

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Resistencia del Maíz Genéticamente Modificado al Daño por *Helicoverpa zea* (Boddie) y su Interacción con Pudrición de Mazorca por *Fusarium*

Por:

UZIAS ESAÚ HERNÁNDEZ VELASCO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México

Agosto, 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Resistencia del Maíz Genéticamente Modificado al Daño por *Helicoverpa zea*
(Boddie) y su Interacción con Pudrición de Mazorca por *Fusarium*

Por:

UZIAS ESAÚ HERNÁNDEZ VELASCO

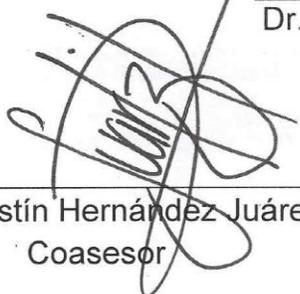
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

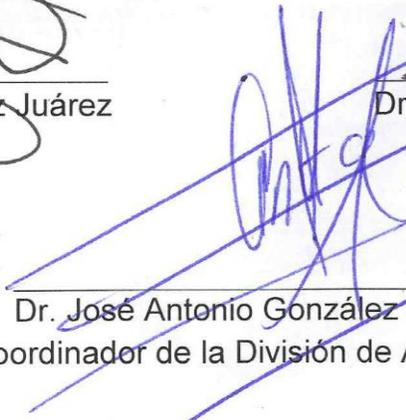
INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe
Asesor Principal


Dr. Agustín Hernández Juárez
Coasesor


Dr. Epifanio Castro Del Ángel
Coasesor


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



Saltillo, Coahuila, México

Agosto, 2020

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a **Dios** por las bendiciones que me ha dado a lo largo de mi vida, por cuidar mis pasos durante todo este tiempo que me ha dado vida y por la oportunidad que me concede de poder terminar una etapa más en mi vida, que por su voluntad y sus bendiciones todo esto es posible.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por ser mi casa de estudios durante estos años, además de darme la oportunidad de formarme como persona y profesionalmente "*Alma Mater*".

Al Departamento de Parasitología por darme todas las herramientas necesarias para mi formación durante mi estancia en la universidad.

Al Dr. Agustín Hernández Juárez por darme la oportunidad de poder participar en este proyecto de investigación, por su tiempo, dedicación y apoyo para poder realizar este trabajo.

Al Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe, al Dr. Epifanio Castro del Ángel y al Dr. Mariano Flores Dávila por su apoyo en la realización de este trabajo.

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 mis amigos. Armando Hernández Jiménez, Félix Díaz Pérez, Junior García Velasco, Martín Vázquez Morales, Miguel Arias Yépez, por su compañía durante la carrera y a mis amigos de la infancia Adonay Gómez, Dennilson Velasco, Eliel Gómez, Ury Aguilar. A todos gracias.

DEDICATORIA

A **Dios** que nunca me ha abandonado y ha guiado mi vida durante todo este tiempo.

A mis padres, **Omero Hernández Velasco y Micaela Velasco Aguilar** gracias por apoyarme en todo momento, por sus consejos, regaños, por aconsejarme en todo momento desde mi infancia, gracias por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles que he pasado siempre han estado conmigo, por el sacrificio que han hecho para poder cumplir esta meta en mi vida, por comprenderme en todo tiempo, cuidar de mí y de mi hermano, pero más que nada por su amor que jamás me falta, por todo esto y mucho más, muchas gracias.

A mi hermano **Otoniel Hernández Velasco** por apoyarme en cada momento, que al convivir desde pequeños me ha demostrado su cariño y apoyo.

A mis Abuelitos;

Isabel Hernández y Sara Velasco gracias por todo su apoyo, cariño y por estar siempre pendiente de mí, porque desde niño me han cuidado y me han aconsejado.

Irma Aguilar gracias por todo su apoyo, cariño que me ha dado desde mi niñez y por estar siempre pendiente de mí.

A todos mis familiares por sus consejos y por su apoyo para seguir adelante siempre.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	viii
RESUMEN	ix
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos Generales.....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
El Cultivo de Maíz	4
Generalidades	4
Descripción botánica.....	4
Morfología:.....	5
Importancia del maíz en México	6
Gusano Elotero <i>Helicoverpa zea</i>	7
Generalidades	7
Descripción taxonómica.....	8
Clasificación taxonómica de <i>H. zea</i>	8
Huevecillo.....	8
Larvas.....	9
Pupa.....	12
Adulto	13
Biología y hábitos	14
Distribución	14
Importancia económica.....	14
Hospederos	15
Estrategias de Control del Gusano Elotero	15
Métodos de control	15
Control cultural.....	16
Control biológico	16
Control con feromonas sexuales	16
Control químico.....	17
Pudrición de la Mazorca de Maíz	17
Generalidades	17
El género <i>Fusarium</i> en Maíz.....	18
Descripción taxonómica de <i>Fusarium</i>	18
Clasificación taxonómica del género <i>Fusarium</i>	19
Importancia económica.....	19

Distribución	21
El género <i>Fusarium</i> como agente causal de enfermedades en el maíz	21
Organismos Genéticamente Modificados	22
Generalidades	22
Adopción y situación actual de los cultivos genéticamente modificados	22
Cultivos genéticamente modificados con resistencia a insectos.....	23
Maíz genéticamente modificado	23
Control de lepidópteros plaga con maíz genéticamente modificado.....	24
Maíz genéticamente modificado evento Agrisure™ 3000 GT	24
Maíz genéticamente modificado evento Agrisure® Viptera™ 3110	26
Maíz genéticamente modificado evento Agrisure® Viptera™ 3111	27
Bacteria Entomopatógena <i>Bacillus thuringiensis</i>	28
Características de <i>Bacillus thuringiensis</i>	28
Modo de acción de <i>Bacillus thuringiensis</i>	28
Importancia de <i>Bacillus thuringiensis</i>	30
MATERIALES Y MÉTODOS	31
Localización del experimento	31
Condiciones del experimento	31
Material genético (híbridos).....	31
Diseño experimental	32
Parámetros a evaluar	34
Análisis estadístico.....	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
CONCLUSIONES.....	45
LITERATURA CITADA.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la planta de maíz <i>Zea mays</i>	6
Figura 2. Huevecillos del gusano elotero <i>Helicoverpa zea</i>	9
Figura 3. Estadio larval 1 del gusano elotero <i>H. zea</i>	9
Figura 4. Estadio larval 2 del gusano elotero <i>H. zea</i>	10
Figura 5. Estadio larval 3 del gusano elotero <i>H. zea</i>	10
Figura 6. Estadio larval 4 del gusano elotero <i>H. zea</i>	11
Figura 7. Estadio larval 5 del gusano elotero <i>H. zea</i>	11
Figura 8. Estadio larval 6 del gusano elotero <i>H. zea</i>	12
Figura 9. Pupa tipo obtecta del gusano elotero <i>H. zea</i>	12
Figura 10. Adulto macho del gusano elotero <i>H. zea</i>	13
Figura 11. Adulto hembra del gusano elotero <i>H. zea</i>	13
Figura 12. Características morfológicas microscópicas del género <i>Fusarium</i> sp. 19	
Figura 13. Síntomas típicos de pudrición de la mazorca causada por <i>Fusarium</i> sp.	20
Figura 14. Micelio (flecha verde), conidióforo (flecha blanca), y conidias (flechas rojas) de <i>Fusarium</i> sp.	20
Figura 15. Microfotografía de <i>Bacillus thuringiensis</i> en microscopio electrónico de transmisión.	28
Figura 16. Modo de acción de proteínas Cry en insectos Lepidópteros	30

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resumen de la modificación genética básica de Agrisure™ 3000 GT. ...	25
Cuadro 2. Resumen de la modificación genética básica de Agrisure® Viptera™ 3110.	26
Cuadro 3. Resumen de la genética básica de Agrisure® Viptera™ 3111.....	27
Cuadro 4. Tratamientos usados para evaluar el daño en mazorca por gusano elotero en maíz genéticamente modificado, durante 3 años en Sinaloa, México.	33
Cuadro 5. Longitud de galería y mazorcas con daño por el gusano elotero 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.	37
Cuadro 6. Longitud de galerías y mazorcas con daño por el gusano elotero 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.	38
Cuadro 7. Longitud de galerías y mazorcas con daño por el gusano elotero en híbridos de maíz genéticamente modificado Agrisure® Viptera™ 3111 y sus respectivos híbridos convencionales en El Camalote y Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2013.	40
Cuadro 8. Incidencia y severidad de pudrición de mazorca 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.....	42
Cuadro 9. Incidencia y severidad de pudrición de mazorca en híbridos de maíz genéticamente modificado Agrisure® Viptera™ 3111 y sus respectivos híbridos convencionales en El Camalote y Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2013.	43

RESUMEN

El maíz es uno de los cultivos más importantes en el mundo, en México es un cultivo representativo por su importancia económica, social y cultural. Una de las plagas de mayor importancia es el gusano elotero *Helicoverpa zea* (Boddie) el cual puede causar un impacto económico importante, dependiendo del destino de la producción. En el caso de producción de maíz para semilla o elote, el daño de esta plaga puede representar pérdidas económicas considerables. Los maíces genéticamente modificados con la inserción de genes de *Bacillus thuringiensis* Berliner que expresan toxinas Cry específicas para lepidópteros se consideran una alternativa viable para el control de este insecto plaga, además de que tienen un efecto sobre la incidencia de *Fusarium* sp., principal hongo asociado a las pudriciones de raíz, tallo y mazorca en maíz. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la resistencia del maíz genéticamente modificado al daño por el gusano elotero y su interacción con pudrición de mazorca por *Fusarium* en Oso Viejo, El Dorado y El Camalote, en el municipio de Culiacán y en Navolato, en el estado de Sinaloa durante las estaciones otoño-invierno. Se utilizaron los eventos Agrisure™ 3000 GT, Agrisure® Viptera™ 3111 y Agrisure® Viptera™ 3110 y se compararon con sus respectivos híbridos convencionales; además, para cada uno se agregó un tratamiento con insecticida para el control de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Los resultados mostraron que los híbridos genéticamente modificados son resistentes al ataque del gusano elotero *H. zea* y de estos los eventos Agrisure® Viptera™ 3110 y Agrisure® Viptera™ 3111 presentaron menor daño, mientras que Agrisure™ 3000 GT fue más afectado. En relación a la incidencia y severidad de pudrición de mazorca, los maíces Bt registraron menores porcentajes de daño por *Fusarium*, y en los maíces convencionales la incidencia y severidad fue mayor. Los maíces Bt confieren un beneficio adicional a la resistencia a plagas, reduciendo indirectamente los puntos de entrada para fitopatógenos, que se desarrollan en el tejido susceptible y ocasionan pudrición.

Palabras clave: *Bacillus thuringiensis*, gusano elotero, maíz Bt, pudrición de mazorca, organismo genéticamente modificado

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cultivos alimenticios más importantes en el mundo. México es el centro de origen del maíz, alimento que sigue siendo el más importante producto agrícola, fuente básica de nutrición, y una actividad económica central y un hito de su cultura. Además, es uno de los cultivos alimenticios más importantes en el mundo. En México son los productores pequeños quienes siguen velando por la agrobiodiversidad nacional, al cultivar más de 64 razas y 40 variedades tradicionales (criollas) de maíz adaptadas a diversas condiciones agro-ecológicas y necesidades humanas. La diversidad del maíz mexicano, conservada no sólo en el banco de genes más grande del mundo, sino también *in situ*, en las milpas de los productores, es una fuente importante de germoplasma para el desarrollo de variedades híbridas de maíz para la agricultura industrializada (Boyce, 1999).

El gusano elotero *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae), es una de las principales especies que provoca graves daños y pérdidas económicas en el cultivo de maíz en etapas de producción. Se encuentra ampliamente distribuido desde Norteamérica hasta Sudamérica y en algunas regiones de Europa y Asia. El gusano es una plaga polífaga con más de 100 hospederos, entre los cuales destacan maíz, sorgo, tomate y algodón. El gusano elotero ocasiona daño directo, ya que se alimenta durante su estado larvario de los estigmas del jilote (pelos del jilote) y los granos de maíz en estado lechoso-masoso, donde provoca grandes daños en la mazorca desde la punta hasta la base de la misma. Por otra parte, debido a las perforaciones y a la acumulación de excremento se favorece el desarrollo de hongos patógenos (INTAGRI, 2017). Dentro de las enfermedades causadas por patógenos en el cultivo del maíz destacan las producidas por el género *Fusarium* Link ex Grey (Hypocreales: Nectriaceae) el cual se encuentra naturalmente en el suelo y en ocasiones puede estar asociado a las pudriciones de raíz y tallos de muchas plantas (Hernández *et al.*, 2007). Aunque la pudrición de mazorca es causada por diversos géneros de hongos, las especies más frecuentemente reportadas como causantes de esta enfermedad en México corresponden al género *Fusarium* (Rivas *et al.*, 2011). Los defoliadores del orden Lepidoptera que infestan al maíz afectan el crecimiento, rendimiento y la calidad del grano, ante esto se han desarrollado diversas estrategias

para su control, la más utilizada es la aplicación de insecticidas químicos; esto, aumenta el costo de producción e impacto negativamente en el ambiente biótico y abiótico. La utilización de cultivos transgénicos se considera otra estrategia viable para controlar estas plagas (Ramírez *et al.*, 2016).

Los organismos genéticamente modificados (OGM's), y en particular los cultivos GM, son especies vegetales que han sido sometidas a la incorporación o modificación de genes mediante el uso de herramientas de ingeniería genética. La modificación genética de plantas es por lo tanto definida como la manipulación del desarrollo, estructura o composición de una planta por medio de la inserción de secuencias de ADN específicas. Estas secuencias pueden ser derivadas de la misma planta produciendo organismos intragénicos; pueden también ser generados por la inserción de un gen proveniente de otra planta, produciendo organismos cisgénicos o bien organismos transgénicos si la fuente del gen proviene de una especie diferente, rompiendo incluso la barrera de los reinos (Halford y Shewry, 2000). Como por ejemplo los maíces Bt que son plantas modificadas genéticamente para ser resistentes a determinados insectos que se consideran dañinos para los intereses de los distintos agricultores. Estos nuevos productos son eficientes sólo en la medida en que las esporas producidas por la bacteria *B. thuringiensis* que contienen una toxina (Cry 1Ab) que se activa por la acción enzimática que tiene lugar en el aparato digestivo de los insectos con digestión alcalina (Larrión, 2010).

Objetivos Generales

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

Evaluar la incidencia y severidad de pudrición de mazorca por *Fusarium* en maíz genéticamente modificado.

Hipótesis

El maíz genéticamente modificado controlará al gusano elotero *Helicoverpa zea*; la plaga blanco de las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis* insertadas en el maíz genéticamente modificado e indirectamente reducirá la severidad de pudrición de mazorca.

REVISIÓN DE LITERATURA

El Cultivo de Maíz

Generalidades

Una de las principales características del maíz es su enorme variabilidad, ya que, a diferencia de otros cereales cultivados, esta especie no se autopoliniza, sino que las flores de una planta polinizan las de otras; en la medida que cada inflorescencia da origen a una mazorca, está formada por varias flores pequeñas y cada una de ellas puede ser polinizada por las de distintas plantas, la variación que tienen sus granos puede llegar a ser muy grande, dependiendo de las plantas en sus inmediaciones. Esto proporciona al maíz una gran diversidad genética, y por tanto, una riqueza de caracteres que resultan interesantes para este cultivo en ciertas condiciones (Carrillo, 2008).

El maíz es la planta más estudiada por el hombre, la de mayor diversidad, no sólo genética, sino también de usos. Éste cereal ha evolucionado por selección natural, por la realizada por los agricultores mejoradores durante miles de años y por los mejoradores profesionales en los últimos 150 años (Muñoz, 2003).

La amplia diversidad del maíz, se puede atribuir, entre otros factores, a la selección realizada por el hombre desde la domesticación de esta planta, así como a los numerosos nichos ecológicos y los efectos ambientales que cada condición climática ejerce sobre las poblaciones para determinar la adaptación de estas (Carballoso *et al.*, 2000).

Descripción botánica

El maíz presenta las siguientes diferencias sustantivas con respecto a otros cereales (Box, 2005).

Morfología:

Raíz. La planta de maíz desarrolla un aparato vegetativo muy importante. Su sistema radicular es fasciculado y a diferencia de otros cereales, desarrolla un tercer sistema de raíces aéreas o adventicias que nacen por encima del nivel del suelo, cuando la planta alcanza una altura de 60-70 cm y que sirve para sujetar la planta al suelo, ya que los otros dos sistemas de raíces, a pesar de ser bastante desarrollados, no ejercen una buena fijación de la planta al suelo.

Tallo. Generalmente único, es una caña maciza, cuyo diámetro va disminuyendo hacia el ápice y está constituido por una sucesión de nudos y entrenudos, cilíndricos en la parte superior y ligeramente aplastados en la parte inferior, con escotaduras en los centros de los entrenudos inferiores. Alcanza una altura de 1.5-3 m y el diámetro medio del tallo es de 3-4 cm.

Hojas. Son alternas, rectinervias, formando un número total de 15 a 20 a lo largo. Tienen un limbo grande de 35-80 cm de largo y 4-10 cm de ancho, con una vaina muy envolvente y una lígula corta y ciliada, ausente en algunas variedades botánicas.

Inflorescencia. El maíz es una planta monoica con dos tipos de inflorescencias: la inflorescencia masculina es una panícula más o menos ramificadas, situada al final del tallo, formada por varios ejes sobre los que se insertan pares de espiguillas con dos flores, cuyos pistilos han abortado y la inflorescencia femenina constituida por flores agrupadas sobre una o varias espigas insertas en la axila de las hojas inferiores del tallo. Dichas espigas se denominan mazorcas y se unen al tallo mediante un pedúnculo de longitud variable según la variedad, y están envueltas por las espigas, que son hojas transformadas sin limbo. La mazorca está constituida por un raquis engrosado (zuro/olote) sobre el que se insertan dos espiguillas bifloras por nudo, de las cuales sólo la superior es fértil. Los estambres de ésta flor han abortado y su ovario porta un largo estilo, denominado seda.

La mazorca. De forma alargada y cilíndrica, varía sus dimensiones en función de las variedades y condiciones de alimentación de la planta. La fecundación es alógama (cruzada), generalmente el grano de polen madura antes que el estigma de la flor femenina sea receptivo.

El fruto. Es una cariósida desnuda de forma globosa (variedades autóctonas) o aplastada (híbridos). Cien granos pesan entre 100 y 300 g., su color puede ser variable como amarillos, blancos, violáceo, etc., y viene determinado por el tipo de polen que fecunda. Las características físico-químicas del grano, forma y composición, son los caracteres básicos utilizados para diferenciar las variedades botánicas.

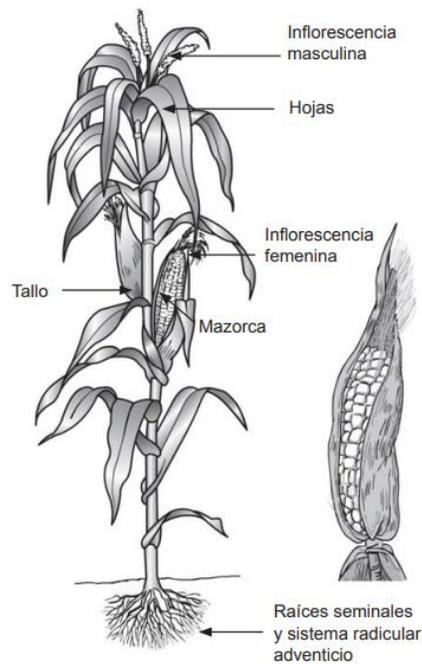


Figura 1. Estructura de la planta de maíz *Zea mays*
(Fuente: Granos básicos, manual del protagonista, 2017)

Importancia del maíz en México

El maíz es uno de los principales cultivos de México debido entre otros factores a que juega un rol importante en la dieta de los mexicanos, la fuente principal de abastecimiento de este grano en el mercado nacional proviene de alrededor de 2.6 millones de pequeños productores que cultivan este cereal en superficies menores a

cinco hectáreas y además representa uno de los pilares fundamentales para la seguridad alimentaria de las familias rurales (Jaramillo *et al.*, 2018). En el norte de México, en estados como Sinaloa y Tamaulipas y algunas zonas del Altiplano o el Bajío, su cultivo se lleva a cabo en parcelas de gran extensión, en una agricultura tecnificada con muchos insumos, tales como semilla mejorada, fertilizantes químicos y pesticidas. En el centro y sur, se cultiva en parcelas más pequeñas, con menos insumos y en el contexto de una agricultura diversificada de milpa en donde el maíz es acompañado comúnmente por frijol, chayote, calabacitas y hierbas comestibles o quelites (Álvarez y Piñeyro, 2009). En el año agrícola 2018 la superficie sembrada de maíz en México fue de 7, 345,786 hectáreas, con una producción de 21,185, 003 toneladas y con un rendimiento promedio nacional de 3.915 Ton/ha (SIAP, 2018).

Gusano Elotero *Helicoverpa zea*

Generalidades

El gusano elotero *Helicoverpa zea* (Boddie) (Lepidoptera: Noctuidae) afecta la calidad de la mazorca de maíz al consumir sus granos. La actividad alimentaria de las larvas causa daños directos, siendo el principal, el consumo de los granos que se encuentran en el tercio superior de la mazorca, y daños indirectos al favorecer el ingreso de patógenos y otros insectos (Oses, 2019).

La hembra de *H. zea* puede desovar de 500 a 3,000 huevos, con un promedio cercano a los 1,000 huevos por hembra. La hembra deposita normalmente uno, o a veces pequeños grupos de huevos en los estilos estigmatizados turgentes (pelos) de las mazorcas del maíz. Aunque una mazorca puede ser colonizada por más de una larva, debido a que son caníbales, normalmente sólo una sobrevive. Su capacidad de entrar en diapausa facultativa (etapa de receso) es una estrategia que le permite sobrevivir durante el invierno. En éste caso, ésta habilidad es facultativa ya que las larvas pueden o no entrar en receso (Chorbadjian, 2003).

Descripción taxonómica

El gusano elotero *H. zea* pertenece a la familia Noctuidae. Hardwick (1965), separa ésta especie taxonómicamente del género *Heliothis* al complejo del “gusano elotero” de maíz; *Heliothis zea* (Boddie), *H. armigera* (Hübner), *H. obsoleta* (Fabricius) y *H. gelotopon* (Dyar), y los incluye en el género *Helicoverpa*, porque las estructuras de los órganos genitales de los machos de *Helicoverpa* poseen vesica alargada, helicoidal con numerosas vueltas y está provista de dentículos; en *Heliothis* es relativamente pequeña, con una o dos vueltas y sin dentículos; en hembras, *Helicoverpa*, el apéndice bursae es considerablemente más largo que la bursa y más estrecho; en *Heliothis* éste es ligeramente más largo que la bursa y de diámetro más o menos uniforme.

Clasificación taxonómica de *H. zea*

Phylum.....Arthropoda
Clase.....Hexápoda
Orden.....Lepidoptera
Suborden.....Frenatae
Familia.....Noctuidae
Género.....*Helicoverpa*
Especie.....*H. zea* (Boddie)

Huevecillo

Los Huevecillos son de forma esférica de color blanco cremoso al principio y café oscuro próximos a la eclosión con su base aplanada y con presencia de estrías longitudinales (Castro, 2015).



Figura 2. Huevecillos del gusano elotero *Helicoverpa zea*
(Fuente: University of Georgia Archive, Bugwood.org)

Larvas

Guzmán *et al.* (2016) describen las siguientes características de los estadios larvales del gusano elotero:

Estadio larval 1 (L1): El aparato digestivo es muy notorio, el último segmento abdominal es de color negro y tiene un punto negro en medio de dos anillos que tiene en los primeros segmentos del cuerpo.



Figura 3. Estadio larval 1 del gusano elotero *H. zea*
(Fuente: Identificación de estadios larvales de lepidópteros, plaga del maíz, 2016)

Estadio larval 2 (L2). La larva se va tornando de color marrón en todo su cuerpo. Con el paso del tiempo, la larva se oscurece y hace visibles sus tubérculos.



Figura 4. Estadio larval 2 del gusano elotero *H. zea*

(Fuente: Identificación de estadios larvales de lepidópteros, plaga del maíz, 2016)

Estadio larval 3 (L3). A su inicio, las larvas desarrollan manchas blancas en el costado. La larva desarrolla dos bandas blancas en el dorso.



Figura 5. Estadio larval 3 del gusano elotero *H. zea*

(Fuente: Identificación de estadios larvales de lepidópteros, plaga del maíz, 2016)

Estadio larval 4 (L4). Se torna más oscura, los tubérculos se hacen cónicos y desarrolla tres bandas blancas en su dorso.



Figura 6. Estadio larval 4 del gusano elotero *H. zea*
(Fuente: Identificación de estadios larvales de lepidópteros, plaga del maíz, 2016)

Estadio larval 5 (L5). Se torna más clara, mientras que la banda longitudinal en su dorso se oscurece. Los tubérculos de esta larva se decoloran.



Figura 7. Estadio larval 5 del gusano elotero *H. zea*
(Fuente: Identificación de estadios larvales de lepidópteros, plaga del maíz, 2016)

Estadio larval 6 (L6). Tubérculos poco visibles, y sobresale la línea dorsal longitudinal.



Figura 8. Estadio larval 6 del gusano elotero *H. zea*
(Fuente: Identificación de estadios larvales de lepidópteros, plaga del maíz, 2016)

Pupa

La pupa se caracteriza por ser de tipo obtecta de aproximadamente 2.0 cm de longitud, es de color café y se encuentra en el interior del suelo dentro de una pequeña celda de tierra que la misma larva construye (Castro, 2015).



Figura 9. Pupa tipo obtecta del gusano elotero *H. zea*
(Fuente: Pest identification *Helicoverpa zea*, 2014)

Adulto

Adulto (macho) ♂

El macho de *H. zea* se caracteriza por ser de tonalidad más clara que la hembra. Adicionalmente, tiene dos puntos oscuros en sus alas anteriores (Guzmán *et al.*, 2016).



Figura 10. Adulto macho del gusano elotero *H. zea*

(Fuente: Identificación de estadios larvales de lepidópteros, plaga del maíz. 2016)

Adulto (hembra) ♀

La hembra se caracteriza por tener coloración más oscura que el macho. Además, en sus alas anteriores, presenta pigmentos de forma transversal (Guzmán *et al.*, 2016).



Figura 11. Adulto hembra del gusano elotero *H. zea*

(Fuente: Identificación de estadios larvales de lepidópteros, plaga del maíz, 2016)

Biología y hábitos

Los huevecillos son depositados uno a uno en los estigmas del jilote y eclosionan dos o tres días después. A pesar de que puede haber decenas de huevecillos por jilote, al final, generalmente, sólo queda una larva, ya que las larvas del tercer periodo son de hábitos caníbales, la que sobrevive se alimenta de los granos en formación. Las larvas pequeñas tienen la cabeza de color negro y el resto del cuerpo de color blanco hialino (cristalino), con numerosas cerdas; en la tercera fase son predominantemente de color café y en ocasiones son de color verde con líneas longitudinales blancas, amarillas o de color crema; al final de su desarrollo pueden medir alrededor de 3.5 cm de largo. El periodo larval dura un promedio de 16 días y la etapa de pupa transcurre en nueve días aproximadamente, en las condiciones predominantes de fines de primavera en el norte de Sinaloa. Los adultos son palomillas de color café cobrizo con marcas irregulares más oscuras en las alas anteriores y miden 2.5 cm de largo y más de 3 cm de extensión alar (García *et al.*, 2012).

Distribución

El gusano elotero *H. zea* es nativa de América del Norte, aunque su origen es incierto (Capinera, 2001). La distribución de este insecto es mundial (Ortega, 1987). Hill (1983) reportó que *H. zea* tiene hábitos migratorios y se encuentra distribuida en América del Norte, Central, y del Sur, el Caribe y Hawái entre los 40° de latitud norte y 40° de latitud Sur.

Importancia económica

La actividad alimentaria de las larvas causa daños directos, las larvas en los primeros estadios se alimentan de los pistilos, siendo el principal el consumo del grano lechoso que se encuentran en el tercio superior de la mazorca e ingresa al interior para iniciar la alimentación y daños indirectos al favorecer el ingreso de patógenos y otros insectos (Catalán, 2012; Tulli *et al.*, 2016). Al completar su desarrollo las larvas abandonan la mazorca perforando las brácteas y dejando un agujero que sirve de entrada a la mosca *Euxesta* spp. Leow (Diptera;

Otitidae=Ulidiidae) y hongos que ocasionan pudriciones por completo a la mazorca. Estos daños indirectos de la plaga son más destructivos que los causados por la larva, especialmente si el daño es abundante en temporada de lluvias (Catalán, 2012).

En el estado de Sinaloa, los daños causados por el insecto son del 70%, se presentan en abril y mayo (30 °C), coincidiendo con la presencia de los estigmas en el cultivo. Se puede estimar en siembras de primavera–verano, daños del fruto que pueden superar 10 por ciento de la producción, tomando en cuenta que el promedio de producción de maíz en Sinaloa es de 10 toneladas por hectárea, con un precio base de 2,200 pesos por tonelada; valorando pérdidas de una tonelada por hectárea, esto equivale a reducir las ganancias en 2,200 pesos/ha. En infestaciones severas los estigmas pueden ser cortados por completo, los estadios inmaduros pueden encontrarse alimentándose a lo largo del elote, la reducción del rendimiento es elevada si el daño inicia temprano durante el desarrollo del cultivo (Cortez-Mondaca, 2007, citado por García *et al.*, 2012).

Hospederos

Las larvas de *H. zea* consumen preferentemente estructuras ricas en nitrógeno como son los frutos, yemas y botones florales de numerosas especies vegetales, dentro de los cuales se puede mencionar maíz, tomate, alfalfa, arándano, arveja, haba, frijol, garbanzo, frutilla, clavel y tabaco. A pesar de que la expresión de las preferencias de ataque está altamente determinada por la disponibilidad temporal de alimento, el maíz es su hospedero preferido (Chorbadjian, 2003).

Estrategias de Control del Gusano Elotero

Métodos de control

Una de las principales plagas limitantes en la producción del cultivo de maíz es el gusano elotero *H. zea* ya que provoca daño en el desarrollo de la planta y por ende reduce el rendimiento. El control más usado para esta plaga son los insecticidas

químicos; la principal desventaja de su uso ha sido la contaminación al ambiente y la resistencia (Hernández *et al.*, 2019).

Control cultural

Existen diferentes prácticas culturales como la selección de variedades y fechas de siembra, donde el objetivo principal es desplazar el momento de la floración del maíz con la época de mayor incidencia de la plaga. Otra práctica es el barbecho profundo, cuya finalidad es exponer las pupas a la intemperie y a la vista de depredadores naturales como las aves (INTAGRI, 2017).

Control biológico

El control biológico es considerado una alternativa viable y segura para el ambiente (Cano *et al.*, 2004) éste se basa en utilizar organismos vivos sobre insectos plaga (Carreras, 2011) como la bacteria entomopatógena *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bacillales: Bacillaceae), que produce proteínas insecticidas durante su esporulación (genes Cry) específicas para lepidópteros, como el gusano elotero (González *et al.*, 2015).

Otra estrategia es el uso de hongos entomopatógenos, como *Metarhizium anisopliae* (Metchnikoff) Sorokin (Clavicipitaceae) para el control de *H. zea*, la cual causa en el insecto la pérdida de movilidad y coordinación, cese de alimentación, provocándole finalmente la muerte (Ángel *et al.*, 2015).

Control con feromonas sexuales

Las feromonas sexuales son sustancias químicas emitidas por las hembras para atraer a los machos para el apareamiento. Las feromonas se usan en el manejo integrado de plagas para el monitoreo, trampeo masivo e interrumpir el apareamiento (Shani, 1998).

Se recomienda el uso de feromonas sexuales como; (Z)-9-hexadecenal + (Z)- 11-hexadecenal para *H. zea* como una herramienta más para mejorar el monitoreo y control de esta plaga. En parcelas donde se han utilizado feromonas se ha encontrado mazorcas con menos daño, así como una disminución de la población de larvas, esto debido a la disminución de hembras fértiles, por la captura de los

machos en trampas con feromonas, evitando así el apareamiento. Al haber menos hembras fértiles, por consiguiente, hay menos masas de huevos y menos larvas en campo (Kuniyoshi, 2002).

Control químico

Debido a la necesidad de tener alimentos del campo con calidad suficiente para alimentar a la sociedad, desde hace varias décadas se han usado productos químicos para mitigar daños causados por plagas de insectos en cultivos de primera necesidad (James y Xu, 2012).

Para el control químico de *H. zea* están los principios activos registrados como el Carbaryl, Deltametrina, Endosulfan, Metomil, Lambdacihalotrina y Permetrina. Se recomienda realizar la primera aplicación al aparecer los estigmas y una segunda aplicación 7 días después. El uso de trampas de luz o de feromonas facilita establecer la fecha de tratamiento (Flores, 2010). Para el control del gusano elotero en maíz de temporal se utiliza los insecticidas Carbaryl con una dosis de 1.5 kg/ha y Metomil a 0.4 kilogramos por hectárea (Mandujano, 2017).

Putridión de la Mazorca de Maíz

Generalidades

Varios hongos y algunas bacterias infectan las mazorcas y los granos causando su pudrición y muchos de los patógenos que participan en la pudrición del tallo también son responsables por la pudrición de las mazorcas. La pudrición de la mazorca y de los granos puede ser causada por el hongo *Fusarium moniliforme* J. Shield. (= *F. verticillioides*). Los barrenadores del maíz y los gusanos de la mazorca contribuyen al establecimiento del patógeno sobre los granos y se puede ver el moho creciendo en las galerías hechas por los insectos. Los granos infectados al final de la estación pueden no tener moho y mostrar solo unas rayas en el pericarpio. Ésta pudrición se difunde rápidamente en los ambientes tropicales y los granos infectados con *Fusarium* se pueden encontrar en lotes de mazorcas de maíz limpias (Paliwal *et al.*, 2001).

El género *Fusarium* en Maíz

Fusarium proliferatum (Matsushima) Nirenberg, *F. subglutinans* (Wollenweb. y Reinking) Nelson, Toussoun y Marasas y *F. verticillioides* (Sacc.) Nirenberg (sinónimo: *F. moniliforme*) son causas conocidas de pudrición del grano en el maíz en todo el mundo. En México, sólo *F. verticillioides* y *F. subglutinans* han sido reportados previamente como agentes causales de ésta enfermedad (Morales *et al.*, 2007).

F. verticillioides es el principal patógeno del cultivo y limitante de la productividad porque ocasiona pérdidas cuantiosas. Las rutas de entrada y colonización del patógeno pueden ser por Infección sistémica de las plántulas, esto ocurre durante y desde la germinación de la semilla, y a lo largo del establecimiento de la plántula. Como el hongo sobrevive ya sea en la semilla o en el suelo, se encuentra estratégicamente posicionado para infectar a la planta. La vía más común para que *F. verticillioides* infecte a la mazorca es a través del estigma. Lo anterior sucede cuando el inóculo aéreo y las conidias son transportadas por el agua de la lluvia y se depositan en el estigma. Otra vía de infección es el daño mecánico en tallo y mazorcas producidas por insectos al alimentarse, perforando los tallos y mazorcas permitiendo la entrada del patógeno (De la Torre *et al.*, 2014).

Descripción taxonómica de *Fusarium*

El género *Fusarium* pertenece al filo Ascomycota, Clase Ascomycetes, Orden Hypocreales. El enfoque principal para la clasificación de *Fusarium* es la morfología, y el rasgo principal para las especies en el género *Fusarium* es la aparición de esporas asexuales. El género *Fusarium* puede producir varios tipos de elementos que le permiten propagarse en la naturaleza, macroconidias, microconidias y clamidosporas, que pueden estar todos presentes en algunas especies, mientras que no lo están en otras. Las características morfológicas de estos elementos se han tenido en cuenta para realizar la taxonomía de las distintas especies (Fig. 12) (Moretti, 2009).

Clasificación taxonómica del género *Fusarium*

Phylum.....Ascomycota

Clase.....Ascomycetes

Orden.....Hypocreales

Género.....*Fusarium*

Especies..... *F. verticillioides*, *F. oxysporum*, *F. solani*, etc.

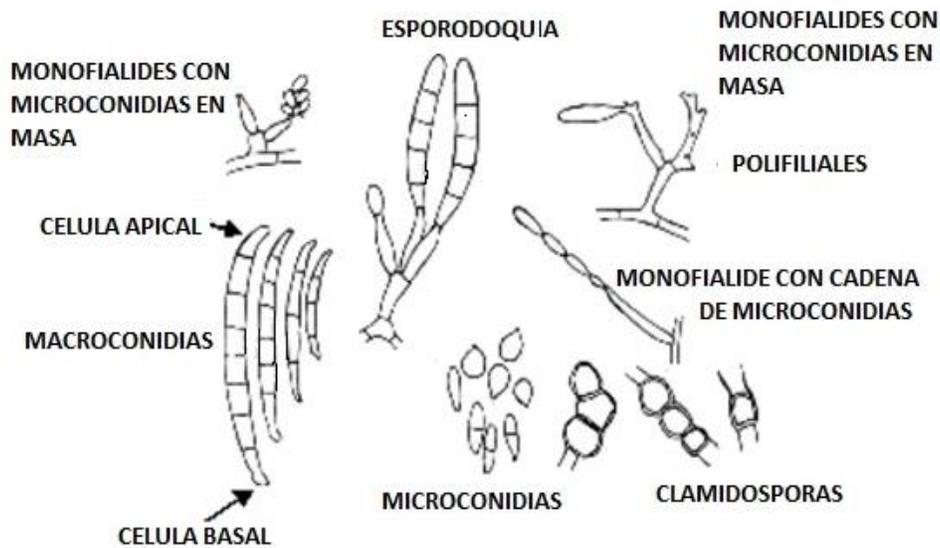


Figura 12. Características morfológicas microscópicas del género *Fusarium* spp.

(Fuente: Infecciones causadas por el género *Fusarium*, 2009)

Importancia económica

Entre las enfermedades de importancia económica se destaca la pudrición de mazorca causada por *Fusarium*, ya que causa pérdidas de rendimiento de 23 a 30% (González *et al.*, 2007). En los municipios de Ahome, Culiacán y Elota en el Estado de Sinaloa se ha encontrado a *F. verticillioides* como la especie de *Fusarium* predominante presente en mazorcas de maíz (Félix *et al.*, 2018).

La pudrición de los granos generalmente comienza en la fase de llenado de granos y se presenta en campo como en almacenamiento. Normalmente sobre los granos en pudrición se forma una especie de lanosidad de color blanquecino a lila que corresponde al signo de la enfermedad (Fig. 13), esta lanosidad está formada por las

estructuras del hongo, es decir, micelio, conidióforos y esporas o conidios (Fig. 14). El agente causal *Fusarium* primeramente causa pérdidas directas en la producción, y en segundo, producen la acumulación de micotoxinas en los granos (Coca, 2011).

Las micotoxinas más frecuentes y tóxicas producidas por *Fusarium* son las fumonisinas y los tricotecenos, siendo el maíz uno de los principales cereales afectados por este grupo de toxinas, aunque este género también sintetiza otras importantes como las zearalenonas (Cruz, 2016; Santillán *et al.*, 2017). Las micotoxinas causan enfermedades agudas o crónicas en humanos y animales, aún en concentraciones muy bajas, medidas en miligramos por kilogramo o por tonelada de grano. Las micotoxinas no solo afectan la salud de los consumidores, sino que también producen pérdidas económicas asociadas a la reducción del rendimiento, el valor de los granos, la productividad animal y a los costos en salud humana (Presello *et al.*, 2016).



Figura 13. Síntomas típicos de pudrición de la mazorca causada por *Fusarium* sp.

(Fuente: Fusariosis del maíz, 2011)



Figura 14. Micelio (flecha verde), conidióforo (flecha blanca), y conidias (flechas rojas) de *Fusarium* sp.

(Fuente: Fusariosis del maíz, 2011)

Distribución

El hongo *F. verticillioides* es capaz de colonizar alrededor de 1,000 especies de plantas, entre las cuales una de las más importantes es el maíz debido a su uso alimenticio. La pudrición de la mazorca, se encuentra entre las enfermedades más importantes a nivel mundial, se presenta principalmente en los países de África, América y Asia (Bacon y Yates, 2006; Pérez, 2014).

En Sinaloa, en el ciclo agrícola de primavera-verano se ha observado que los daños provocados por el gusano elotero *H. zea* ocasionan fuertes pudriciones producidas por algún tipo de patógeno como *Fusarium* que afectan la calidad del elote y el rendimiento del grano. Lo anterior quizás debido a las condiciones ambientales que prevalecen en esa época de siembra favoreciendo su desarrollo y abundancia (Cortez *et al.*, 2009; García *et al.*, 2010; Camacho *et al.*, 2012).

El género *Fusarium* como agente causal de enfermedades en el maíz

La siembra repetitiva del cultivo del maíz efectuada a través de los años, ha favorecido la proliferación de enfermedades como la pudrición de tallos y la pudrición de mazorcas, atribuidas principalmente a *Fusarium spp*, las cuales representan un potencial de riesgo y han alertado al productor a poner mucha atención en el manejo del cultivo (López *et al.*, 2014).

Las especies de *Fusarium* sobreviven muy bien en rastrojos de maíz, como micelio u otras estructuras. *F. verticillioides* puede producir hifas especiales con capacidad para sobrevivir. *F. verticillioides* puede infectar a la planta de maíz a través de inóculo en el ambiente (suelo, restos vegetales, aire) y también a través de semillas contaminadas. Se ha encontrado que *F. verticillioides*, *F. proliferatum*, y *F. subglutinans* pueden sobrevivir por más de 500 días en residuos de maíz. Las especies de *Fusarium* más importantes en semilla de maíz son las mencionadas anteriormente. De manera general, se puede afirmar que la mayoría de los patógenos de semilla del maíz son los mismos que causan las pudriciones de raíz y tallo y las pudriciones de la espiga del maíz y los que generan micotoxinas en granos

y semillas. Por lo tanto proteger al maíz desde su semilla favorece a la protección del cultivo (Carmona y Scandiani, 2010).

Organismos Genéticamente Modificados

Generalidades

Los organismos genéticamente modificados (OGM's) y en particular los cultivos genéticamente modificados (GM), son el resultado de la modificación de la información genética de una especie a partir del uso de la biotecnología moderna para proporcionar nuevas características que su contraparte no modificada o no posee, tales como resistencia a insectos, tolerancia a herbicidas, contenido de nutrientes entre otros. Hay cerca de 31 productos transgénicos que se comercializan con autorización. Entre ellos se encuentran los siguientes: soya *Glycine max* L. (Fabaceae), maíz *Z. mays*, canola *Brassica napus* L. (Brassicaceae), algodón *Gossypium hirsutum* L. (Malvaceae), papa *Solanum tuberosum* L. (Solanaceae), alfalfa *Medicago sativa* L. (Fabaceae) y jitomate *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae), y los principales países productores son Estados Unidos, Brasil, Argentina, India y Canadá (Esquivel *et al.*, 2018; Guerrero *et al.*, 2018).

Adopción y situación actual de los cultivos genéticamente modificados

En el 2018 el total de países que sembraron cultivos biotecnológicos fueron 26 países (21 países en vías de desarrollo y 5 países industrializados) con un total de 191.7 millones de hectáreas sembradas, lo que supuso un incremento de 1.9 millones de hectáreas respecto a 2017. En países pioneros en la siembra de estos cultivos (Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá e India) las tasas de adopción de los principales cultivos están en niveles cercanos al 100%, lo que indica que los agricultores prefieren esta tecnología en lugar de las variedades convencionales (ISAAA, 2018).

Cultivos genéticamente modificados con resistencia a insectos

El primer reporte sobre el desarrollo de una planta transgénica resistente al ataque de un insecto plaga apareció en 1987. La planta fue el tabaco, la plaga, el gusano de cuerno del tabaco *Manduca sexta* L. (Lepidoptera: Sphingidae), y la proteína que confería la resistencia, la δ -endotoxina proveniente de la bacteria *B. thuringiensis*. A partir de entonces se han desarrollado innumerables plantas transgénicas resistentes a plagas (Ibarra y Del Rincón, 2015).

Los cultivos genéticamente modificados como el algodón, el maíz, el tomate y la papa se les ha transferido exitosamente genes de *B. thuringiensis* el cual les confiere resistencia a insectos, unos pocos cultivos han sido liberados con la característica de resistencia a virus como la papaya, la papa y la calabaza, usando genes derivados de los mismos virus (Giraldo, 2011). La expresión de toxinas Bt en cultivos transgénicos tiene varias ventajas, por ejemplo; el nivel de la expresión de toxinas puede ser muy elevado, por lo que se suministra una dosis adecuada a la plaga. Como la expresión de toxinas está dentro del sistema de la planta, solo perecen aquellos insectos que se alimentan de ella. La expresión de toxinas puede ser modulada por medio de promotores específicos de tejido, y puede reemplazar el uso de plaguicidas sintéticos en el medioambiente. Esto último ha sido bien documentado de manera global (Rodríguez, 2018).

Maíz genéticamente modificado

Los transgénicos son organismos que tienen en su material genético genes que de forma natural no podrían entrar a su acervo (Piñero, 2001). El maíz genéticamente modificado, que expresa la toxina de *B. thuringiensis* Cry1Ab es sólo moderadamente tóxica para *H. zea* y se ha plantado comercialmente desde 1996 (Reisig y Reay, 2015). Los híbridos de maíz que contienen eventos apilados (Bt + Tolerancia a herbicidas) representan una mejora sobre los que contienen sólo eventos Bt (Trigo, 2016).

El maíz *Bt* ha demostrado otorgar múltiples beneficios, además del control efectivo de las plagas para el cual fueron desarrollados. Estos diversos beneficios han impactado en forma positiva directa e indirectamente sobre los productores, el medioambiente y los consumidores. Entre algunos de los beneficios se puede mencionar la disminución en el uso de insecticidas químicos (Flores y Parodi, 2011). Además, ofrecen la ventaja complementaria de contener menos cantidad de fumonisinas que los maíces dañados por los insectos. Las fumonisinas son toxinas producidas por hongos, que infestan al maíz por las galerías que los insectos abren en las plantas. Con ello se ofrece una mayor seguridad para el consumidor, puesto que se considera que esta micotoxina es cancerígena para el ser humano (Gutiérrez, 2012).

Control de lepidópteros plaga con maíz genéticamente modificado

Los maíces genéticamente modificados, resistentes a insectos, expresan toxinas obtenidas a partir de la bacteria nativa del suelo *B. thuringiensis* con toxicidad selectiva contra insectos lepidópteros, durante su fase de esporulación produce una inclusión parasporal, conformada por proteínas Cry con actividad biológica contra éstos insectos plaga (Portela *et al.*, 2013; Szwarc y Almada, 2015).

Maíz genéticamente modificado evento Agrisure™ 3000 GT

En el año de 2007 se desarrolló Agrisure® 3000GT, un híbrido de maíz de triple pila que protege contra el barrenador del maíz y el gusano de la raíz del maíz, al tiempo que proporciona tolerancia a las aplicaciones en temporada de ciertos herbicidas. Incluye rasgos que son propiedad de diferentes compañías y es comercializado por Syngenta a través de un acuerdo de licencia con Monsanto (Ezezika *et al.*, 2012).

Agrisure™ 3000 GT presenta tolerancia a los herbicidas glufosinato y glifosato, y resistencia a los insectos del orden coleóptera y lepidóptera (Cuadro 1) (ISAAA, 2019).

Cuadro 1. Resumen de la modificación genética básica de Agrisure™ 3000 GT.

Gene introducido	Fuente del gen	Producto	Función
Cry1ab	<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. kurstaki	Cry1Ab delta-endotoxin	Confiere resistencia a los insectos lepidópteros al dañar selectivamente su revestimiento del intestino medio.
Palmadita	<i>Streptomyces viridochromogenes</i>	Enzima fosfinotricina N-acetiltransferasa (PAT)	Elimina la actividad herbicida de los herbicidas glufosinato (fosfinotricina) por acetilación.
Mcry3A	Forma sintética del gen cry3A de <i>Bacillus thuringiensis</i> subsp. tenebrionis	endotoxina delta Cry3A modificada	Confiere resistencia a los insectos coleópteros, particularmente a las plagas del gusano de la raíz del maíz al dañar selectivamente su revestimiento del intestino medio
pmi	<i>Escherichia coli</i>	La enzima fosfomanosa isomerasa (PMI)	Metaboliza la manosa y permite una selección positiva para la recuperación de plantas transformadas
mepsps	<i>Zea mays</i>	enzima 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate sintasa modificada (EPSPS) modificada	confiere tolerancia a los herbicidas de glifosato

Maíz genéticamente modificado evento Agrisure® Viptera™ 3110

El Viptera™ 3110 Presenta tolerancia a los herbicidas glufosinato y glifosato, y resistencia a insectos lepidópteros (Cuadro 2) (ISAAA, 2019).

Cuadro 2. Resumen de la modificación genética básica de Agrisure® Viptera™ 3110.

Gene introducido	Fuente del gen	Producto	Función
Cry1Ab	<i>Bacillus thuringiensis</i> sub sp. kurstaki	Cry1Ab delta-endotoxin	Confiere resistencia a los insectos lepidópteros al dañar selectivamente su revestimiento del intestino medio.
Vip3Aa20	<i>Bacillus thuringiensis</i> cep a AB88	Proteína insecticida vegetativa (variante vip3Aa)	Confiere resistencia al daño alimenticio causado por los insectos lepidópteros al dañar selectivamente su intestino medio.
Palmadita	<i>Streptomyces viridochromogenes</i>	Enzima fosfinotricina N-acetiltransferasa (PAT)	Elimina la actividad herbicida de los herbicidas glufosinato (fosfinotricina) por acetilación.
pmi	<i>Escherichia coli</i>	La enzima fosfomanosa isomerasa (PMI)	Metaboliza la manosa y permite una selección positiva para la recuperación de plantas transformadas.
mepsps	<i>Zea mays</i>	enzima 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate sintasa modificada (EPSPS) modificada	Confiere tolerancia a los herbicidas de glifosato.

Maíz genéticamente modificado evento Agrisure® Viptera™ 3111

El maíz Agrisure® Viptera™ 3111 posee dos genes Bt, Vip3A y Cry1Ab, dirigidos a las plagas de lepidópteros por encima del suelo (Yang *et al.*, 2015). Presenta tolerancia a los herbicidas glufosinato y glifosato, y resistencia a insectos coleópteros (Cuadro 3) (ISAAA, 2019).

Cuadro 3. Resumen de la genética básica de Agrisure® Viptera™ 3111.

Gene introducido	Fuente del gen	Producto	Función
Cry1Ab	<i>Bacillus thuringiensis</i> su bsp. <i>kurstaki</i>	Cry1Ab delta-endotoxin	Confiere resistencia a los insectos lepidópteros al dañar selectivamente su revestimiento del intestino medio
Palmadita	<i>Streptomyces viridochromogenes</i>	Enzima fosfinotricina N-acetiltransferasa (PAT)	Elimina la actividad herbicida de los herbicidas glufosinato (fosfinotricina) por acetilación
Mcry3A	Forma sintética del gen cry3A de <i>Bacillus thuringiensis</i> su bsp. <i>tenebrionis</i>	Endotoxina delta Cry3A modificada	Confiere resistencia a los insectos coleópteros, particularmente a las plagas del gusano de la raíz del maíz al dañar selectivamente su revestimiento del intestino medio
pmi	<i>Escherichia coli</i>	La enzima fosfomanosa isomerasa (PMI)	Metaboliza la manosa y permite una selección positiva para la recuperación de plantas transformadas
vip3Aa20	<i>Bacillus thuringiensis</i> cepa AB88	Proteína insecticida vegetativa (variante vip3Aa)	Confiere resistencia al daño alimenticio causado por los insectos lepidópteros al dañar selectivamente su intestino medio
mepsps	<i>Zea mays</i>	enzima 5-enolpiruvylshikimate-3-phosphate sintasa modificada (EPSPS)	Confiere tolerancia a los herbicidas de glifosato

Bacteria Entomopatógena *Bacillus thuringiensis*

Características de *Bacillus thuringiensis*

Es una bacteria Gram-positiva, aerobia estricta, que durante su ciclo de vida presenta dos fases principales: crecimiento vegetativo, donde las bacterias se duplican por bipartición, y esporulación, un programa de diferenciación de bacteria a espora. A *B. thuringiensis* se le caracteriza por producir un cuerpo paraesporal conocido como cristal durante su fase de esporulación, el cual es de naturaleza proteínica y tiene propiedades insecticidas. El cristal proteínico está constituido por proteínas denominadas d-endotoxinas también conocidas como proteínas Cry ó Cyt (Fig. 15). Se han encontrado d-endotoxinas son activas contra insectos lepidópteros (mariposas), coleópteros (escarabajos), dípteros (mosquitos), himenópteros (hormigas), ácaros y también contra otros invertebrados como nematodos, gusanos planos y protozoarios (Soberón y Bravo, 2007).

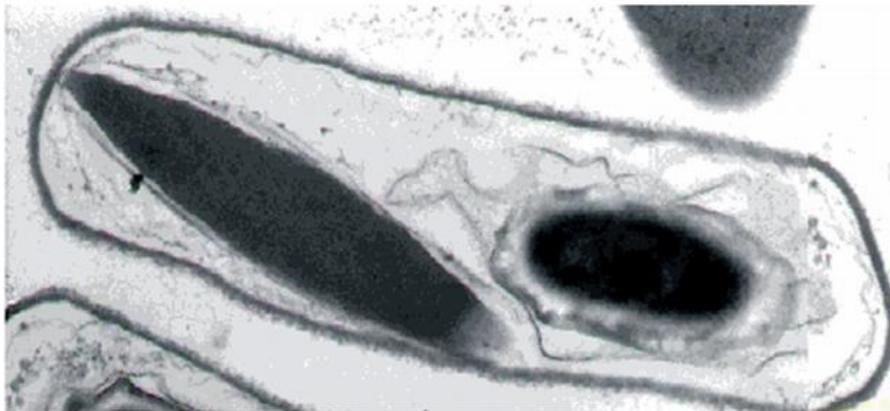


Figura 15. Microfotografía de *Bacillus thuringiensis* en microscopio electrónico de transmisión. Se muestra el cristal proteínico romboide compuesto de toxinas Cry y una espora.

(Fuente: Las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis*: modo de acción y consecuencias de su aplicación, 2007)

Modo de acción de *Bacillus thuringiensis*

El mecanismo de acción de las proteínas Cry se describió principalmente en lepidópteros como un proceso de múltiples etapas. Los cristales de *B. thuringiensis*

son ingeridos y luego solubilizados en el intestino medio del insecto, tras lo cual se liberan las proteínas cristalinas en forma de protoxinas. Estas no producirán el daño, sino que deberán ser procesadas por proteasas intestinales para generar las toxinas activas que llevarán a la muerte de la larva (Bravo *et al.*, 2004), Luego, de acuerdo con estudios realizados en cultivos de células de insectos, se inicia una cascada de señalización dependiente del ion magnesio que sería responsable de la muerte celular (Zhang *et al.*, 2006).

El mecanismo de acción de las proteínas Cry es un proceso de múltiples etapas. Los cristales de *B. thuringiensis* que pueden estar conformados de una o más proteínas Cry son ingeridos y luego solubilizados debido al pH alcalino presente en el intestino medio del insecto, tras lo cual se liberan las proteínas Cry en forma de protoxinas que carecen aún de actividad biológica. Estas condiciones alcalinas de pH con un rango de 8-11 se encuentran en los insectos lepidópteros (Fig. 16). Sin embargo, ciertas proteínas Cry requieren de condiciones neutras o ligeramente ácidas, como es el caso de las proteínas Cry3 cuyo efecto tóxico se genera en insectos coleópteros. Las proteínas Cry solubles producirán su efecto hasta ser procesadas por proteasas intestinales que generan toxinas activas, para ello es necesaria la escisión de péptidos tanto del extremo N- como del C- terminal. Posteriormente, se unirán a receptores de membrana de las células del intestino del insecto y formarán un poro que ocasiona un desequilibrio osmótico, lisis celular y la muerte del insecto (Federici *et al.*, 2006; Sauka y Benintende, 2008).

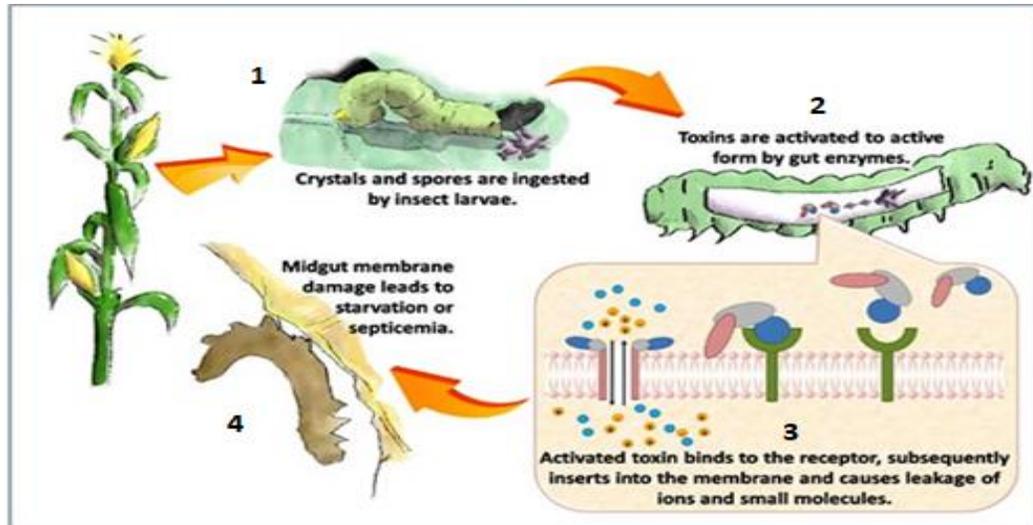


Figura 16. Modo de acción de proteínas Cry en insectos Lepidópteros.1) Cristales y esporas son ingeridos por las larvas de insectos; 2) Las enzimas intestinales activan las toxinas a su forma activa; 3) La toxina activada se une al receptor, posteriormente se inserta en la membrana y causa la fuga de iones y moléculas pequeñas; 4) El daño de la membrana del intestino medio conduce a inanición o septicemia.

(Fuente: Control microbiano de plagas y de poblaciones causantes de enfermedades, 2015)

Importancia de *Bacillus thuringiensis*

Las especies de *Bacillus* se encuentran ampliamente distribuidas a nivel mundial debido a su habilidad para formar endosporas, característica que les confiere resistencia y potencia su aislamiento en diversos hábitats, tanto ecosistemas acuáticos como terrestres, e incluso en ambientes bajo condiciones extremas (Tejera *et al.*, 2011), una de las importancias que tiene *B. thuringiensis* en la agricultura es que tiene la capacidad de combatir insectos plagas sin afectar el medio ambiente, y no generar reacciones adversas en el ser humano u otros seres vivo, se considera que el 80% de los productos biológicos utilizados en la agricultura son preparados con componentes de éste microorganismo (Portela *et al.*, 2013).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

La investigación se llevó a cabo en Oso Viejo, El Dorado y El Camalote, en la ciudad de Culiacán y en la ciudad de Navolato, en el estado de Sinaloa, durante las estaciones 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: Agrisure™ 3000 GT, que expresa las toxinas Cry1Ab y mCry3A; Agrisure® Viptera™ 3111, con la Cry1Ab, Vip3Aa20 y mCry3A y el Agrisure® Viptera™ 3110, que expresa las toxinas Cry1Ab y Vip3Aa20 los cuales se compararon con sus respectivos híbridos convencionales no modificados; 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). Las toxinas Cry1Ab y Vip3Aa20 confieren resistencia a insectos del orden Lepidoptera y la toxina mCry3A a insectos del orden Coleoptera; por lo cual los primeros dos híbridos son resistentes a Lepidoptera y Coleoptera y el último sólo 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 híbrido Bt (Cuadro 4).

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 éste año se establecieron 4 tratamientos, con 3 repeticiones, por cada híbrido Bt en ambas localidades (ver Cuadro 4).

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 4).

En todos los casos, 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 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 de insecticida por año 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 4).

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 4. Tratamientos usados para evaluar el daño en mazorca por gusano elotero 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
2012	Hibrido convencional	Oso Viejo	Sin aplicación de insecticida
	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	
2013	Hibrido convencional + i	Navolato	Permetrina- Lambda cyhalotrina- Benzoato de emamectina
	Hibrido convencional	Navolato	Sin aplicación de insecticida
	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

Se evaluó el daño por alimentación bajo infestación natural de *H. zea* en 10 mazorcas aleatorias en los 4 surcos centrales.

Daño en mazorca. Se midió la extensión de galería (cm) a partir de la punta de la mazorca hasta la extremidad de la lesión, utilizando una cinta métrica para esta actividad.

Número de mazorcas con daño. Se calculó el porcentaje de mazorcas con la presencia de la lesión (daño) por el gusano elotero.

Al final del ciclo productivo, antes de la cosecha, se contabilizaron 10 mazorcas de forma aleatoria entre los cuatro surcos centrales en cada repetición.

Incidencia de pudrición por *Fusarium*. Se evaluó la incidencia, entendido como el número de mazorcas que mostraron síntomas de la enfermedad, expresado en porcentajes.

Severidad de pudrición por *Fusarium*. Se evaluó la severidad, entendida como el porcentaje de la enfermedad (pudrición) del área total de la mazorca.

Análisis estadístico

Antes del análisis, los datos del porcentaje de mazorcas con daño, incidencia y severidad de pudrición se transformaron por raíz cuadrada de arcoseno. Se realizó un análisis de varianza para evaluar el daño en mazorca y el porcentaje de mazorcas con daño, y comparación entre medias de los tratamientos con una prueba de DMS de Fisher ($P < 0.05$), para la incidencia y severidad en 2011 se compararon las medias de los tratamientos con una prueba de Scheffé ($P < 0.05$) y en 2013 se compararon con una prueba de rango múltiple de Tukey ($p < 0.05$); en todos los casos utilizando el software estadístico SAS (SAS 2002; versión 9.0, SAS Institute, Cary, North Carolina, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación del daño por gusano elotero *Helicoverpa zea* en maíz transgénico con los eventos Agrisure™ 3000 GT y Agrisure® Viptera™ 3110 en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2011.

En la localidad de Oso Viejo (Cuadro 5), los organismos genéticamente modificados Agrisure™ 3000 GT y Agrisure® Viptera™ 3110, presentaron un porcentaje bajo de daño en la longitud de galerías (cm) producidas por *H. zea*, así como el porcentaje de mazorcas dañadas tanto en los tratamientos con y sin la aplicación de insecticidas, por otra parte en los híbridos convencionales de cada evento se presentó alto índice de daño.

En la longitud de galerías (cm) en el evento Agrisure™ 3000 GT con y sin la aplicación de insecticidas químicos es estadísticamente diferente con respecto a su híbrido convencional con y sin insecticida. Pero no hay una diferencia significativa entre los eventos genéticamente modificados con y sin insecticida, por lo cual que puede observar que la aplicación de insecticida no influye para que haya un mejor control del gusano elotero, debido a que éste va dirigido para el control del gusano cogollero *S. frugiperda*.

Para el caso del porcentaje de mazorcas con daño, en el evento Agrisure™ 3000 GT más insecticida y a su híbrido convencional más insecticida no presentaron diferencia significativa, con valores de 78.7 y 80.8% de las mazorcas con daño respectivamente ($P > 0.05$). Aunque el híbrido convencional sin insecticida presentó diferencia altamente significativa, 71.6% de mazorcas dañadas en comparación con el evento genéticamente modificado con y sin insecticida y con el convencional más insecticida.

En ése mismo año para el evento Agrisure® Viptera™ 3110 el análisis de resultados muestra una diferencia significativa entre el evento genéticamente modificado y el híbrido convencional con y sin aplicaciones en los parámetros de longitud de galerías

y mazorcas con daño. Pero no hay diferencia significativa entre el evento GM con y sin la aplicación de insecticidas, ni tampoco para su híbrido convencional con y sin insecticidas, esto en ambos parámetros.

En este año el evento Agrisure® Viptera™ 3110 fue el que presentó mejor protección contra el ataque de *H. zea* tanto en la longitud de galerías, así como en las mazorcas con daño en comparación al evento Agrisure™ 3000 GT el cual presentó mayor porcentaje galerías y mazorcas dañadas, esto debido a que el primer evento mencionado en su estructura genética expresa las toxinas Cry1Ab y Vip3Aa20 que le confieren resistencia a insectos del orden Lepidóptera y la mCry3A contra Coleópteros, mientras que el OGM Agrisure™ 3000 GT en su estructura genética solamente expresa dos toxinas; Cry1Ab y mCry3A, la primera para resistencia a insectos lepidópteros y la segunda para insectos coleópteros, por lo tanto el Agrisure® Viptera™ 3110 brinda una doble protección contra insectos lepidópteros. Éstos resultados son semejantes a un estudio realizado por Massoni *et al.*, (s.f.) en el cual encontraron que la tecnología maíz VT 2 Triple PRO® presentó una mejor protección contra *H. zea*, en el que se encontraron resultados de porcentaje de plantas con daño y porcentaje de granos dañados/espiga de 24,7%, 0,6%. Mientras que en la tecnología maíz (MGR2) se encontró 55,7%, 2,4% y en el testigo (convencional) 60,1%, 3,1% respectivamente. Esto debido a que VT 2 Triple PRO® incluye el evento MON89034 y MON88017, éste híbrido apilado expresa tres proteínas insecticidas y una proteína que confiere TG (tolerancia a glifosato). El MON89034 produce proteínas Cry1A.105 y Cry2Ab2, que son activos contra lepidópteros y MON88017 produce Cry3Bb1 con resistencia al gusano de la raíz del maíz *Diabrotica* spp. Chevrolat (Coleoptera: Chrysomelidae). Mientras que la tecnología maíz Gard® (MGR2), contiene los eventos NK603 x MON810, que expresan dos proteínas: CP4 EPSPS confiere tolerancia al glifosato (TG), y la delta-endotoxina Cry1Ab otorga resistencia al barrenador del maíz y a otros lepidópteros.

Cuadro 5. Longitud de galería y mazorcas con daño por el gusano elotero 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	Longitud de galería(cm) ^b	Mazorcas con daño (%) ^b
Agrisure™ 3000 GT	1.96 a	62.7 a
Agrisure™ 3000 GT + i	1.61 a	78.7 b
Hibrido convencional + i	4.47 b	80.8 b
Hibrido convencional	5.02 b	71.6 ab
	$F=10.40^{**}$	$F=2.66^*$
Agrisure® Viptera™ 3110	0.16 a	16.4 a
Agrisure® Viptera™ 3110 + i	0.19 a	24.2 a
Hibrido convencional + i	4.66 b	80.8 b
Hibrido convencional	5.02 b	71.6 b
	$F=35.65^{**}$	$F=19.39^{***}$

^ai=insecticida, ^bhíbridos genéticamente modificados y sus respectivos híbridos convencionales seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (ANVA y prueba de LSD; $P < 0.05$). *, **, *** Indican significancia contraste valor F a $P < 0.05$, $P < 0.01$, $P < 0.001$, respectivamente, $gl = 3, 15$.

Evaluación del daño por gusano elotero *Helicoverpa zea* en maíz transgénico con los eventos Agrisure® Viptera™ 3111 y Agrisure™ 3000 GT en El Dorado y Navolato, Sinaloa, en 2012.

El análisis de resultados ($P < 0.05$) en el año 2012 para el evento Agrisure® Viptera™ 3111 con y sin insecticida en el municipio de El Dorado y Navolato (Cuadro 6), muestra que el evento genéticamente modificado es menos susceptible al ataque por *H. zea*, ya que hay una diferencia estadística en relación a su híbrido convencional con y sin la aplicación de insecticidas, esto tanto en la longitud de galerías (cm), así como el porcentaje de mazorcas con daño, respecto al evento genéticamente modificado con y sin la aplicación de insecticida no se encontró una diferencia significativa entre ambos, de igual forma para su híbrido convencional con y sin insecticida éste no muestra diferencia estadística en ambos parámetros.

El evento Agrisure™ 3000 GT en la localidad de Navolato, de la misma manera que al evento Agrisure® Viptera™ 3111 presentó diferencias altamente significativa con respecto a su híbrido convencional con y sin aplicación de insecticidas tanto en la longitud de galerías (cm) como en el % de mazorcas con daño producidas por el gusano elotero. Cabe mencionar que el evento Viptera™ 3111 fue el que mejor protección presentó contra *H. zea* en ésta localidad. Para éste año se puede observar que los híbridos genéticamente modificados presentaron mejor protección contra el ataque de éste insecto plaga en comparación al año anterior.

Cuadro 6. Longitud de galerías y mazorcas con daño por el gusano elotero 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	Longitud de galería (cm) ^b	Mazorcas con daño(%) ^b
Agrisure® Viptera™ 3111	El Dorado	0.33 a	33.9 a
Agrisure® Viptera™ 3111 + i	El Dorado	0.45 a	42.9 a
Hibrido convencional + i	El Dorado	2.20 b	77.7 b
Hibrido convencional	El Dorado	2.13 b	77.7 b
		$F=12.22^{**}$	$F=5.25^*$
Agrisure® Viptera™ 3111	Navolato	0.37 a	43.1 a
Agrisure® Viptera™ 3111 + i	Navolato	0.47 a	39.1 a
Hibrido convencional + i	Navolato	2.83 b	90.0 b
Hibrido convencional	Navolato	2.95 b	71.6 b
		$F=11.07^{**}$	$F=37.90^{***}$
Agrisure™ 3000 GT	Navolato	0.45 a	49.1 a
Agrisure™ 3000 GT + i	Navolato	0.27 a	36.1 a
Hibrido convencional + i	Navolato	4.37 b	83.9 b
Hibrido convencional	Navolato	5.50 b	90.0 b
		$F=21.30^{***}$	$F=11.50^{**}$

^ai=insecticida, ^bhíbridos genéticamente modificados y sus respectivos híbridos convencionales seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (ANVA y prueba de LSD; $P < 0.05$). *, **, *** Indican significancia contraste valor F a $P < 0.05$, $P < 0.01$, $P < 0.001$, gl = 3, 11.

Tirado (2002), en la evaluación agronómica de 20 híbridos de maíz transgénico con el gen Bt y sus contrapartes sin el gen, menciona que los híbridos con Bt tuvieron menor daño ocasionado por *H. zea* que los híbridos sin Bt, pero no lograron matar a la mayoría de las larvas. En éste año al igual que el anterior, el organismo genéticamente modificado que mejor resistencia presentó fue el que en su estructura genética contiene dos toxinas Cry contra insectos lepidópteros.

Evaluación del daño por gusano elotero *Helicoverpa zea* en maíz transgénico con el evento Agrisure® Viptera™ 3111 en El Camalote y Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2013.

En éste año el evento Agrisure® Viptera™ 3111 en la localidad de El Camalote (Cuadro 7), presentó un promedio de 0.39 cm de longitud de galerías con un daño de mazorcas de 21.6% esto comparado con su híbrido convencional más insecticida que presentó 2.31 cm de longitud de galerías y 75.6% de mazorcas con daño, éstos datos estadísticos muestran que hay una diferencia significativa entre ambos. De igual manera hay una diferencia significativa entre organismo genéticamente modificado en comparación con el maíz convencional sin insecticida. Pero no hay diferencia estadística entre los híbridos convencionales tanto con insecticida como el convencional sin insecticida.

En Oso Viejo Agrisure® Viptera™ 3111 de igual forma que en la localidad de El Camalote los valores estadísticos muestran que el organismo genéticamente modificado es significativamente diferente en relación a su híbrido convencional con y sin la aplicación de insecticida tanto en la longitud de galerías (cm), así como el porcentaje de mazorcas con daño. De la misma manera que en la localidad de El Camalote, el maíz convencional más insecticidas con respecto al híbrido convencional sin insecticidas no presentan una diferencia estadística. En ambas localidades la población GM presento mayor protección contra el daño por *H. zea* (Cuadro 7).

Cuadro 7. Longitud de galerías y mazorcas con daño por el gusano elotero en híbridos de maíz genéticamente modificado Agrisure® Viptera™ 3111 y sus respectivos híbridos convencionales en El Camalote y Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2013.

Híbridos ^a	Localidad	Longitud de galería(cm) ^{b, c}	Mazorcas con daño (%) ^c
Agrisure® Viptera™ 3111	El Camalote	0.39 a	21.6 a
Hibrido convencional + i	El Camalote	2.31 b	75.6 b
Hibrido convencional	El Camalote	3.11 b	85.4 b
		$F=24.91^{***}$	$F=21.76^{***}$
Agrisure® Viptera™ 3111	Oso Viejo	0.20 a	8.3 a
Hibrido convencional + i	Oso Viejo	2.72 b	62.1 b
Hibrido convencional	Oso Viejo	3.59 b	74.1 b
		$F=23.94^{***}$	$F=32.68^{***}$

^ai=insecticida, ^bhíbridos genéticamente modificados y sus respectivos híbridos convencionales seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (ANVA y prueba de LSD; $P < 0.05$). ^c*** Indica significancia contraste valor F a $P < 0.001$, gl = 2, 11.

Durante los tres años de estudio los organismos genéticamente modificados fueron los que brindaron mejor protección al ataque de *H. zea*. Los eventos Agrisure® Viptera™ 3111 y Agrisure® Viptera™ 3110 son los que presentaron menor porcentaje de galerías y mazorcas dañadas, esto debido a que en su estructura genética expresan dos proteínas Cry activas para lepidópteros. Sánchez (2003) menciona que se ha estimado que el rendimiento del maíz con el gen Bt es mayor que el del maíz “normal” hasta en un 8% y hay disminución en la aplicación de insecticidas. Otro beneficio implícito es la reducción de las sustancias tóxicas aplicadas al medio ambiente.

Domínguez *et al.* (2010) menciona que en España, tras sembrar doce años de maíz transgénico (maíz Bt) resistentes a barrenadores del maíz, *Ostrinia nubilalis* Hübner (Lepidoptera, Crambidae) y *Sesamia nonagrioides* Lefébvre (Lepidoptera: Noctuidae); plagas con mayor incidencia económica sobre el cultivo de maíz, no han desarrollado resistencia a la toxina Cry1Ab después de 12 años de cultivo continuo.

Evaluación de la incidencia y severidad de pudrición de mazorca por *Fusarium* en maíz transgénico con los eventos Agrisure™ 3000 GT y Agrisure® Viptera™ 3110 en Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2011.

En la localidad de Oso Viejo en 2011 el OGM Agrisure™ 3000 GT más insecticida es estadísticamente diferente a su híbrido convencional más insecticida tanto en la incidencia (%), así como en la severidad (%) de pudrición de mazorca. El maíz convencional sin insecticida presentó incidencia significativa de 83.1% el cual es un valor significativamente diferente en relación al organismo genéticamente modificado con y sin insecticida, y también es estadísticamente diferente al convencional más insecticida. De la misma forma que en la incidencia, el porcentaje de severidad de la pudrición de mazorca con 63.8% en el híbrido convencional sin insecticida es estadísticamente diferente al OGM con y sin insecticidas, y de igual manera con el genotipo convencional más insecticida (Cuadro 8).

Para el caso de Agrisure® Viptera™ 3110 en la misma localidad, los datos de incidencia (%) y severidad (%) no son significativamente diferentes al del OGM más insecticida, pero si hay diferencia significativa con su maíz convencional más insecticidas. Los valores estadísticos de incidencia 60.80% y severidad de 41.44% en el convencional sin insecticida son altamente diferentes en relación a su OGM con y sin insecticida, y de igual manera con el híbrido convencional más insecticidas. En éste año el OGM Agrisure® Viptera™ 3110 fue el que de manera indirecta presento menor incidencia y severidad de pudrición por *Fusarium*.

En Sinaloa, la pudrición de la mazorca, comúnmente, generalmente no rebasa el 10% de las mazorcas dañadas. Ésta afectación está asociada al ataque de insectos con la posterior invasión de *Fusarium*, *Aspergillus*, entre otros agentes. La magnitud de la contaminación depende de factores ambientales como la temperatura, humedad relativa, lluvia y daño por insectos (Apocada y Quintero, 2008).

Cuadro 8. Incidencia y severidad de pudrición de mazorca 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	Incidencia (%) ^b	Severidad (%) ^b
Agrisure™ 3000 GT	12.5 a	9.54 a
Agrisure™ 3000 GT + i	25.7 a	5.72 a
Hibrido convencional + i	48.3 b	24.63 b
Hibrido convencional	83.1 c	63.08 c
	$F=31.05^{***}$	$F=27.24^{***}$
Agrisure® Viptera™ 3110	0.30 a	0.07 a
Agrisure® Viptera™ 3110 + i	1.80 a	0.25 a
Hibrido convencional + i	29.70 b	11.62 b
Hibrido convencional	60.80 c	41.44 c
	$F=18.87^{***}$	$F=24.64^{***}$

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

Evaluación de la incidencia y severidad de pudrición de mazorca por *Fusarium* en maíz transgénico con el evento Agrisure® Viptera™ 3111 en El Camalote y Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2013.

En el año 2013 el evento Agrisure® Viptera™ 3111 en la localidad de El Camalote no presentó diferencia significativa con respecto a su maíz convencional con y sin la aplicación de insecticidas, tanto en la incidencia (%) como en la severidad (%) provocada por *Fusarium* (Cuadro 9).

En la localidad de Oso viejo en ése mismo año Agrisure® Viptera™ 3111 presentó valores estadísticamente diferentes con respecto a la población convencional con y sin aplicación de insecticidas, tanto en la incidencia (%) y la severidad (%) en las mazorcas de maíz. Aunque no hay valores estadísticamente diferentes en la incidencia y severidad entre el hibrido convencional con y sin insecticidas (Cuadro 9). El menor porcentaje de incidencia y severidad se presentó en la localidad de Oso viejo, esto posiblemente debido a las condiciones de la zona geográficas del lugar.

Cuadro 9. Incidencia y severidad de pudrición de mazorca en híbridos de maíz genéticamente modificado Agrisure® Viptera™ 3111 y sus respectivos híbridos convencionales en El Camalote y Oso Viejo, Culiacán, Sinaloa, en 2013.

Híbridos ^a	Localidad	Incidencia (%) ^b	Severidad (%) ^b
Agrisure® Viptera™ 3111	El Camalote	47.2 a	22.5 a
Hibrido convencional + i	El Camalote	54.7 a	27.1 a
Hibrido convencional	El Camalote	59.4 a	35.2 a
		$F=0.48ns$	$F=21.76ns$
Agrisure® Viptera™ 3111	Oso Viejo	25.70 a	7.6 a
Hibrido convencional + i	Oso Viejo	67.50 b	38.7 b
Hibrido convencional	Oso Viejo	80.80 b	53.5 b
		$F=64.61^{***}$	$F=23.62^{**}$

^ai=insecticida, ^bhíbridos genéticamente modificados y sus respectivos híbridos convencionales seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (ANVA y prueba de Tukey; $P < 0.05$). ^{ns} no significativo, ^{**}, ^{***} Indican significancia contraste valor F a $P < 0.01$, $P < 0.001$, respectivamente, $gl = 2, 11$.

De León (1984) menciona que *Fusarium* es más común en zonas secas y cálidas y es particularmente severo en época cercana a la floración.

El hongo puede sobrevivir en el suelo como micelio o como esporas en ausencia de sus hospederos, y si se encuentra cerca de una planta hospedera, la infección puede iniciar en las raíces, en partes de la planta por encima del suelo, a través del aire o el agua (Ma *et al.*, 2013).

Cabe mencionar que los organismos genéticamente modificados utilizados en ésta investigación no fueron creados para controlar la enfermedad, pero de manera indirecta ejercen cierta protección contra éste patógeno. Sánchez (2003) menciona que *H. zea* además de causar daños directos en la mazorca de maíz, también pueden influir en el desarrollo de enfermedades, particularmente la pudrición de la mazorca del maíz causada por *Fusarium* sp. y la pudrición de las semillas de maíz causada por *Aspergillus* sp. Éstos patógenos producen micotoxinas que pueden ser fatales para caballos y cerdos y son probablemente cancerígenas para los seres humanos. Algunos estudios realizados en híbridos de maíz Bt han mostrado

reducciones significativas de micotoxinas en comparación con los híbridos no transformados. A pesar de que ésta ventaja respalda el uso de los híbridos de maíz Bt para el control de las pudriciones de maíz causadas por *Fusarium* y *Aspergillus*, éstas enfermedades requieren un manejo integrado que involucra otras técnicas, ya que durante épocas favorables para éstas enfermedades, los híbridos Bt pueden tener los mismos niveles de micotoxinas que los híbridos no transformados. Aun así, el control transgénico de insectos y enfermedades ofrece alternativas mucho más efectivas, económicas y ecológicamente amigables que la aplicación de insecticidas. Así por ejemplo, son necesarias de 12 a 40 aplicaciones de insecticida para producir maíz dulce a fin de satisfacer las exigencias del mercado. Aún con el control parcial que los híbridos Bt ofrecen actualmente, las aplicaciones de insecticidas pueden ser reducidas drásticamente. Así mismo, el maíz transgénico con el gen Bt reduce la vulnerabilidad de los granos a los hongos que producen micotoxinas, incrementando la seguridad alimentaria del maíz para uso humano y animal.

CONCLUSIONES

Los eventos apilados con tolerancia a insectos Agrisure® Viptera™ 3110, Agrisure® Viptera™ 3111 y Agrisure™ 3000 GT presentaron resistencia al daño por gusano elotero *H. zea*. De los tres eventos, Agrisure™ 3000 GT presentó mayor daño por *H. zea*.

Los eventos Agrisure® Viptera™ 3110, Agrisure® Viptera™ 3111 y Agrisure™ 3000 GT en general presentaron menor incidencia y severidad de pudrición de mazorca por *Fusarium*.

Los eventos genéticamente modificados proporcionaron control eficaz sobre *H. zea* y menor incidencia y severidad de pudrición por lo cual pueden ser considerados como una herramienta importante en un manejo integrado de plagas.

LITERATURA CITADA

- Álvarez, B. E., y Piñeyro, N. A. 2009. Riesgos y peligros de la dispersión del maíz transgénico en México. *Ciencias*. 92(092): 82-96.
- Ángel, R. M. D., Pérez, S. J., y Morales, J. F. 2015. Toxicidad de extractos vegetales y hongos entomopatógenos en el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* JE Smith (Lepidoptera: Noctuidae), del maíz en el Estado de Guerrero. *Entomología Mexicana*, 2:260-265.
- Apodaca, S. M. A., y Quintero, B. J. A. 2008. Pudrición de la mazorca. Jornada del manejo sustentable del maíz. Fundación Produce Sinaloa, México 71 pp.
- Bacon, C. W. and Yates, I. E. 2006. Endophytic root colonization by *Fusarium* species: histology, plant interactions, and toxicity. In: *Microbial root endophytes*. Springer, Berlin, Heidelberg. 133-152 pp.
- Boyce, J. K. 1999. The Globalization of Market Failure? International Trade and Sustainable Agriculture. Amherst, MA, Political Economy Research Institute (PERI).
- Box, J. M. 2005. Prontuario de agricultura. Mundi-Prensa Libros. 120-121 pp.
- Bravo, A., Gómez, I., Conde, J., Muñoz-Garay, C., Sánchez, J., Miranda, R. and Soberón, M. 2004. Oligomerization triggers binding of a *Bacillus thuringiensis* Cry1Ab pore-forming toxin to aminopeptidase N receptor leading to insertion into membrane microdomains. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*, 1667(1): 38-46.
- Camacho, B. J. R., García, G. C., Mundo, O. M., Armenta, B. A. D., Nava, P. E., Valenzuela, H. J. I., y González, G. U. 2012. Enemigos naturales de las moscas de los estigmas del maíz: *Euxesta stigmatias* (Loew), *Chaetopsis massyla* (Walker) y *Eumecosomyia nubila* (Wiedemann) en Guasave Sinaloa, México. *Ra Ximhai*. 8(3): 71-77.
- Cano, E., Carballo, M., Chaput, P., Fernández, O., González, L., Grueber, A. K., Guharay, F., Hidalgo, E., Narváez, C., López, P. J. A., Rizo, C., Rodríguez, A., Rodríguez, C. y Salazar, D. 2004. Control biológico de plagas agrícolas. INPASA. Managua. 232 pp.
- Capinera, J. L. 2001. Handbook of Vegetable Pests. Academic Press, San Diego. 729 pp.
- Carballoso, V., Mejía, A., Valderrama, S., Carballo, A., y González, F., 2000. Divergencia en poblaciones de maíz nativas de valles Altos de México. *Agrociencia*. 34 (2): 167-174.

- Carmona, M., y Scandiani, M. 2010. Las pudriciones del tallo y raíces del maíz pudriciones por *Fusarium*. El manejo de la enfermedad comienza por la semilla de maíz. 138 pp.
- Carreras, B. 2011. Aplicaciones de la bacteria entomopatógena *Bacillus thuringiensis* en el control de fitopatógenos. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 12(2): 129-133.
- Carrillo, T. C. 2008. El origen del maíz. Naturaleza y cultura en Mesoamérica. *Ciencias*. 92(092): 8-9.
- Castro, J. A. 2015. Gusano del Fruto, Gusano bellotero. Disponible en: <https://es.slideshare.net/AntonioCastro55/gusano-del-fruto-gusano-bellotero-helicoverpa-heliothis-zea-helicoverpa-heliothis-virescens>. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2019.
- Catalán, W. 2012. Manejo Integrado de Plagas en el Cultivo de Maíz Amiláceoblanco. Disponible en: <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/022-a-mab.pdf>. Fecha de consulta: 14 de agosto de 2019.
- Chorbadjian, R. 2003. Plagas de la mazorca de maíz dulce. *Agronomía y Forestal UC*, 19:4-6.
- Coca, M. M. 2011. Fusariosis del maíz. Boletín técnico. Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinarias "Dr. Martín Cárdenas", Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia. Vol. 5, No1. 4 pp.
- Cortez-Mondaca, E. 2007. Recomendaciones para el control de la mosca pinta en maíz. En: El Fitosanitario. SAGARPA. Los Mochis, Sin. p. 7.
- Cortez, M. E., Camacho, B. J., y Meza, G. L. 2009. La mosca de los estigmas *Chaetopsis massyla* (Walker), *Eumecosomya nubila* (Wiedemann) y *Euxesta stigmatias* (Loew). *Maíz; bioecología y manejo*.
- Cruz, V. A. 2016. Control de especies de "*Fusarium*" productoras de fumonisinas: factores ecofisiológicos y cambio climático. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. 181 pp.
- De la Torre, H. M. E., Sánchez, R. D., Galeana, S. E., y Plasencia-de la Parra, J. 2014. Fumonisinas—Síntesis y función en la interacción *Fusarium verticillioides*-maíz. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 17(1): 77-91.
- De León, C. 1984. *Maize diseases, a guide for field identification*. México, DF, CIMMYT, p. 64.

- Domínguez, P. C., Ortego, F., Hernández, C. P., Farinós, G. P., García, R. A., Altuna, M. E., y Pons, X. 2010. El maíz Bt en España: experiencia tras 12 años de cultivo. *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*. (219): 64-70.
- Esquivel, R. M., Martínez, S. M. y Martínez, J. L. 2018. *Nutrición y salud*. (4a ed.). México: Manual Moderno. 181 pp.
- Ezezika, O. C., Saleh, N., and Daar, A. S. 2012. Trait stacking for biotech crops: an essential consideration for agbiotech development projects for building trust. *Agriculture & Food Security*. 1(1):5.
- Federici, B. A., Park, H. W., and Sakano, Y. 2006. Insecticidal protein crystals of *Bacillus thuringiensis*. In *Inclusions in prokaryotes*. Springer, Berlin, Heidelberg. 195-236 pp.
- Félix, S. V., Rubio, N. V., Galván, F. Z., Molina, R. L., Villagómez, C. M. M., y Tiznado, J. A. G. 2018. Identificación molecular de *Fusarium* spp. aislados de maíz en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(8): 1675-1689.
- Flores, F. 2010. Manejo de Plagas en el Cultivo de Maíz. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-manejo_de_plagas_en_el_cultivo_de_maz.pdf. Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2019.
- Flores, F., y Parodi, B. 2011. Maíces Bt: manejo de la resistencia de los insectos blanco y nuevos eventos disponibles. *Informe de actualización técnica*. EEA Marcos Juárez. (19).
- García, G. C., Nava, P. E., Camacho, B. J., y Armenta, B. D. 2010. Identificación y control de la mosca de los estigmas del maíz. *IV Jornada de transferencia de tecnología del cultivo de maíz. Folleto Técnico Memoria de capacitación*. Fundación Produce Sinaloa zona Norte. 63-68.
- García, G. C.; González, M. M. B. y Cortez, M. E. 2012. Uso de enemigos naturales y biorracionales para el control de plagas de maíz. *Ra Ximhai*. 8(3b):57-70.
- Giraldo, A. C. 2011. Cultivos transgénicos: entre los riesgos biológicos y los beneficios ambientales y económicos. *Acta Biológica Colombiana*. 16(3): 231-251.
- González Huerta, A., Vázquez García, L. M., Sahagún Castellanos, J., Rodríguez Pérez, J. E., y Pérez López, D. D. J. 2007. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agricultura Técnica en México*. 33(1): 33-42.

- González, M. M. B., Gurrola, R. J. N., and Chaírez, H. I. 2015. Biological products for the control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista Colombiana de Entomología*. 41(2): 200-204.
- Guerrero, J. E. L., Rojas, A. F. V., Cortés, M. M. A., y Fernandez, L. F. C. 2018. Panorama general de los organismos genéticamente modificados en Colombia y en el mundo: Capacidad nacional de detección. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(2): 101-116.
- Gutiérrez, J. B. 2012. *Calidad de vida, alimentos y salud humana: fundamentos científicos*. Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos. 205-206 pp.
- Guzmán, D A., Rodríguez, J., y Valencia, S J. 2016. Identificación de estadios larvales de lepidópteros - Plaga de Maíz. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 48 p.
- Halford, N. G., & Shewry, P. R., 2000, Genetically Modified Crops: Methodology, Benefits, Regulation and Public Concerns. *British Medical Bulletin*. 56 (1): 62-73.
- 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(6): 2172-2185.
- Hardwick, D. F. 1965. The corn Earworm complex. Memoirs, Entomological Society of Canadá. pp. 40-247.
- Hernández, D. S., Reyes, L. M. Á., García, O. J. G., Mayek, P. N., y Reyes, M. C. A. 2007. Incidencia de hongos potencialmente toxígenos en maíz (*Zea mays* L.) almacenado y cultivado en el norte de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de fitopatología*. 25(2): 127-133.
- Hernández, T. A., Drouaillet, B. E., Rodríguez, H. R., Giron, J. M. G., Patiño, A. S. A. A., y Osorio, H. E. 2019. Importancia del control biológico de plagas en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 10(4): 803-813.
- Hill, D. 1983. *Agricultural insects' pest of the tropics and their natural control*. Cambridge University Press, London, England. 746 pp.
- Ibarra, J. E., y Del Rincón, C. M. C. 2015. Mitos y realidades sobre las plantas transgénicas resistentes a insectos. *Acta Universitaria*. 25(3): 13-23.
- 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. 2017. Manejo Integrado del Gusano Elotero (*Helicoverpa zea*). Serie Fitosanidad. Núm. 82. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p.
- ISAAA (INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRI-BIOTECH APPLICATIONS) 2018. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2018. Disponible en: <http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/54/default.asp>. Fecha de consulta: 18 de enero de 2020.
- ISAAA (INTERNATIONAL SERVICE FOR THE ACQUISITION OF AGRI-BIOTECH APPLICATIONS) 2019. Disponible en: [http://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/commercialtrait/default.asp?TraitTypeID=2&Trait=Insect Resistance](http://www.isaaa.org/gmapprovaldatabase/commercialtrait/default.asp?TraitTypeID=2&Trait=Insect%20Resistance). Fecha de consulta: 21 de noviembre de 2019.
- James, R. R. y Xu, J. 2012. Mecanismos por los cuales los pesticidas afectan la inmunidad de los insectos. *Revista de patología de invertebrados*. 109 (2): 175-182.
- Jaramillo Albuja, J. G., Peña Olvera, B. V., Hernández Salgado, J. H., Díaz Ruiz, R., y Espinosa Calderón, A. 2018. Caracterización de productores de maíz de temporal en Tierra Blanca, Veracruz. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 9(5): 911-923.
- Kuniyoshi, C. H. 2002. Evaluación del uso de feromonas para el control y monitoreo de *Spodoptera frugiperda* y *Helicoverpa zea* en maíz dulce. Tesis licenciatura. Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana. 53 pp.
- Larrión, C. J. 2010. La identidad y el comportamiento del maíz Bt. El debate sobre la predicción de las posibles consecuencias adversas de la ingeniería genética. *Revista Internacional de Sociología (RIS)*, vol. 68, nº. 1, pp. 125-144. DOI:10.3989/ris.2008.02.26
- LBOGM (Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados). 2005. Diario Oficial de la Federación, 18 marzo 2005. México.
- López, V. B. E., Armenta, B., Adolfo, D., Apodaca, S., Miguel, A., Ruelas, I., y Valenzuela, E. F. 2014. Reducción de la fertilización sintética con composta y optimización del riego sobre la pudrición del tallo (*Fusarium spp*) del maíz. *Scientia Agropecuaria*. 5(3): 121-133.
- Ma, L. J., Geiser, D. M., Proctor, R. H., Rooney, A. P., O'Donnell, K., Trail, F., and Kazan, K. 2013. *Fusarium* pathogenomics. *Annual review of microbiology*. 67: 399-416.
- Mandujano, A., 2017. Agenda técnica agrícola de Guanajuato. Maíz de temporal. México, 181 pp.

- Massoni, F. A., Schlie, G., y Frana, J. E. 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).
- Morales, R. I., de Yañz, M. M. J., Silva, R. H. V., García-de-los-Santos, G., and Guzman-de-Pena, D. A. 2007. Biodiversity of *Fusarium* species in México associated with ear rot in maize, and their identification osino a phylogenetic approach. *Mycopathologia*. 163(1): 31-39.
- Moretti, A. N. 2009. Taxonomy of *Fusarium* genus: a continuous fight between lumpers and splitters. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke* (117): 7-13.
- Muñoz, A., 2003. Prehistoria e Historia, Diversidad, Potencial, origen genético y Geográfico. Texcoco, México D.F.: CENTLI-MAÍZ.
- Ortega, A. 1987. Insectos nocivos del maíz: una guía para su identificación en el campo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México. 79 pp.
- Oses, N. X. 2019. Comportamiento de *Helicoverpa zea* (ex *Heliothis*) en cultivos de Maíz. Tesis Doctoral. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA. 3 pp.
- Paliwal, R. L. 2001. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción* (No. 28). Roma. 71 pp.
- Pérez, R. J. 2014. Sensibilidad a fungicidas de las especies de *Fusarium* responsables de la pudrición de la mazorca del maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Postgrado en Fitopatología. Colegio de Postgraduados. 58 p.
- Piñero, D. 2001, Reflexiones para un política sobre organismos transgénicos en México. El caso del maíz. CONABIO. *Biodiversidad* 34:8-10.
- Portela, D. D. D., Chaparro, G. A., y López, P. S. A. 2013. La biotecnología de *Bacillus thuringiensis* en la agricultura. *Nova*. 11(20): 87-96.
- Presello, D. A., Oviedo, M. S., Fernández, M., Iglesias, J., y Copia, P. A. 2016. Resistencia a podredumbres de espiga y acumulación de micotoxinas en maíz. *Revista RTA*. 10(32): 29-32.
- Ramírez, Z. R., Santillán, J. A. L., Hernández, E. O., Drouaillet, B. E., Martínez, J. A. P., del Carmen Mendoza, M., y Ruiz, F. G. R. 2016. Importancia de la resistencia del maíz nativo al ataque de larvas de lepidópteros. *Temas de Ciencia y Tecnología*. 20: (59-200).

- Reisig, D. D. y Reay, J. F. P. 2015. Inhibición del crecimiento de *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) por maíz transgénico que expresa toxinas Bt y desarrollo de resistencia a Cry1Ab. *Entomología ambiental*. 44 (4): 1275-1285.
- Rivas, V. P., Virgen, V. J., Rojas, M. I., Cano, S. A., y Ayala, E. V. 2011. Evaluación de pudrición de mazorca de híbridos de maíz en Valles Altos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 2(6): 845-854.
- Rodríguez, M. R. 2018. Transgénesis en plantas: miradas diferentes. *Órbita científica*. 102(24): 1-9.
- SAS, Institute. 2002. User Guide for the SAS System Version 9.0 for Microsoft Windows, Cary, North Carolina, USA.
- Sánchez, C. M. C. 2003. Biotecnología: Ventajas y desventajas para la agricultura. *Revista UDO agrícola*. 3(1): 1-11.
- Santillán, M. R., Rodríguez, A. G, Fernández, P. S. P., Vázquez, M. G., Montero, C. J. C. y Benítez, M. J. 2017. Micotoxinas: ¿Qué son y cómo afectan a la salud pública? , *Revista Digital Universitaria* (RDU), vol. 18, núm. 6.
- Sauka, D. H., y Benintende, G. B. 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.
- Shani, A. 1998. Integrated pest management using pheromones. *Chemtech*. 28(3): 30-35.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera) 2018. Recuperado de: http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do. Fecha de consulta: 15 de diciembre de 2019.
- Soberón, M., y Bravo, A. 2007. Las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis*: modo de acción y consecuencias de su aplicación. *Biotecnología*. 14: 303-314.
- Szwarc, D., Vitti, D. E., y Almada, M. S. 2015. Evaluación de daño del Gusano Cogollero y Gusano de la Espiga en híbridos de maíz transgénico en el norte de Santa Fe. *Voces y ecos*. 33: 27-29.
- Tejera, H. B., Rojas, B. M. M., y Heydrich, P. M. 2011. Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*. 42(3): 131-138.
- Tirado, P. V. H. 2002. Evaluación agronómica de 20 híbridos de maíz (*Zea mays*) transgénico con el gen Bt (*Bacillus thuringiensis*) y sus contrapartes sin el gen. Proyecto Especial de graduación como requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo en Ciencia y Producción Agropecuaria. Zamorano, Honduras. 23 p.

- Trigo, E. J. 2016. Veinte años de cultivos genéticamente modificados en la agricultura argentina. *Buenos Aires: Argenbio*.
- Tulli, M. C., Vincini, A. M., Pascucci, J. I., Carmona, D. M., y Baquero, V. G. 2016. Bioecología de *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) en cultivos de maíz dulce con diferente manejo de hábitat. *Entomotropica*. 31: 23-35
- Yang, F., Kerns, D. L., Leonard, B. R., Oyediran, I., Burd, T., Niu, Y., and Huang, F. 2015. Performance of Agrisure® Viptera™ 3111 corn against *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) in seed mixed plantings. *Crop Protection*. 69: 77-82.
- Zhang, X., Candas, M., Griko, N. B., Taussig, R., and Bulla, L. A. 2006. A mechanism of cell death involving an adenylyl cyclase/PKA signaling pathway is induced by the Cry1Ab toxin of *Bacillus thuringiensis*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 103(26): 9897-9902.