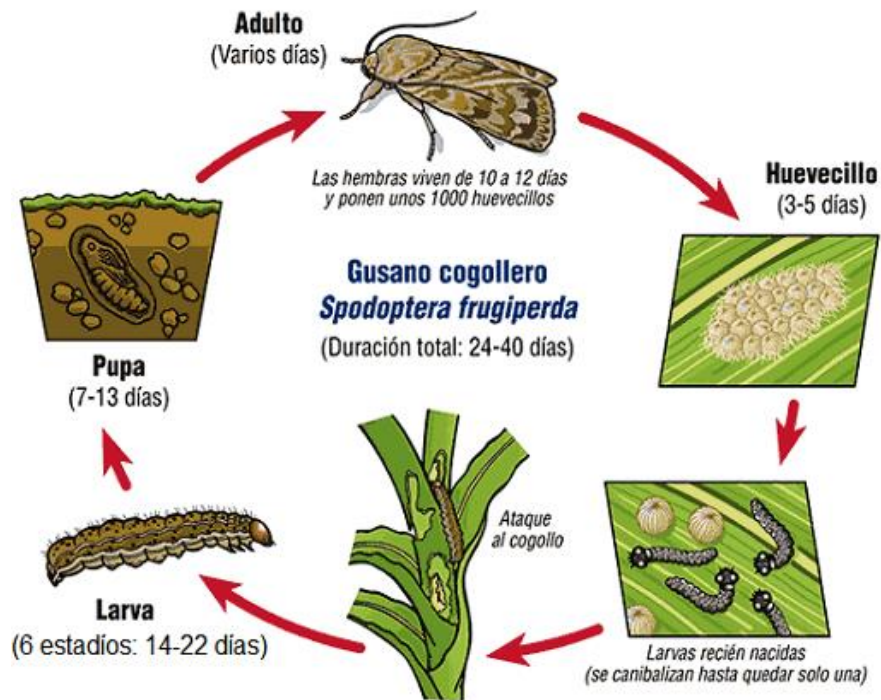


Figura 3. Ciclo de vida de *Spodoptera frugiperda* (Lezaun, 2016).

Distribución

Es una especie endémica del Continente Americano, incluyendo Las Antillas y el Caribe. En el Hemisferio Occidental se le ha encontrado desde el Sureste de Canadá hasta Chile y Argentina; frecuentemente es abundante en las áreas agrícolas, es una especie de distribución tropical, aunque se le encuentra también en zonas templadas (Flores, 2000).

En México se le localiza principalmente en las regiones tropicales y subtropicales, registrándose los mayores daños en los estados de: Michoacán, Guerrero, Morelos, Oaxaca, Veracruz, Quintana Roo, Yucatán, Coahuila, Campeche, Chiapas, Chihuahua, Valle de México, Durango, Guanajuato, Baja California Norte, Baja California Sur y Colima (Flores, 2000).

Importancia económica

Es una plaga clave en las gramíneas como masticador del tejido vegetal. La larva puede comportarse como raspador durante los primeros tres estadios, alimentándose de la epidermis de las hojas, lo que ocasiona un daño de ventanilla, cuando la plaga es muy abundante se pueden apreciar hojas perforadas y cogollos rasgados (figura 4), también ataca al tallo causando perforaciones, así como al elote comiendo los granos en crecimiento (DuPont, 2014).



Figura 4. Daños provocados por *Spodoptera frugiperda* al cogollo y mazorca.

Hospederos

Existen alrededor de 186 hospederos citados para *Spodoptera frugiperda*, repartidos en 42 familias. Entre los hospederos más nombrados, el 35,5% perteneció a la familia Poaceae, el 11,3% a la familia Fabaceae, a la familia Solanaceae y Asteraceae un 4,3% cada una, siguiéndoles las Rosaceae y Chenopodiaceae con un 3,7% cada una y finalmente las Brassicaceae y Cyperaceae con un 3,2%. De las 42 familias registradas, 32 (76,2%) se encontraron en Sudamérica, 29 (69,1%) en Norteamérica y Centroamérica, y 19 (45%) en la Argentina (Casmuz *et al.*, 2010).

Estrategias de Control del Gusano Cogollero

Existen diversas estrategias de control del gusano cogollero, las cuales se mencionan a continuación:

Monitoreo y trampeo con feromona: Existen herramientas como el uso de trampas con feromonas que permiten el control eficiente de esta plaga. Con el trampeo se busca que mediante el uso de una sustancia volátil (feromona) que emite olores y es dispersado por el viento, atrae insectos adultos (palomillas machos), y con ello monitorear la plaga (Salas, 2001), esta herramienta se hace efectiva cuando se usa el esquema de trampeo masivo, cuya ventaja principal es ser un método económico y de bajo mantenimiento, sin embargo, en cultivos extensivos muchas veces se dificulta establecer estas trampas en la parcela (INTAGRI, 2015).

Control cultural: Un buen programa de manejo de las malezas, manejo agronómico oportuno y fertilización adecuada del cultivo. Estos factores permitirán tener plantas vigorosas y el efecto de las plagas será menor (INTAGRI, 2013).

La práctica del monocultivo año tras año en la misma parcela favorece la formación de poblaciones de insectos a niveles realmente dañinos; para evitar esto, a los agricultores se les aconseja hacer rotaciones de cultivos. Esta práctica puede ser útil solo si se hace con cultivos susceptibles y cultivos no susceptibles al ataque de la plaga (Andrews y Howell, 1989).

Control Biológico: Existen organismos depredadores, parasitoides y entomopatógenos que son enemigos naturales del gusano cogollero, estos se encuentran en el medio ambiente y pueden reducir la población de la plaga hasta un 50%. Entre los organismos benéficos que se encuentran, *Telenomus sp*, *Trichogramma*, *Eiphosoma sp.*, *Meteorus laphygmae*, *Chelonus insularis*, *Orios tristicolor*, *Chrysoperla*, *Pilybia sp.*, entre otros. Estos organismos se pueden

encontrar en forma natural, así como recurrir su aplicación mediante la técnica conocida como “control biológico aumentativo”, los más empleados en esta técnica son las especies del género *Trichogramma* y *Telenomus* pues hay varios estudios que respaldan su efectividad en dosis específicas (INTAGRI, 2013).

Microorganismos benéficos para controlar al gusano cogollero, *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* sobre larvas de 3 instars que mostraron cierta virulencia y control, aunque aún no se comercializan debido a falta de más estudios, el más empleado comercialmente es el *Bacillus thuringiensis*, una bacteria que puede alcanzar hasta un 90% de efectividad si se usa correctamente (Leyva *et al.*, 2018).

Control químico: En los sistemas de producción, los agricultores aplican productos selectivos dirigidos especialmente a la plaga y no de amplio espectro que pudieran dañar a otros organismos benéficos presentes en el sistema de cultivo (INTAGRI, 2013).

Los insecticidas constituyen uno de los recursos más efectivos y utilizados en la lucha contra las plagas; tanto por sus efectos más rápidos que cualquier otra forma de control, como por ser más fácilmente accesibles en casi todos los lugares. Se considera que su uso en conjunto con la utilización de otros pesticidas, ha jugado un rol importante en el incremento de la productividad agrícola, sobre todo en los países más tecnificados. Sin embargo, el mal uso de los insecticidas puede resultar contraproducente para los agricultores. El uso inadecuado de los plaguicidas puede agravar los problemas de plagas, poner en riesgo la salud de los agricultores y afectar su economía, como ha ocurrido en muchas partes del mundo, incluyendo nuestro país (Cisneros, 2010).

La contaminación ambiental por plaguicidas está dada fundamentalmente por aplicaciones directas en los cultivos y residuos descargados y dispuestos en el suelo, derrames accidentales, el uso inadecuado de los mismos por parte de la población, La unión de estos factores provoca su distribución en el ambiente y se

convierten en contaminantes amenazando su estabilidad y representando un peligro de salud pública (Del Puerto *et al.*, 2014)

Organismos Genéticamente Modificados

Generalidades

Los trabajos que se realizan en la ingeniería genética consisten en la manipulación de la estructura o composición del ADN mediante la inserción de secuencias específicas en las plantas, que pueden resultar de organismos de la misma especie o de variedades diferentes, con cualidades específicas que se desean obtener, que dan lugar a lo que se conoce como OGM's. Los experimentos se establecen con el objetivo de alterar los patrones de expresión de genes endógenos específicos, para alterar cuándo y dónde se enciendan o apaguen en la planta. En muchos casos los genes se derivan de otras especies, que pueden ser plantas, animales o microorganismos (Halford y Shewry, 2000).

Adopción y situación actual de los cultivos genéticamente modificados

El desarrollo de agricultura de la mano de la biotecnología alcanzo un gran desarrollo durante la época de los ochenta donde comenzaron las primeras pruebas de edición genética, pero su comercialización masiva se dio hasta llegar a los noventas, con la mentalidad que los OGM no provoquen daños en la salud o el medio ambiente, por otro lado las pruebas científicas disponibles tampoco contradicen lo mencionado, resulta más preciso decir que simplemente no se puede saber cuáles podrían ser los efectos acumulados a largo plazo (Pusztai y Bardócz, 2004).

La regulación de los OGM's es un tema de discusión en todas partes del mundo, existen diferentes posturas dependiendo de las diversas culturas y se caracterizan

por ser socialmente específicas como diversas. Estados Unidos por intereses económicos tiende hacia la aceptación total, mientras que en países europeos y asiáticos su utilización es inaceptable (Antal, 2008).

En el México actual no se producen transgénicos a gran escala, por otra parte es importador importante de maíz genéticamente modificado, la situación legal sobre la biotecnología en la agricultura es complicada ya que el país tiene intereses en el desarrollo tecnológico y global, pero a la vez está comprometido internacionalmente a mantener su rica biodiversidad debido a que es centro de origen de cultivos de interés mundial tal es el caso del maíz, solucionar estos problemas en una sola política es difícil ya que se corre el riesgo de contaminación y pérdida de los diferentes genotipos existentes (Antal, 2008).

El área global de cultivos transgénicos aumento en 2017, alcanzando 189.8 millones de hectáreas en comparación con 185.1 millones de hectáreas en 2016, informes de ISAAA (2017) muestran que el área global de cultivos biotecnológicos aumentó en 2017 en un 3 por ciento o 4.7 millones de hectáreas. Este aumento se debe principalmente a una mayor rentabilidad derivada de los precios más altos de los productos básicos, el aumento de la demanda del mercado tanto a nivel nacional como internacional, países en desarrollo ahora 19 en total, incluidos India, Pakistán, Brasil, Bolivia, Sudán, México, Colombia, Vietnam, Honduras y Bangladesh han aumentado su área de cultivos biotecnológicos y continúan permitiendo que los agricultores adopten la biotecnología en la producción de alimentos, los pequeños agricultores ven las mejoras directas que ofrece, permitiéndoles proporcionar mejores vidas para ellos y sus familias.

Cultivos genéticamente modificados para resistencia a insectos

La agrícola mundial a través de su historia ha atravesado dilemas que afectan la producción y distribución de alimentos que combaten la pobreza y la hambruna mundial. Poco a poco y con innovaciones, la agricultura cambio su modelo de producción a través de la selección de plantas y animales para su inclusión y cruzamiento, que ha dado como resultado mejores razas y variedades gracias a la modificación genética, haciendo a estos más resistentes, desde resistencia a inclemencias ambientales, ataque a las plagas animales y vegetales con el uso de herbicidas, insecticidas y fungicidas, que aumentaron considerablemente la producción agrícola a través del uso de agro-químicos, la diversidad de los cultivos y la rotación de los mismos (Gonzales, 2005).

Los cultivos transgénicos pueden ser una posible solución al problema de reducción en las cosechas y el hambre en muchos territorios. La selección de especies vegetales para su modificación genética provoca su resistencia a uno o varios órdenes de insectos, generalmente larvas del orden lepidóptera y coleóptera que ha permitido un menor uso de insecticidas en los campos lo que supone una mejora del cultivo y de la salud de los trabajadores que lo manipulan, permitiendo así que insectos beneficiosos no sean afectados por el uso de químicos (Martin, 2016).

El primer cultivo con genes Cry que se comercializó fue el maíz, y posteriormente fueron liberados muchas variedades resistentes a insectos como patata-Bt, soya-Bt y algodón-Bt, patentes pertenecientes a compañías como Monsanto, Micogen, Novartis, AgrEvo, o Syngenta. Entre las plantas transgenicas desarrolladas están arandano (gen cry1Aa), algodón y papa (gen cry1Ac), alfalfa y tabaco (gen cry1Ca) para resistencia a lepidópteros. También se ha transformado genéticamente berenjena, papa y tabaco con el gen cry3A para resistencia a coleópteros entre otros (Sauka y Benintende, 2008).

Maíz transgénico Bt

Los Genes Cry se han insertado al maíz para generar resistencia a insectos plaga específicamente al Orden Lepidoptera y Coleoptera, extraídos de diferentes cepas de *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bacillales: Bacillaceae) (Portella *et al.*, 2013); con base en ISAAA (2019), se reportan 117 eventos referentes a maíz transgénico a nivel mundial, con 52 eventos reportados para Lepidoptera y Coleoptera en combinación, 55 eventos reportados para Lepidoptera, y 10 eventos reportados para Coleoptera, en empresas que dominan el campo como Syngenta, Dupont, Monsanto, Dow agros-ciense , Bayer y RENESSEN LLC.

Control de Lepidópteros plaga con maíz transgénico Bt

Los Lepidópteros son especies plaga muy polífagas, atacan a cualquier tipo de cultivo herbáceo, tienen una tendencia al comportamiento gregario, los estados inmaduros tienen tendencia a vivir en gran número sobre la misma planta, existen bastantes especies migratorias, que aparecen de forma masiva en el cultivo, causando daños mayores que si fuera apareciendo de forma escalonada (www.Infoagro.com).

Especies pertenecientes a la Familia Noctuidae o Noctuidos, constituyen un conjunto de especies de gran importancia como plagas en cultivos de interés, el género *Spodoptera* representa plagas desastrosas en cultivos básicos y hortícolas que se traducen en pérdidas económicas, de ahí a que su manejo es de gran importancia y se busquen alternativas más eficientes de control (Cabello, 2010).

Existen gran cantidad de experimentos donde se ha probado el comportamiento de los maíces transgénicos frente al ataque de insectos plaga, plantas de maíz Bt, permanecieron casi sin daño de larvas de *S. frugiperda* tuvieron baja densidad, mientras que las plantas no Bt presentaron el mayor porcentaje (Massoni *et al.*, 2014).

Sassano *et al.* (2016) establecieron experimentos con maíz Bt y no Bt donde compararon rendimientos totales y costos de producción, los resultados obtenidos demostraron que en cuanto a rendimientos y con un buen manejo de maíces convencionales se obtienen resultados parecidos o hasta mayores en comparación con el Bt, el rendimiento en maíces Bt fue un 16.5 % mayor con respecto a maíces sin manejo de plagas, comparaciones económicas demuestran que el maíz Bt tiene un menor costo de producción ya que se reduce la inversión por monitoreos y aplicaciones (Cuadro 1).

Cuadro 1. Comparación de precios U\$\$/ha entre maíz Bt y no Bt (Sassano *et al.*, 2016).

	CASO 1 (BT)	CASO 2 (NO BT)
SEMILLA (U\$\$/HA)	200	150
MONITOREO (U\$\$/HA)	-	8
APLICACIÓN (U\$\$/HA)	-	12,04
SPINOSAD (U\$\$/HA)	-	16,8
RENDIMIENTO (TN/HA)	11,665	13,186
(U\$\$/HA)	200	178,84
(U\$\$/HA)	1330	1503
DIFERENCIA (U\$\$/HA)	1130	1324

Maíz transgénico evento Agrisure™ 3000 GT

Variedad desarrollada por el grupo Syngenta utilizando un método de inducción de genes de mejoramiento convencional-hibridación cruzada y selección con donantes transgénicos, entre los genes introducidos se reflejan: el Cry1Ab obtenido de la subsp. *Kurstaki* de la bacteria *B. thuringiensis*, la cual es una delta-endotoxina que confiere resistencia a insectos lepidópteros, palmadita obtenido de *Streptomyces viridochromogenes* que es una enzima fosfonotricina N-

acetiltransferasa (Pat) que es capaz de eliminar la actividad del herbicida glufosinato, mcry3A obtenida de forma sintética de *B. thuringiensis* subsp. *tenebrionis*, que tiene la cualidad de conferir resistencia a la planta hacia el ataque de insectos plaga de la orden Coleoptera que afectan la raíz del maíz, mepsps que es una enzima modificada propia del maíz la cual le otorga a la planta una tolerancia hacia el herbicida glifosato (ISAAA, 2019).

Maíz transgénico evento Agrisure® Viptera™ 3110

Esta variedad fue desarrollada por el grupo Syngenta; muestra cualidades similares al Agrisure™ 3000 GT, solo que difiere en que contiene solo los genes CryA1b y VipAa20 que solo les confieren resistencia a insectos plaga del orden Lepidoptera (ISAAA, 2019).

Maíz transgénico evento Agrisure® Viptera™ 3111

Desarrollado por la empresa Syngenta, este evento comparte las características de los eventos Agrisure™ 3000 GT y Agrisure® Viptera™ 3110; básicamente contiene genes en común, el CryA1b, mcry3A y el Vip3Aa20 que le otorgan resistencia a insectos plaga del orden Lepidoptera y plagas del suelo del orden Coleoptera (ISAAA, 2019).

***Bacillus thuringiensis* (Bt)**

Es una bacteria Gram-positiva, aerobia estricta, que presenta dos fases principales durante su ciclo de vida: la primera de crecimiento vegetativo donde las bacterias se duplican por fisión binaria y la otra de esporulación donde ocurre la diferenciación de bacteria a espora, que se caracteriza por la formación de un cuerpo paraesporal conocido como cristal, el cual es de naturaleza proteínica y tiene propiedades insecticidas, está constituido por proteínas denominadas d-endotoxinas también conocidas como proteínas Cry ó Cyt. Se han reportado

contra insectos lepidópteros, coleópteros, dípteros, himenópteros, ácaros y también contra otros invertebrados como nematodos. Bt es considerada una bacteria cosmopolita ya que se ha aislado de diversas partes del mundo y de diferentes sistemas: como suelo, agua, hojas de plantas, insectos muertos, telarañas, entre otros (Soberón y Bravo, 2007).

Modo de acción de *Bacillus thuringiensis*

Los cristales (figura 5) son protoxinas que antes de afectar al insecto deben ser activadas, es altamente insoluble en condiciones neutras y solo se solubiliza en un pH alcalino. La activación ocurre por una discreta proteólisis causada por las enzimas estomacales del insecto. Las protoxinas cristalizan formando inclusiones de hasta 1 μm de longitud. La toxina activa se une a receptores localizados en las microvellosidades de las células del epitelio del mesenteron, la toxina o parte de ella se inserta en la membrana formando poros iónicos, provocando eventualmente a la lisis celular (Gómez *et al.*, 2002).

El animal muere debido a una entrada masiva de agua, el sistema digestivo se paraliza, el pH estomacal se baja por compensación con el pH sanguíneo. Esta bajada de pH hace posible que las esporas bacteriales germinen y la bacteria pueda invadir el huésped causando una septicemia letal y daños en los tejidos, los insectos intoxicados mueren por ayuno y posterior detención del crecimiento que puede durar algunos días (www. Ecured.cu).

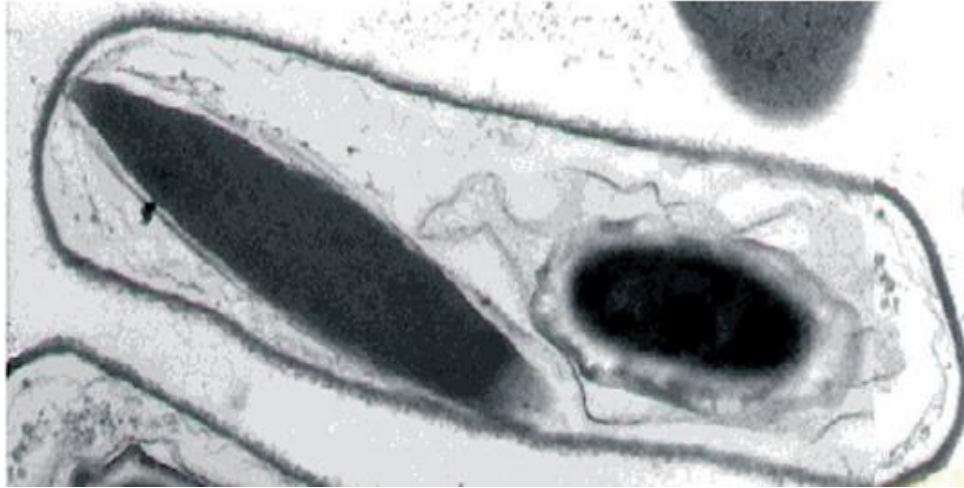


Figura 5. Microfotografía de *Bacillus thuringiensis* en microscopio electrónico de transmisión. Se muestra el cristal proteínico romboide compuesto de toxinas Cry y una espora en proceso (Soberón y Bravo, 2007).

Importancia de *Bacillus thuringiensis*

Existen varios factores que han hecho posible el éxito de BT en la agricultura, el más importante es su alta especificidad hacia el insecto blanco y su inocuidad para mamíferos, otros vertebrados, plantas e inclusive otros insectos benéficos, además las toxinas de Bt se han utilizado como bioinsecticidas en agricultura durante los últimos 40 años, principalmente en cultivos de hortalizas y cereales, también Bt se ha ocupado con éxito durante 30 años para el control de mosquitos (Soberón y Bravo, 2007).

Productos biológicos a base de Bt se han adaptado con los avances de la ciencia y la tecnología, se ha logrado un progreso en biología molecular, lo que ha permitido que en la actualidad existan cepas que producen una mayor cantidad de cristales proteicos, más tóxicos, que han ampliado el espectro de acción (Rosas, 2014).

El éxito de estas formulaciones se ha visto reflejado en la gran variedad de productos comerciales que existen, sólo las preparaciones para aspersión

comprenden aproximadamente el 2% del mercado global de los insecticidas (Rosas, 2008), *B. thuringiensis* es una de las bacterias que más se han estudiado debido a lo útil que han resultado en la agricultura. Cualidades grandiosas que posee este microorganismo, su alta especificidad, la inocuidad para comercio, plantas y animales, así como también su mínima residualidad. Estos atributos le permitieron posicionarse como una de las mejores opciones para el tratamiento y control de las plagas importantes (López, 2019).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento. La investigación se llevó a cabo en las localidades de Oso Viejo, El Dorado y El Camalote, en el Municipio de Culiacán y en la ciudad de Navolato, ambos en el estado de Sinaloa, durante el ciclo de cultivo otoño-invierno 2011-2013.

Condiciones del experimento. Las siembras se realizaron bajo condiciones de bioseguridad, en parcelas con un aislamiento de más de 500 m de cualquier otro lote con siembras comerciales de maíz y con un desfase de 21 días en la fecha recomendada de siembra, para evitar la sincronía de la etapa floral de los maíces con eventos genéticamente modificados con los maíces convencionales de los predios vecinos y así evitar la polinización cruzada; protocolo a seguir para cumplir con el marco de regulación para experimentación en campo con maíz genéticamente modificado en México (Halsey *et al.*, 2005; LBOGM, 2005).

Material genético (híbridos). En esta investigación se utilizaron tres híbridos de maíz transgénico Bt: híbrido Agrisure™ 3000 GT, que expresa las toxinas Cry1Ab y mCry3A; híbrido Agrisure® Viptera™ 3111, con la Cry1Ab, Vip3Aa20 y mCry3A e híbrido Agrisure® Viptera™ 3110, que expresa las toxinas Cry1Ab y Vip3Aa20, que se compararon con sus respectivos híbridos convencionales, materiales provistos por Syngenta Agro S. A. de C.V. de México (Avenida Insurgentes Sur #1431, Piso 12, Colonia Insurgentes, Mixcoac, CP. 03920, Ciudad de México). Los primeros dos híbridos son resistentes a Lepidoptera y Coleoptera y el último es resistente a Lepidoptera.

Diseño experimental. El experimento se realizó bajo un diseño en bloques completamente al azar en cada localidad y fecha. En 2011, en Oso Viejo, el 28 de enero se sembraron los híbridos Agrisure™ 3000 GT y Agrisure® Viptera™ 3110, y sus híbridos convencionales. Además, cada uno incluyó un tratamiento con insecticida foliar. Se establecieron 4 tratamientos y 4 repeticiones, para cada

hibrido Bt (ver Cuadro 2). En 2012, en Navolato, el 15 de feb., se sembraron los híbridos Agrisure® Viptera™ 3111 y Agrisure™ 3000 GT, con y sin aplicación de insecticidas. En el Dorado, el 19 de feb., se sembró el híbrido Agrisure® Viptera™ 3111, también con y sin aplicación de insecticida. En este año se establecieron 4 tratamientos, con 3 repeticiones, por cada híbrido Bt en ambas localidades (ver Cuadro 2). En 2013, se realizó la siembra del evento Agrisure® Viptera™ 3111 en las localidades de El Camalote y Oso Viejo, el 14 y 15 de marzo respectivamente. En ambas localidades se estableció un diseño de 3 tratamientos (híbrido GM, híbrido convencional e híbrido convencional con insecticida) y 4 repeticiones (Cuadro 2).

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. 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.

Las parcelas experimentales designadas durante los 3 años, recibieron dos aplicaciones por año de insecticida para el control de *S. frugiperda*, la primera en la etapa V4 (número de hojas completamente desarrolladas) y la segunda en la etapa V8; bajo un umbral de infestación de 10% en plantas menores a los 20 cm o 20% de infestación en plantas de más de 20 cm de altura (Cuadro 2).

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).

Cuadro 2. Tratamientos usados para evaluar el daño foliar por gusano cogollero en maíz genéticamente modificado, durante 3 años en Sinaloa, México.

Año	Hibrido	Localidad	Insecticida
2011	Agrisure™ 3000 GT	Oso Viejo	Sin aplicación de insecticida
	Agrisure™ 3000 GT + i	Oso Viejo	Permetrina- Lambda cyhalotrina- Benzoato de emamectina
	Hibrido convencional + i	Oso Viejo	Permetrina- Lambda cyhalotrina- Benzoato de emamectina
	Hibrido convencional	Oso Viejo	Sin aplicación de insecticida
	Agrisure® Viptera™ 3110	Oso Viejo	Sin aplicación de insecticida
	Agrisure® Viptera™ 3110 + i	Oso Viejo	Permetrina- Lambda cyhalotrina- Benzoato de emamectina
	Hibrido convencional + i	Oso Viejo	Permetrina- Lambda cyhalotrina- Benzoato de emamectina
	Hibrido convencional	Oso Viejo	Sin aplicación de insecticida
2012	Agrisure® Viptera™ 3111	El Dorado	Sin aplicación de insecticida
	Agrisure® Viptera™ 3111+ i	El Dorado	Permetrina- Lambda cyhalotrina- Benzoato de emamectina
	Hibrido convencional + i	El Dorado	Permetrina- Lambda cyhalotrina- Benzoato de emamectina
	Hibrido convencional	El Dorado	Sin aplicación de insecticida
	Agrisure® Viptera™ 3111	Navolato	Sin aplicación de insecticida
	Agrisure® Viptera™ 3111 + i	Navolato	Permetrina- Lambda cyhalotrina- Benzoato de emamectina
	Hibrido convencional + i	Navolato	Permetrina- Lambda cyhalotrina- Benzoato de emamectina
	Hibrido convencional	Navolato	Sin aplicación de insecticida
	Agrisure™ 3000 GT	Navolato	Sin aplicación de insecticida
	Agrisure™ 3000 GT + i	Navolato	Permetrina- Lambda cyhalotrina- Benzoato de emamectina
	Hibrido convencional + i	Navolato	Permetrina- Lambda cyhalotrina- Benzoato de emamectina
	Hibrido convencional	Navolato	Sin aplicación de insecticida
2013	Agrisure® Viptera™ 3111	El Camalote	Sin aplicación de insecticida
	Hibrido convencional + i	El Camalote	Benzoato de emamectina
	Hibrido convencional	El Camalote	Sin aplicación de insecticida
	Agrisure® Viptera™ 3111	Oso Viejo	Sin aplicación de insecticida
	Hibrido convencional + i	Oso Viejo	Benzoato de emamectina
	Hibrido convencional	Oso Viejo	Sin aplicación de insecticida

i=Insecticida. Insecticidas aplicados: permetrina: 400 mL/hectárea, lambda Cyhalotrina: 500 mL/hectárea, benzoato de emamectina: 200 mL/hectárea.

Parámetros a evaluar.

Daño foliar. Se evaluó infestación natural de *S. frugiperda* en 10 plantas aleatorias en los 4 surcos centrales, en las etapas vegetativas V6-V8 (2011) y V2-V4, V6-V8 y V10-V12 (2012 y 2013). Se utilizó la escala de puntuación (1-9) comúnmente conocida como escala de Davis, para medir el daño foliar en genotipos de maíz para resistencia a la alimentación del gusano cogollero (Davis *et al.* 1989, 1992; Mihm, 1983); donde 1= sin daño al follaje (altamente resistente) hasta 9= daño severo (totalmente susceptible) (Cuadro 3, Fig. 6).

Número de plantas con daño. Corresponde al número de plantas con daño foliar por alimentación de gusano cogollero, se expresó en porcentaje (%).

Cuadro 3. Evaluación del daño foliar causado por gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda*.

Nivel de Resistencia	Score	Descripción
Altamente Resistente	1	Sin daño-algunas perforaciones en forma de piquetes de alfiler
Resistente	2	Perforaciones en forma de bala en pocas hojas
	3	Perforaciones en forma de bala en algunas hojas.
Resistencia Intermedia	4	Perforaciones en forma de bala en algunas hojas, pocas lesiones alargadas.
	5	Varias hojas con lesiones alargadas.
	6	Varias hojas con lesiones alargadas menores de 2.5 cm.
Susceptible	7	Lesiones alargadas comunes en la mitad de las hojas
	8	Lesiones alargadas comunes en ½- ¾ de las hojas.
	9	La mayoría de las hojas con lesiones alargadas.

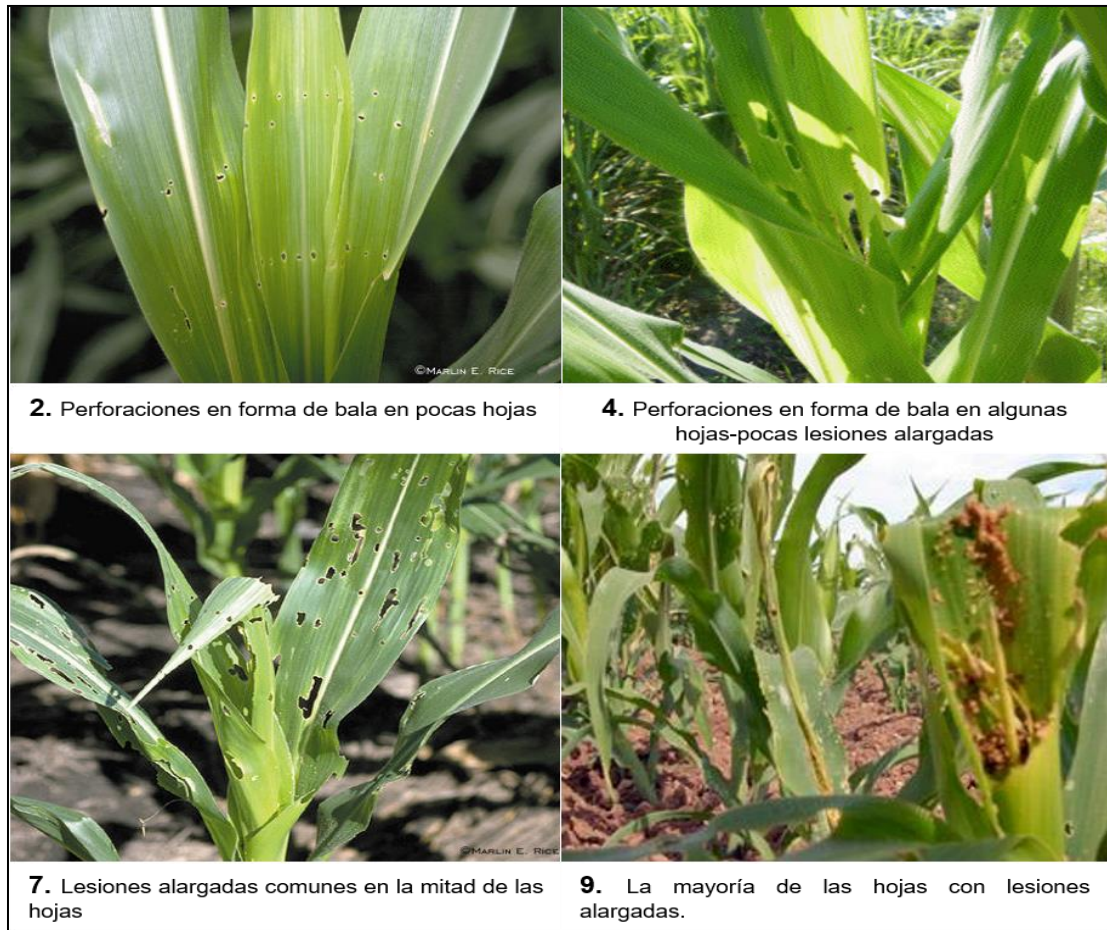


Figura 6. Representación fotografica de la escala de puntuación o escala de Davis.

Rendimiento. El parámetro rendimiento solo se evaluó durante el primer año de evaluación con los eventos de maíz Agrisure™ 3000 GT y Agrisure® Viptera™ 3110. Se determinó la humedad del grano cosechado y se determinó el peso del grano de cuatro surcos. Con base en este peso y humedad de grano, se determinó el rendimiento por hectárea ajustado al 14% de humedad, utilizando la fórmula:

$$\text{Rendimiento (ton/ha)} = (((100-\%H)/86) \times \text{PC})/L \times W \times N \times \text{RGM};$$

Dónde: Rendimiento es el grano total ajustado al 14% de humedad (ton/ha), **%H** es el porcentaje de humedad en la muestra de grano, **86** es el valor constante para estimar el rendimiento con una humedad uniforme del 14%, **PC** es el rendimiento de grano total (kg por tratamiento), **L** es la longitud de la parcela (tratamiento) en metros, **W** es la distancia entre surcos (metros), **N** es el número de surcos por parcela y **RGM** es la relación grano/mazorca.

El RGM, se determinó mediante el conteo de hileras y número de granos por hileras por cada mazorca.

Análisis estadístico. Los resultados del daño foliar en la escala de puntuación, plantas (%) con la presencia del daño foliar y rendimiento se sometieron a un análisis de varianza y comparación entre medias de los tratamientos con una prueba de rango múltiple de Tukey ($P < 0.05$), utilizando el software estadístico SAS (SAS 2002; versión 9.0, SAS Institute, Cary, North Carolina, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación del daño foliar por *Spodoptera frugiperda* en maíz transgénico con los eventos Agrisure™ 3000 GT y Agrisure® Viptera™ 3110 en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2011.

Evaluaciones realizadas en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2011 con las variedades Agrisure™ 3000 GT y Agrisure® Viptera™ 3111 con y sin insecticida no muestran diferencia significativa ni diferencias en comparación con sus híbridos convencionales con adición de insecticida foliar, pero sin diferencias significativas con el híbrido convencional sin aplicación de insecticida foliar, en los que refiere al daño foliar (escala de Davis) queda demostrado que el maíz transgénico es igual de efectivo que el uso productos químicos en la producción de maíz, además de que ofrece una protección contra el ataque del gusano cogollero durante todo el desarrollo de la planta cosa que no ocurre con los agroquímicos, el testigo convencional sin insecticida por otro lado tuvo una severidad de daño mucho mayor.

En el Cuadro 4 se aprecia que el porcentaje de plantas con daño tuvo diferencias significativas entre los transgénicos comparados con los híbridos convencionales con y sin aplicación de insecticida mostrando datos con 0 incidencia principalmente en el Agrisure® Viptera™ 3110, el cual posee dos genes introducidos para control de Lepidoptera y Agrisure™ 3000 GT solo el evento sin agroquímico presento un mínimo porcentaje de daño. El daño en los eventos Bt es debido a que la larva tiene que ingerir material vegetal para que actué el cristal de Bt, mientras que en los híbridos este daño fue mayor y puede deberse a que la plaga pudo haber arribado antes de las aplicaciones de insecticida y que además el producto es de contacto y tiene un rango de efecto residual definido.

El híbrido convencional con insecticida mostro un porcentaje menor que el testigo sin aplicación, aunque la protección no es total o efectiva en contra del ataque de la plaga.

Cuadro 4. Daño foliar y porcentaje de plantas con daño por gusano cogollero en híbridos de maíz genéticamente modificado Agrisure™ 3000 GT y Agrisure® Viptera™ 3110 y sus respectivos híbridos convencionales en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2011.

Híbridos ^a	Daño foliar ^{b,c}	Plantas con daño (%) ^c
Agrisure™ 3000 GT	1.10 a	5.0 a
Agrisure™ 3000 GT + i	1.00 a	0.0 a
Hibrido convencional + i	1.85 a	30.0 b
Hibrido convencional	4.20 b	82.5 c
	$F=17.33^{***}$	$F=38.58^{***}$
Agrisure® Viptera™ 3110	1.00 a	0.0 a
Agrisure® Viptera™ 3110 + i	1.00 a	0.0 a
Hibrido convencional + i	1.22 a	15.0 b
Hibrido convencional	4.20 b	90.0 c
	$F=13.22^{***}$	$F=297.00^{***}$

^ai=insecticida, ^bmedia de la escala numérica, ^chíbridos genéticamente modificados y sus respectivos híbridos convencionales seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (ANVA y prueba de Tukey; $P < 0.05$). *** Indican significancia contraste valor F a $P < 0.001$, $gl = 3, 15$.

Evaluación del daño foliar por *Spodoptera frugiperda* en maíz transgénico con los eventos Agrisure® Viptera™ 3111 y Agrisure™ 3000 GT en El Dorado y Navolato, Sinaloa, en 2012.

En el Dorado, las pruebas de maíz genéticamente modificado Agrisure® Viptera™ 3111 con y sin insecticida no presentaron diferencias significativas, mientras que sus respectivos híbridos convencionales con y sin adición de insecticida arrojaron datos con diferencias significativas tanto en daño foliar como en porcentaje de plantas dañadas, encontrándose incluso plantas de maíz sin daño alguno (Fig.7a) por otro lado en la comparación del hibrido convencional con y sin aplicación de insecticida, el testigo sin tratamiento presento menos daño tanto en la escala de Davis como en el porcentaje de plantas con daño, pudiéndose dar como explicación que el uso del insecticida no afecto al estadio susceptible o elimino parte de la fauna benéfica que está presente naturalmente y que es la que regula de cierta manera al testigo sin aplicación.

Pruebas del mismo maíz transgénico se realizaron en Navolato en mismo año y los resultados fueron similares a los observados en El Dorado comprobando que el maíz Bt funciona eficientemente contra el ataque del gusano cogollero; aquí, los híbridos convencionales fueron diferentes significativamente de los eventos GM con y sin insecticida y con respecto a los de El Dorado, en esta localidad el insecticida si tuvo un efecto de control, y de igual forma con el porcentaje de plantas dañadas por arriba del 50% de incidencia, esto nos indica que se debe realizar más de una aplicación de agroquímicos para apreciar un mayor efecto de control (Fig.7b y c).



Figura 7. Daño foliar por gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* en maíz Agrisure® Viptera™ 3111 (a), e híbrido convencional con (b) y sin (c) aplicación insecticida, en Sinaloa, México.

Pruebas con el evento de maíz Agrisure™ 3000 GT en la localidad de Navolato presento datos similares a los ya obtenidos en el año anterior en Oso Viejo, corroborado la efectividad del mismo (Fig. 8). En este año, se presentó un mayor

daño foliar, donde no se presentaron diferencias significativas entre los híbridos Bt, y con un mayor daño foliar, entre híbridos convencionales con y sin control químico no se presentaron diferencias significativas.



Figura 8. Maíz Agrisure™ 3000 GT con pequeños daños por *Spodoptera frugiperda* en Sinaloa, México.

El Maíz transgénico con adición de insecticida tuvo un menor daño foliar y un menor porcentaje de plantas con daño, esto debido a que además de contener el gen Bt, tiene la protección del insecticida de contacto.

Comparando los eventos de maíz Agrisure™ 3000 GT y Agrisure® Viptera™ 3111, el segundo presentó mejores resultados; esto puede ser probablemente debido a que el Agrisure™ 3000 GT contiene solo un gen contra insectos lepidópteros y el evento Agrisure® Viptera™ 3111 posee la protección de dos genes insertados (Cuadro 5).

Cuadro 5. Daño foliar y porcentaje de plantas con daño por gusano cogollero en híbridos de maíz genéticamente modificado Agrisure® Viptera™ 3111 y Agrisure™ 3000 GT y sus respectivos híbridos convencionales en El Dorado y Navolato, Sinaloa, en 2012.

Híbridos ^a	Localidad	Daño foliar ^{b,c}	Plantas con daño(%) ^c
Agrisure® Viptera™ 3111	El Dorado	1.00 a	0.0 a
Agrisure® Viptera™ 3111 + i	El Dorado	1.00 a	0.0 a
Hibrido convencional + i	El Dorado	3.53 b	64.4 b
Hibrido convencional	El Dorado	2.89 b	56.7 b
		$F=10.35^{***}$	$F=16.54^{***}$
Agrisure® Viptera™ 3111	Navolato	1.07 a	1.1 a
Agrisure® Viptera™ 3111 + i	Navolato	1.07 a	1.1 a
Hibrido convencional + i	Navolato	3.20 b	52.2 b
Hibrido convencional	Navolato	4.90 c	81.1 c
		$F=11.52^{***}$	$F=14.99^{***}$
Agrisure™ 3000 GT	Navolato	1.34 a	13.3 a
Agrisure™ 3000 GT + i	Navolato	1.13 a	7.8 a
Hibrido convencional + i	Navolato	3.87 b	66.7 b
Hibrido convencional	Navolato	4.97 b	77.8 b
		$F=9.65^{***}$	$F=10.39^{***}$

^ai=insecticida, ^bmedia de la escala numérica, ^chíbridos genéticamente modificados y sus respectivos híbridos convencionales seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (ANVA y prueba de Tukey; $P < 0.05$). *** Indican significancia contraste valor F a $P < 0.001$, gl = 11, 35.

Evaluación del daño foliar por *Spodoptera frugiperda* en maíz transgénico con el evento Agrisure® Viptera™ 3111 en Camalote y Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2013.

Las pruebas con los eventos de maíz Bt Agrisure® Viptera™ 3111 y sus respectivos híbridos convencionales en Camalote y Oso Viejo en 2013 mostraron resultados similares en ambas localidades donde se encontró diferencia significativa entre el transgénico y los convencionales con y sin aplicación de insecticida; el maíz GM obtuvo resultados parecidos a los ya evaluados en Navolato y el Dorado en 2012, sin daño foliar en la escala de Davis y con incidencia cero. Los híbridos convencionales presentaron un mayor daño, principalmente el convencional sin protección insecticida con alta incidencia daño foliar y aunque el insecticida en el otro híbrido convencional cumple con su función, no evita el daño en los cultivares (Cuadro 6).

Cuadro 6. Daño foliar y porcentaje de plantas con daño por gusano cogollero en híbridos de maíz genéticamente modificado Agrisure® Viptera™ 3111 y sus respectivos híbridos convencionales en Camalote y Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2013.

Híbridos ^a	Localidad	Daño foliar ^{b, c}	Plantas con daño (%) ^c
Agrisure® Viptera™ 3111	El Camalote	1.00 a	0.0 a
Híbrido convencional + i	El Camalote	1.72 b	35.8 b
Híbrido convencional	El Camalote	3.22 c	74.2 c
		$F=48.92^{***}$	$F=58.44^{***}$
Agrisure® Viptera™ 3111	Oso Viejo	1.00 a	0.0 a
Híbrido convencional + i	Oso Viejo	1.80 b	39.2 b
Híbrido convencional	Oso Viejo	2.63 c	62.5 c
		$F=35.46^{***}$	$F=27.38^{***}$

^ai=insecticida, ^bmedia de la escala numérica, ^chíbridos genéticamente modificados y sus respectivos híbridos convencionales seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (ANVA y prueba de Tukey; $P < 0.05$). *** Indican significancia contraste valor F a $P < 0.001$, gl = 8, 35.

Evaluación del rendimiento en maíz transgénico con los eventos Agrisure™ 3000 GT y Agrisure® Viptera™ 3110 en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2011.

En la evaluación del primer evento genéticamente modificado, se observó mayor producción en el Agrisure™ 3000 GT con y sin tratamiento químico con 10.50 y 10.75 ton/ha respectivamente, significativamente mayor a los convencionales, con 8.82 ton/ha en el convencional con tratamiento químico y 4.97 ton/ha en el convencional sin tratamiento insecticida ($gl = 3,15$; $F=37.46$; $P < 0.0001$), observándose entre los dos tratamientos en el Agrisure™ 3000 GT y su híbrido convencional con insecticida una diferencia de 1.68-1.93 ton/ha y de 5.53-5.78 ton/ha con el híbrido convencional sin protección de plagas.

Cuadro 7. Promedio del rendimiento en maíz transgénico con el evento Agrisure™ 3000 GT + i y Agrisure® Viptera™ 3110 + i y sus convencionales en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2011.

Híbridos ^a	Repeticiones			
	1	2	3	4
Agrisure™ 3000 GT	10.5	10.8	11.7	10.0
Agrisure™ 3000 GT + i	9.6	10.4	11.5	10.5
Híbrido convencional + i	8.7	8.3	9.5	8.8
Híbrido convencional	5.2	6.3	5.2	3.2
Agrisure® Viptera™ 3110	9.3	10.4	9.2	9.6
Agrisure® Viptera™ 3110 + i	10.3	9.8	10.5	10.0
Híbrido convencional + i	7.5	8.9	8.1	10.0
Híbrido convencional	2.1	2.7	2.9	3.9

^ai=insecticida

En la evaluación del evento Agrisure® Viptera™ 3110, se observó mayor producción en el Agrisure® Viptera™ 3110 con y sin tratamiento químico con 9.62 y 10.15 ton/ha respectivamente, significativamente mayor a los convencionales, con 8.62 ton/ha en el convencional con tratamiento químico y 2.90 ton/ha en el convencional sin tratamiento insecticida ($gl = 3,15$; $F=84.31$; $P < 0.0001$), observándose entre los dos tratamientos en el Agrisure® Viptera™ 3110 y su

hibrido convencional con insecticida una diferencia de 1-1.53 ton/ha y de 6.72-7.25 ton/ha con el hibrido convencional sin protección de plagas.

Los maíces transgénicos, Agrisure® Viptera™ 3110, Agrisure® Viptera™ 3111 y Agrisure™ 3000 GT fueron resistentes a *S. frugiperda* proporcionando protección durante toda la temporada, en comparación con sus respectivos híbridos convencionales, los cuales mostraron daños a pesar de haberse utilizado tratamiento con insecticidas, durante tres años en las diferentes localidades donde se establecieron los cultivos de maíz en el estado de Sinaloa. Trabajos realizados por Szwarc (2018) en Argentina donde evaluó el índice de supervivencia de larvas de cogollero sobre plantas de maíz Bt y no Bt donde los resultados se diferenciaron entre sí a los dos días de la liberación, mostrando que el gen Bt protegía al cultivo con resistencia al ataque de lepidópteros.

El control químico solo protege a la planta cuando el insecticida se utiliza correctamente respetando las dosis y tiempo de aplicación en base al estadio susceptible, no obstante; representa un riesgo en la eficacia del control ya que solo se tiene un lapso de tiempo residual y por tanto se requieren de varias aplicaciones durante el ciclo, lo cual resulta de una mayor exposición a los productores de maíz (INTAGRI, 2018), al respecto; Bernardino *et al.* (2019) realizaron una investigación en el estado de Oaxaca donde citaron que los productos de categoría II y IV (alta y ligeramente peligrosos) del tipo organofosforados, carbamatos, piretroides son los más utilizados en la región.

Las tres variedades transgénicas con el gen Bt utilizados mostraron efectos similares en el control de cogollero, sin embargo, el evento Agrisure™ 3000 GT, en las áreas analizadas resulto ser el que más fue afectado en las dos variables evaluadas, esto debido a que es el único con un solo gen de resistencia a lepidópteros, mientras que los otros híbridos probados tienen dos genes Bt que y proporcionaron una mejor protección a la plaga y su daño prácticamente fue mínimo.

El uso de insecticidas para el control del gusano cogollero en México puede variar dependiendo la región donde se utilicen, se pueden llegar a utilizar hasta 2,600 toneladas de ingrediente activo en cada una de las 2-3 aplicaciones que se hacen contra esta plaga en cada ciclo de cultivo (Blanco *et al.*, 2014).

Al no realizarse aplicaciones de agroquímicos en los maíces modificados, se minimizan efectos negativos, entre los que destacan la contaminación del medio ambiente (suelo, agua, productos alimenticios) que resultan perjudiciales a la salud del ser humano, y por otro lado los transgénicos Bt son específicos a plagas y no dañan a la fauna benéfica que ayudan al maíz en su desarrollo ya sean como polinizadores, parasitoides, depredadores y degradadores de materia orgánica.

El rendimiento del cultivo está relacionado por la incidencia de plagas durante el ciclo, plagas que son causantes de estrés y pérdida de energía que pudiera ser destinada para el desarrollo y llenado del grano, evitando la libre expresión de la planta, el uso de productos insecticidas puede ser similar a la utilización de maíces Bt, pero estos últimos ofrecen una protección de inicio a fin de cultivo.

Ramírez (2008) evaluó maíces transgénicos versus regionales en Zamorano, Honduras y en sus resultados los híbridos transgénicos se comportaron de manera similar, siendo más productivos y obteniendo al momento de la cosecha 1.47 t/ha más que los híbridos convencionales; este aumento en rendimiento se debe a que las plantas con evento Bt, controlaron durante todo el ciclo del cultivo al barrenador del tallo y parcialmente al cogollero, el cual no causó daños representativos a la planta. Al controlar estas dos plagas obtuvieron mejores resultados en cuanto al desarrollo y productividad de la planta.

Jaramillo *et al* (1989), establecieron que el rendimiento total de cultivares de maíz están en relación con el grado de daño foliar, cosa que se comprobó al utilizar los

convencionales sin adición de ningún producto insecticida donde los resultados fueron muchos bajos, comparados con sus homólogos genéticamente modificados.

Permigeat y Margarit (2005) reportaron evaluaciones del impacto ambiental, entre las variables observadas se establecieron el potencial aparición de nuevas malezas, la pérdida de biodiversidad, la contaminación de los centros de origen y la aparición de insectos resistentes generados por una alta presión de selección, indicando que el uso de OGM's conteniendo genes de *Bacillus thuringiensis* no implica un riesgo en el agroecosistema si se respetan las normas de uso de los materiales autorizados para la comercialización.

Los constantes avances en trabajos de ingeniería genética hoy en día resultan en una fuente de información importante para la búsqueda de nuevas alternativas en la producción agrícola actual, que cada vez ve más aceptada la idea de conservación y el uso racional de los métodos tradicionales en el control de plagas, resultando en la disminución de contaminantes en la agricultura, *Bacillus thuringiensis* es una herramienta importante en el manejo integrado de plagas, por lo que al adicionar su ingrediente activo al genoma de plantas ayuda a que los requerimientos que necesita la bacteria sean eliminados debido a que los cristales Cry se encuentran en las células del follaje dando una protección total durante la vida del cultivo, el uso de transgénicos cada vez se vuelve más una realidad ya que ofrecen muchas ventajas que los convencionales no tienen, es necesario continuar los estudios para determinar los posibles efectos secundarios sobre la salud y puedan utilizarse con más libertad.

El uso de transgénicos en México aún está en una discusión constante, por falta de estudios sobre los posibles efectos secundarios en la salud de los consumidores y el medio ambiente, además de ser México el centro de origen del maíz y se corre el riesgo de pérdida de diversidad genética al utilizarse híbridos convencionales y modificados. Díaz (2017) señala que el cultivo de plantas

transgénicas en larga escala puede provocar la diseminación de transgenes que pueden repercutir sobre los componentes de la biodiversidad irreversibles y difíciles de estimar. La inserción de una variedad transgénica en una comunidad de plantas o animales puede causar varios efectos negativos, como la eliminación de especies por procesos de selección natural, la exposición de especies a nuevos patógenos o agentes tóxicos, la generación de súper plantas dañinas o súper plagas, y la disminución de la diversidad genética.

Las pruebas con maíces transgénicos se llevaron a cabo en zonas alejadas del centro de origen del maíz, que se ubica principalmente en la zona centro de país (Estado de México-Puebla) esto con el fin de no afectar a la diversidad endémica presente en la región, que en el peor de los casos sería la pérdida de los mismos. Además, la siembra se realizó días después de las fechas recomendadas en el estado de Sinaloa para evitar la polinización cruzada con maíces regionales.

Al no haber daño significativo en los maíces Bt se puede diseñar un programa de manejo integrado del cultivo donde se reducirá en gran medida la dependencia de los productos químicos y por consiguiente la reducción de la contaminación de los campos, sin embargo; no existe reglamentación para el uso de transgénicos a nivel extensivo en el campo mexicano, solo algunas excepciones como el algodón y la soya donde no se consumen directamente el producto, sino que deben pasar por un proceso de industrialización antes de su comercialización.

CONCLUSIÓN

Durante los tres años de evaluación, los maíces Bt provieron protección contra el gusano cogollero *S. frugiperda* con daño mínimo al follaje.

Los maíces transgénicos, Agrisure® Viptera™ 3110, Agrisure® Viptera™ 3111 y Agrisure™ 3000 GT fueron resistentes a *S. frugiperda*.

La doble toxina Cry de Agrisure® Viptera™ 3110 y Agrisure® Viptera™ 3111 provee mayor control de la plaga que el Agrisure™ 3000 GT que expresa solo una toxina Cry.

Los maíces Agrisure® Viptera™ 3110 y Agrisure™ 3000 GT permiten reducir el uso de insecticidas químicos e incrementar las posibilidades de obtener un mejor rendimiento por efecto de la reducción del daño foliar.

LITERATURA CITADA

- Álvarez, A. 1991. Reseña histórica y aspectos bioecológicos del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). En: Memorias Seminario *Spodoptera frugiperda* (el gusano cogollero) en sorgo, maíz y otros cultivos. Socolen-Cis. Cali, 13- 14 junio, 1991. pp.12-16.
- Andrewes, L. y Howell, H. 1989. Utilización de controles culturales. In L.K. Andrews y J.R. Quezada, eds. Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura estado actual y futuro. p. 243-253. El Zamorano, Honduras, CA. 623 pp.
- Antal, E. 2008. The Interaction among Politics, Science and Society in Biotechnology. Regulating Genetically Modified Organisms in Canada and Mexico. Norteamerica vol. 3. Version online. Recuperado: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S187035502008000100002&script=sci_arttext&tIng=en consultado:14/08/2019.
- Asturias, M. 2004. Maíz de alimento sagrado a negocio del hambre. Ediciones. Hivos. Quito- Ecuador. 105 pp. Recuperado: http://www.rallt.org/PUBLICACIONES/maiz_alimento%20sagrado.pdf Consultado: 05/06/19
- Barzman M., Bertschinger L., Dachbrodt S., Graf B., Jensen J., Jorgensen L., Kudsk P., Messean A., Moonen A., Ratnadass A., Sarah J. y Sattin M. 2014. Manejo integrado de plagas, experiencias con la aplicación, visión global, vol. 4. Pág. 415 – 428

- Bernardino H., Torres A., Sánchez C., Reyes V., Zapién M. 2019. Uso de plaguicidas en el cultivo de maíz en zonas rurales del estado de Oaxaca, México. *Rev. salud ambient.* 19(1):23-31. Recuperado: <https://ojs.diffundit.com › index.php › rsa › article › download>. Consultado: 08/11/19
- Blanco, A., Pellegaud J., Nava, U., Lugo, D., Vega, P., Coello, J., Terán, A. & Vargas, J. 2014. Maize pests in Mexico and challenges for the adoption of an integrated pest management program. *J. Int. Pest Manag.* 5: DOI: <http://dx.doi.org/10.1603/IPM14006>
- Cabello, T. 2010. Control de Lepidópteros. Recuperado: <https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/215-enero-2010/control-de-lepidopteros>. Consultado: 20/11/19
- Casmuz, L., Juárez, G., Socías, G., Murúa, S., Prieto, S., Medina, E., Willink, G. y Gastaminza. 2010. Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) 69(3): 209-231
- Chaparro, A. 2011. Cultivos transgénicos: Entre los riesgos biológicos y los beneficios ambientales y económicos. *Revista Acta Biológica Colombiana*. Volumen 16, Número 3, p. 231-252. Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/19986/27963>. Consultado: 19/05/19
- Cisneros, F. 2010. Control de plagas agrícolas - fascículo 13. Control de plagas: MIP. Lima-Perú 35 pp. Recuperado: https://hortintl.cals.ncsu.edu/sites/default/files/articles/Control_de_Plagas_Agrícolas_MIP_Ene_2010.pdf. Consultado: 18/11/19
- CONACYT, 2019. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Maíz. Recuperado de: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/maiz>. Consultado:05/06/19

- Del Puerto, A., Suárez, S. & Palacio, D. 2014. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 52(3), 372-387.
Recuperado:http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300010&lng=es&lng=es. Consultado: 18/11/19.
- Deras H. s/f. Guía técnica el cultivo del maíz. 9-40. Recuperado: <http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf>
- Díaz, R. 2017. Transgénicos: Riesgos potenciales a la salud humana y al medio ambiente. *Revista biótica*. Edición 1. 3 pp. Recuperado: <https://revistabioika.org/assets/multimedia/docs/es/revisiones/rosa.dias@revistabioika.org/20170609193251-ed1-econoticia10-transg-es.pdf>. Consultado: 05/11/2019
- DuPont PIONEER, 2014. Gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* Smith. Recuperado:https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Mexico_Intl/Agro nomia/Articulos_PDF/SE_4B_GUSANO_COGOLLERO_2014.pdf. Consultado: 18/03/18
- Ecured, 2019. *Bacillus thuringiensis* Recuperado: <https://www.ecured.cu> › *Bacillus thuringiensis*. Consultado:10/08/19
- Flores R. 2000. “Efecto De La Variedad De Maíz Sobre El Desarrollo Y Susceptibilidad De Larvas De *Spodoptera Frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) A *Bacillus thuringiensis*”. tesis de maestría. Universidad de Colima, Tecomán colima, México páginas: 54
- Gómez, I., Sánchez J., Miranda R., Bravo A., Soberon M. 2002. Cadherin-like receptor binding facilitates proteolytic cleavage of helixK-1in domain I and oligomer pre-pore formation of *Bacillus thuringiensis*Cry1Ab toxin. Pag. 242-246. Recuperado: <https://febs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1016/S0014-5793%2802%2902321-9>. Consultado: 25/08/19

- Gonzales, P. 2005. Capítulo 1. Problemas y dilemas de la agricultura en el mundo. Pág. 31. Recuperado: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lri/gonzalez_m_pi/capitulo_1.html. Consultado: 18/08/19
- Guzmán, D., Rodríguez, J., Valencia, S. 2016. Identificación de caracteres diagnósticos del ciclo de vida de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). DOI: 10.13140/RG.2.1.2380.1201. Recuperado: https://www.researchgate.net/publication/303542802_Identificacion_de_caracteres_diagnosticos_del_ciclo_de_vida_de_Spodoptera_frugiperda_J_E_Smith_Lepidoptera_Noctuidae. Consultado: 16/08/19.
- Halford, N. & Shewry, P. 2000. Genetically modified crops: methodology, benefits, regulation and public concerns. *british medical bulletin*, 56 (1) 62-73. Recuperado:https://www.researchgate.net/publication/12434220_Genetically_modified_crops_Methodology_benefits_regulation_and_public_concerns. Consultado:13/08/19
- Halsey, M., Remund, K., Davis, C., Qualls M., Eppard P. & Berberich S. 2005. Isolation of maize from pollen mediated gene flow by time and distance. *Crop Science*. 45(6): 2172-2185.
- ICA (instituto colombiano agropecuario), 2003. Boletín de epidemiología. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. 32(19).
- Infoagro. 2019. Manejo de lepidópteros plaga (1ª parte). Recuperado: https://www.infoagro.com/hortalizas/lepidopteros_plaga.htm. Consultado:23/11/19
- 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.

- INTAGRI. 2013. (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). El manejo integrado del Gusano Cogollero en Maíz y Sorgo. Recuperado: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/manejo-integrado-gusano-cogollero-t30624.htm>. Consultado: 18/03/18.
- INTAGRI. 2015. (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). El momento oportuno para el control del gusano cogollero. Recuperado: <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/el-momento-oportuno-para-el-control-del-gusano-cogollero>. Consultado: 09/02/19
- INTAGRI. 2018. (Instituto para la innovación tecnológica en la agricultura). Factores que afectan la aplicación eficiente de plaguicidas. Serie Fitosanidad Núm.107. Artículo Técnico de Intagri. México. 4.p. Recuperado: <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/factores-que-afectan-la-aplicacion-eficiente-de-plaguicidas>. Consultado: 17/11/19
- ISAAA. 2017. (International Service For The Acquisition Of Agri-Biotech Applications). Resumen 53: Situación global de cultivos biotecnológicos / GM comercializados: 2017. Recuperado: <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/53/default.asp>. Consultado: 20/11/19
- ISAAA. 2019. (International Service For The Acquisition Of Agri-Biotech Applications). Recuperado: <http://www.isaaa.org/default.asp>. Consultado: 19/08/19
- ISAAA. 2019. (International Service For The Acquisition Of Agri-Biotech Applications). Los cultivos biotecnológicos continúan ayudando a enfrentar los desafíos del aumento de la población y el cambio climático. Recuperado:<http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/54/executivesummary/default.asp>. Consultado: 02/09/19

- Jaramillo D., Jaramillo G., Bustillo P., & Gómez L. 1989. Efecto del Gusano Cogollero *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) sobre el Rendimiento del Maíz. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 42(1), 25-33. Recuperado:<https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/28406/28768>. Consultado: 28/11/19
- Jhon, F. 2008. EL MAIZ. Recuperado: <http://f10freddy10.blogspot.com/2008/09/botanica.html>. Consultado: 04/06/19
- LBOGM (Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados). 2005. Diario Oficial de la Federación, 18 marzo 2005. México.
- Leyva, H., García, C., Chávez, J. y Ruiz, J. 2018. Hongos y nematodos entomopatógenos para el control del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith, 1797 (Lepidoptera: Noctuidae). Entomología mexicana, 5: 170-173. Recuperado:<http://www.entomologia.socmexent.org/revista/2018/CB/CB%20170-173.pdf>. Consultado: 18/11/19
- Lezaun J. 2016. CropLife Latín América. Recuperado: <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/gusano-cogollero> Consultado:10/09/19
- López, 2019. *Bacillus thuringiensis*: Características, morfología, ciclo de vida. Recuperado: <https://www.lifeder.com/bacillus-thuringiensis/> Consultado: 10/08/19
- Martin, L. 2016. Transgénicos La Realidad. Pág. 24. Recuperado: http://bioinformatica.uab.cat/base/documents/genetica_gen201516/portfolio/Trasg%C3%A9nicos2016_6_2P9_16_15.pdf Consultado: 20/08/19

- Massoni, F., Schlie, G., & Frana, J. 2014. Evaluación del daño causado por insectos lepidópteros en híbridos de maíz BT (vt triple pro y mg) y convencional, y determinación del impacto sobre el rendimiento. Publicación miscelánea. EEA Rafaela, (128).
- Mihm, J. A. 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.
- Negrete, F. y Morales, J. 2003. Manejo del Gusano cogollero del maíz utilizando extractos de plantas. Ministerio de agricultura y Desarrollo rural. Colombia. 26 pp. Recuperado: http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4870/2/20061127153058_El%20gusano%20cogollero%20del%20maiz.pdf. Consultado: 10/06/19
- Ortega, A. 1987. Insectos nocivos del maíz: una guía para su identificación en el campo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). D.F., México. pp 106. Recuperado: <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/732/4941.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consultado: 07/08/19
- Paliwal, R. 1996. Introducción al maíz y su importancia. Disponible en: <http://www.fao.org/3/X7650S/x7650s02.htm> consultado: 04/06/19
- Permingeat, H. y Margarit E. 2005. Impacto ambiental de los cultivos genéticamente modificados: El caso de Maíz Bt. Revista Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias. 2005, 7, 33-44. Recuperado: <https://rephip.unr.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/2133/816/Impacto%20ambiental%20de%20los%20cultivos%20gen%C3%A9ticamente%20modificados.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Consultado:19/06/19

- Portella, D., Chaparro, A. y López, A. 2013. La biotecnología de *Bacillus thuringiensis* en la agricultura. Pp 87-96. Publicación Científica en Ciencias Biomédicas - Issn: 1794-2470 - Vol. 11. Bogotá, Colombia.
- Puzsai, A. y Bardócz Z. 2004. A genetikailag módosított élelmiszerek biztonsága (La seguridad de los alimentos genéticamente modificados). libros kölcsey VII Budapest. Recuperado: <https://mek.oszk.hu/03200/03216/03216.pdf>
Consultado:14/08/19
- Ramírez, M. 2008. Análisis del impacto económico de la introducción de maíz transgénico con resistencia a insectos en Honduras. Tesis de licenciatura. Zamorano Carrera De Administración De Agronegocios. 58 pp. Recuperado: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/110/1/AGN-2008-T020.pdf>.
Consultado: 08/11/19.
- Rosas, N. 2008. Avances en el desarrollo de formulaciones insecticidas a base de *Bacillus thuringiensis*. Revista Colombiana de Biotecnología, 10(1), 49-63. Recuperado: <http://www.bdigital.unal.edu.co/13775/1/1395-6738-1-PB.pdf>
Consultado: 20/11/19
- Rosas, N. 2014. *Bacillus thuringiensis*: una aplicación de la ciencia. Revista Colombiana de Biotecnología. Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá). Volumen 16, Número 2, p. 5-6, 2014. Recuperado: <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v16n2/v16n2a01.pdf>. Consultado: 20/08/19
- Salas, J. 2001. Captura de *Spodoptera frugiperda* en trampas con feromona. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) No. 59 p. 48 – 51. Recuperado: <http://www.sidalc.net/repdoc/A1747e/A1747e.pdf>. Consultado: 01/08/19
- SAS, Institute. 2002. User Guide for the SAS System Version 9.0 for Microsoft Windows, Cary, North Carolina, USA.

- Sassano, F., Urretabizkaya, N., Álvarez, J. 2016. Respuesta de maíces Bt y no Bt ante la presencia de *Spodoptera frugiperda* (Smith) y evaluación del momento óptimo de control. Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental Facultad de Ciencias Agrarias. UNLZ. Vol. 3 (2) 2016: 18-29. Recuperado de: http://revistafcaunlz.gramaweb.com.ar/wp-content/uploads/2016/06/Sassano_et_al.pdf. Consultado: 18/09/2019
- Sauka, D., y Benintende, G. 2008. *Bacillus thuringiensis*: generalidades. Un acercamiento a su empleo en el biocontrol de insectos lepidópteros que son plagas agrícolas. Revista argentina de microbiología, 40(2), 124-140.
- Soberón, M., y Bravo A. 2007. Las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis*: modo de acción y consecuencias de su aplicación 12(2). Recuperado de: http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/libro_25_aniv/capitulo_27.pdf. Consultado: 21/05/19
- Szwarc, D. 2018. Dispersión y mortalidad de larvas de *Spodoptera frugiperda* J. E. Smith (Lepidoptera: Noctuidae) en híbridos de maíz convencional y transgénico Bt. Potenciales implicancias para el manejo de la resistencia. Tesis de maestría. Universidad Nacional De La Plata. 122 pp. Recuperado:http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/71604/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Consultado: 7/11/2019
- Valladares, C. 2010. Origen y Distribución de los Cultivos de Grano. 4pp Recuperado: <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/unidad-i-generalidades-origen-y-distribucion-de-los-cultivos-de-grano-iii-20101.pdf>. Consultado:02/06/19.