

**EFFECTIVIDAD BIOLÓGICA DEL MAÍZ  
GENÉTICAMENTE MODIFICADO PARA CONTROL DE  
LEPIDOPTEROS Y SU EFECTO SOBRE LA DIVERSIDAD  
DE ARTRÓPODOS NO BLANCO**

**AGUSTÍN HERNÁNDEZ JUÁREZ**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS EN  
PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**



**BUENAVISTA, SALTILLO; COAHUILA  
JUNIO DE 2012**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

EFFECTIVIDAD BIOLÓGICA DEL MAÍZ GENÉTICAMENTE  
MODIFICADO PARA CONTROL DE LEPIDOPTEROS Y SU EFECTO  
SOBRE LA DIVERSIDAD DE ARTRÓPODOS NO BLANCO

TESIS

PRESENTADA POR:

AGUSTÍN HERNÁNDEZ JUÁREZ

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como  
requisito parcial para optar al grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
EN PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal:

  
DR. LUIS ALBERTO AGUIRRE URIBE


Asesor:

  
DR. ERNESTO CERNA CHÁVEZ

Asesor:

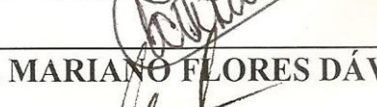
  
DR. GUSTAVO ALBERTO FRÍAS TREVIÑO

Asesor:

  
DR. JERONIMO LANDEROS FLORES

Asesor:

  
DR. MARIANO FLORES DÁVILA

  
DR. FERNANDO RUÍZ ZARATE  
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo; Coahuila, México.  
Junio de 2012.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (*CONACYT*), por el apoyo brindado, parte esencial para la realización de este postgrado.

A Mi *Alma Terra Mater*: Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, y en especial a todos los maestros del Departamento de Parasitología que me brindaron sus conocimientos y amistad.

Particularmente al Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe, Dr. Ernesto Cerna Chávez, Dr. Gustavo Alberto Frías Treviño, Dr. Jerónimo Landeros Flores y al Dr. Mariano Flores Dávila, por el apoyo brindado en la realización de este trabajo, los conocimientos transmitidos, la paciencia, los consejos fuera del aula y sobre todo la amistad otorgada, así como también al Dr. Sergio René Sánchez Peña, M.C. Jorge Corrales Reynaga, M.C. Antonio Cárdenas Elizondo, Lucy y Teresita; por su amistad y apoyo durante mi estancia en el departamento de Parasitología y a Juanita por todo su apoyo en la subdirección de posgrado.

Muy especial a Aideé González Ruíz, por el cariño, comprensión, confianza y apoyo moral que siempre he recibido de ti y con el cual he logrado culminar mi esfuerzo y esperando que comprendas que mis logros son también tuyos e inspirados en ti, hago de este un triunfo y quiero compartirlo por siempre contigo.

Al Sr. Alfonso González Simón y Sra. Onoely Ruíz Nataren por el apoyo y confianza brindados y sabiendo que no existirá forma alguna de agradecer; quiero que sientan que el objetivo alcanzado también es de ustedes y que la fuerza que me ayudo a conseguirlo fue su gran apoyo.

A todos mis compañeros y amigos, por su apoyo y amistad.

A todos y cada uno, de verdad muchas Gracias.

*Sinceramente Agustín*

## DEDICATORIA

*Austín Joseph Hernández González  
Alessandra Elizabeth Hernández González*

Por ser dos personitas muy especiales, por darle sentido a este camino tan difícil, y sobre todo por darme la oportunidad de cumplir con un sueño, obligándome a funcionar y ser cada día mejor.

Esto es para ustedes, pues sin duda, ustedes son la parte más importante de mi vida, gracias por ser mis hijos, pero sin duda, gracias por permitirme ser su Padre.

A mi familia, que aunque a distancia nunca han dejado de echarme porras, mi madre Anastasia Juárez Meza, hermanos: Martha Laura, Elizabeth e Ignacio. Para ustedes.

Muy especial a una persona que me brindo su amistad y apoyo en todo momento durante mi estancia en esta Universidad;  
donde quiera que se encuentre; muchas gracias:  
Ing. José Reyes Vaquera Chávez (†)

## **COMPENDIO**

### **EFFECTIVIDAD BIOLÓGICA DEL MAÍZ GENÉTICAMENTE MODIFICADO PARA CONTROL DE LEPIDOPTEROS Y SU EFECTO SOBRE LA DIVERSIDAD DE ARTRÓPODOS NO BLANCO**

**POR**

**AGUSTÍN HERNÁNDEZ JUÁREZ**

**MAESTRIA EN CIENCIAS  
EN PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
CALZADA ANTONIO NARRO NO. 1923, BUENAVISTA, SALTILLO;  
COAHUILA. JUNIO DE 2012.**

**Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe - Asesor –**

Se evaluó el efecto del maíz genéticamente modificado (GM) con la tecnología GM1, GM2 y GM3 sobre *S. frugiperda* en parcelas de maíz bajo un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, cada bloque con doce tratamientos (GM2 sin aplicación insecticida, GM2 con control de plagas (CP), híbrido convencional GM2 + CP, híbrido convencional GM2 sin control de plagas, GM1 sin aplicación de insecticida, GM1 + CP, híbrido

convencional GM1 + CP, híbrido convencional GM1 sin aplicación de insecticida, GM3 sin aplicación de insecticida, GM3 + CP, híbrido convencional GM3 + CP e híbrido convencional GM3 sin aplicación de insecticida) y cada tratamiento con seis surcos de 5 m lineales de largo y un espacio entre surcos de 0.8 m. La evaluación se hizo en Días Ordaz, Tamaulipas en el ciclo otoño-invierno 2011. Los resultados se analizaron mediante el software SAS con comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Se evaluó también el efecto del maíz sobre la diversidad de artrópodos no blanco en parcelas de 20 surcos de 5 m de largo con separación entre surcos de 0.8 m usando tres tipos de muestreo (trampas amarillas, pitfall y redeo), se calculó la diversidad de insectos con el índice de Shannon-Wiener  $H = -\sum p_i \log_e p_i$ ; y la dominancia mediante el índice de Simpson  $D = \sum (p_i)^2$ , y se analizó la densidad de población mediante estadística no paramétrica utilizando la prueba de Kruskal-Wallis. Los híbridos de maíz GM ejercen un excelente control sobre poblaciones de *S. frugiperda* con un porcentaje de daño foliar de 0.02 y 0.06, 0.05 y 0.09 y 1.8 y 2.9 con control y sin control de insectos para la tecnología GM2, GM1 y GM3 y de 6.5 y 9, 7.2 y 9 y 9 y 9 para sus isogénes en las tecnologías GM2, GM1 y GM3. El análisis de diversidad y dominancia de la densidad total de artrópodos en el agroecosistema maíz reveló una densidad de población de artrópodos no blanco significativamente mayor en las parcelas de maíz *Bt* en comparación con el isogénico, probablemente por la mayor disponibilidad de biomasa en los maíces sin daño por cogollero. El maíz con la tecnología ofrece una opción excelente en el control del gusano cogollero del maíz y por no ejercer presión

sobre la diversidad de artrópodos no blanco de la tecnología, el maíz genéticamente modificado GM1, GM2 y GM3 puede ser contemplado para un manejo integrado de plagas, siguiendo las prácticas agronómicas adecuadas para este material transgénico.

**Palabras clave:** Maíz. *Bacillus thuringiensis*. *Spodoptera frugiperda*. Diversidad. Artrópodos no blanco.

**ABSTRACT**

**BIOLOGICAL EFFECTIVENESS OF GENETICALLY MODIFIED MAIZE  
LEPIDOPTERA CONTROL AND ITS EFFECT OVER DIVERSITY NON-  
TARGET ARTHROPODS**

**BY**

**AGUSTÍN HERNÁNDEZ JUÁREZ**

**MASTER IN SCIENCES  
AGRICULTURAL PARASITOLOGY**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
CALZADA ANTONIO NARRO NO. 1923, BUENAVISTA, SALTILLO;  
COAHUILA. JUNE 2012.**

**Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe - Adviser –**

The effect of genetically modified (GM) technology with GM1, GM2 and GM3 on *S. frugiperda* in maize fields under a complete block design with four replications, each block with twelve treatments (GM2 without insecticide application, GM2 with pest control (CP), hybrid conventional GM2+CP, GM2



conventional hybrid control pests without, GM1 without application of insecticide, GM1 + CP, hybrid conventional GM1+ CP, GM1 conventional hybrid without insecticide application, GM3 without application of insecticide, GM3 + CP, GM3 conventional hybrid + CP and GM3 conventional hybrid without insecticide application) and each treatment with six rows 5 m long and linear row spacing of 0.8 m. The evaluation was done on Díaz Ordaz, Tamaulipas in the fall-winter 2011. The results were analyzed using SAS software to compare means of Tukey ( $P \leq 0.05$ ). We also evaluated the effect of corn on the nontarget arthropod diversity in plots of 20 rows of 5 m long with row spacing of 0.8 m using three types of sampling (yellow traps, pitfall and redeo), we calculated the diversity of insects with the Shannon-Wiener index  $H = -\sum p_i \log_e p_i$  and dominance by Simpson's index  $D = \sum (p_i)^2$ , and analyzed the density of population by nonparametric statistics using the Kruskal-Wallis test. GM maize hybrids exert excellent control on populations of *S. frugiperda* with a percentage of leaf damage of 0.02 and 0.06, 0.05 and 0.09 and 1.8 and 2.9 with no control and insect control technology for GM2, GM1 and GM3 and 6.5 and 9, 7.2 and 9, and 9 and 9 for their isogenes in technologies GM2, GM1 and GM3. Analysis of diversity and dominance of the total density of arthropods in the maize agroecosystem revealed a population density of non-target arthropods significantly higher in *Bt* maize fields compared to the isogenic, probably due to increased availability of biomass in maize without budworm damage. The corn technology offers an excellent option in the control of armyworm and not put pressure on the nontarget arthropod diversity of technology, genetically modified

corn GM1, GM2 and GM3 may be referred to an integrated management pests, following suitable agronomic practices for this transgenic material.

**Key Words:** Maize. *Bacillus thuringiensis*. *Spodoptera frugiperda*. Diversity. Non-target arthropods.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	xii
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	4
Descripción del Maíz ( <i>Zea mays</i> L.)	4
Origen y Distribución	4
Descripción Taxonómica del maíz	8
Descripción Botánica del maíz	8
Importancia del Maíz	10
Plagas Importantes del Maíz	13
Generalidades de <i>Bacillus thuringiensis</i>	17
Toxinas de <i>Bacillus thuringiensis</i>	18
Modo de Acción de <i>Bacillus thuringiensis</i>	20
Importancia de <i>Bacillus thuringiensis</i>	24
Cultivos Genéticamente Modificados	25
Situación actual e Importancia de los cultivos genéticamente modificados	33
Cultivos genéticamente modificados resistentes a insectos	38
Impacto en Artrópodos No Blanco	41
<b>ARTICULO.</b> Efectividad Biológica del maíz genéticamente modificado para control de <i>Spodoptera frugiperda</i> .	43
<b>ARTICULO.</b> Efecto del maíz genéticamente modificado sobre la diversidad de artrópodos no blanco.	64
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b>	98
<b>LITERATURA CITADA</b>	99
<b>APÉNDICE</b>	105

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Pág.</b>
<b>1</b>	Clasificación taxonómica del Maíz	<b>8</b>
<b>2</b>	Producción de cereales de importancia en México durante el año 2010.	<b>12</b>
<b>3</b>	Área (millones de hectáreas) Global de Cultivos Biotecnológicos por país en el año 2010.	<b>35</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Pág.</b>
<b>1</b>	Centro de Origen y diversidad de más de 50 razas de Maíz.	<b>4</b>
<b>2</b>	Localización de los sitios de colecta de razas de maíz (puntos en amarillo) y teocintle (puntos en rojo) en México.	<b>5</b>
<b>3</b>	Distribución del maíz con mazorca en forma cónica en las partes altas del centro y norte del país.	<b>6</b>
<b>4</b>	Distribución del maíz con mazorca con ocho hileras de grano en alturas intermedias de temporal y costas semiáridas de riego.	<b>6</b>
<b>5</b>	Distribución del maíz con mazorca cilíndrica abultada en la base con 12 hileras de grano, en las partes altas e intermedias del sur de México.	<b>7</b>
<b>6</b>	Distribución del maíz: razas especiales, Chapalote y reventador con mazorca de grano cristalino.	<b>7</b>
<b>7</b>	Microfotografía de <i>Bacillus thuringiensis</i> en microscopio electrónico de transmisión, cristal proteínico romboide compuesto de toxinas Cry y una espora en proceso.	<b>17</b>
<b>8</b>	Esquema de los diferentes eventos en el modo de acción de las proteína Cry de <i>Bacillus thuringiensis</i> . 1. Solubilización, 2.Rompimiento de protoxina, 3. Unión al receptor cadherina, 4. Formación de Pre-poro, 5.Unión receptor aminopeptidasa, 6. Inserción toxina.	<b>22</b>
<b>9</b>	Modo de acción de la $\delta$ -endotoxina de <i>Bacillus thuringiensis</i> .	<b>23</b>
<b>10</b>	Representación simplificada de un transgén construido, que contiene los componentes necesarios para la integración y expresión con éxito	<b>29</b>
<b>11</b>	Plasmido Ti de <i>Agrobacterium tumefaciens</i> utilizado en la transgenesis.	<b>30</b>
<b>12</b>	Proceso de transformación de una planta a transgén mediante <i>Agrobacterium tumefaciens</i> .	<b>32</b>
<b>13</b>	Países y megapaíses con cultivos Biotecnológicos en el año 2010.	<b>33</b>

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ha agudizado a nivel mundial el debate sobre la utilización de los organismos genéticamente modificados (OGM), entre ellos las plantas transgénicas, caso específico para México, el Maíz, por ser este; el cultivo más importante, centro de origen, diversidad, domesticación y base de la alimentación de los mexicanos.

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

Dentro de estas plagas, se encuentra *Spodoptera frugiperda*; plaga que han generado resistencia a un sin número de insecticidas sintéticos por lo cual no pueden ser controlados eficientemente, además de la contaminación ambiental que estos químicos generan. Dando paso a una nueva opción para el control de plagas; los cultivos *Bt*, jugando un papel importante para la agricultura (Arévalo-Niño, 2007), sin embargo en México, centro de origen de la

biodiversidad del maíz; a pesar de los considerables beneficios económicos, ambientales y sociales que ofrecen este tipo de cultivos, que ya contribuyen a resolver algunos de los principales problemas que se plantean a la sociedad global, como la seguridad y la autosuficiencia alimentaria, la sostenibilidad, la lucha contra la pobreza y el hambre, y la mitigación de algunos de los retos asociados al cambio climático y al calentamiento global (James, 2010), se ha especulado ampliamente sobre el tema de sembrar y liberar al medio ambiente variedades transgénicas, por lo que persiste el debate por los posibles efectos que pudieran causar al medio ambiente, salud humana y animal, y diversidad biológica; como cualquier tecnología de control de insectos, las plantas transgénicas que expresan la toxina de *Bt*, presentan un riesgo para la comunidad de enemigos naturales (Dively y Rose, 2002), entomófagos que frecuentemente juegan un rol importante en la regulación de plagas y se les considera de un gran valor económico (Dutton *et al.*, 2003), esto aunado a la carencia de información científica válida, suficiente para esclarecer la incertidumbre acerca del tema; muy a pesar de que los cultivos genéticamente modificados que producen toxinas de *Bacillus thuringiensis* para el control de insectos representa la primera generación de cultivos transgénicos insecticidas (Sisterson *et al.*, 2007), tras 15 años de encontrarse en el mercado mundial; y aun cuando los efectos documentados en el caso del maíz *Bt* en campo parecen prácticamente inexistentes, debido a la naturaleza de las proteínas insecticidas *Bt*, es manejada la hipótesis, sobre que algunos organismos no blanco pueden ser afectados por la exposición a la proteína (Higgins *et al.*, 2009). Dada la necesidad de nuevas alternativas de control de plagas, y ante la

tecnología *Bt*, para control de lepidópteros plaga, nuestro país requiere de la mayor información sobre el tema de los organismos genéticamente modificados, y bajo condiciones de bioseguridad resolver las especulaciones que se han suscitado alrededor de este tema; motivo por el cual se planteo evaluar en etapa de experimentación la efectividad biológica del maíz genéticamente modificado con la tecnología GM1, GM2 y GM3 que expresa la toxina Cristal de *B. thuringiensis* sobre el gusano cogollero *S. frugiperda* y valorar el impacto sobre la diversidad de poblaciones de artrópodos no blanco en híbridos adaptados a condiciones de campo en la zona agrícola de Díaz Ordaz, Tamaulipas durante el ciclo primavera-verano, 2011.



## REVISIÓN DE LITERATURA

### Descripción del Maíz (*Zea mays* L.)

#### Origen y Distribución

Carlos Linneo lo describió y clasificó dentro del género *Zea* y la especie *mays*. Hasta el momento no se sabe con precisión la época y el lugar exacto de la aparición del maíz, por lo que históricamente se consideró que el Maíz era nativo de Asia y/o de América, este el último el más aceptado, ya que existen suficientes testimonios que lo avalan (Reyes, 1990). Con la suficiente evidencia ha quedado establecido que México (Mesoamérica) fue el centro de origen primario, domesticación y de su diversificación en las más de 61 razas nativas reconocidas en nuestro territorio, esto hace más de 6 mil años y las migraciones humanas lo llevaron a Sudamérica (Figura 1) (Reyes, 1990; CONABIO, 2006; Kato *et al.*, 2009; Benavidez *et al.*, 2010).



Figura 1. Centro de Origen y diversidad de más de 50 razas de Maíz.

Después de 100 años de investigación, sobre el origen y domesticación del maíz, hay un consenso generalizado con la aceptación de que el teocintle es el ancestro del maíz, con suficiente validez científica, después de desechar en los años 70's la hipótesis tripartita que establecía que el teocintle es el producto de la hibridación del maíz con *Tripsacum*, eliminándose la idea del maíz silvestre extinto (Kato, 2009). En México colectas hechas de teocintle y maíz; muestran que este último está ampliamente distribuido, encontrándose una mayor diversidad en la mesa central (Figura 2) (CONABIO, 2009; citado por Mera, 2009).

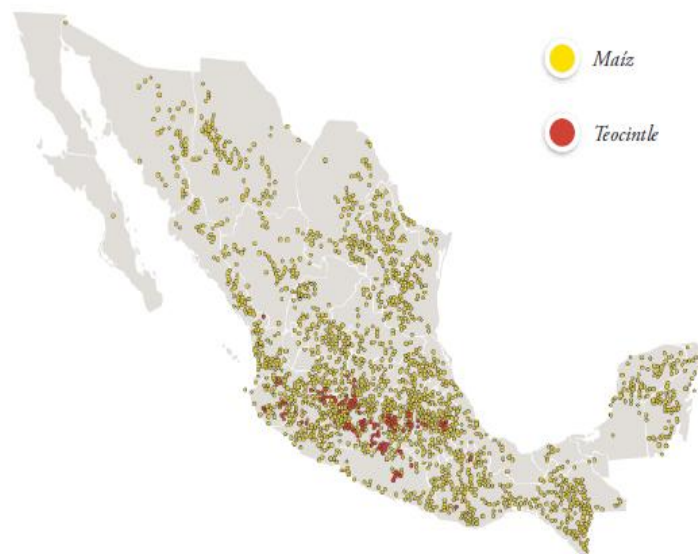


Figura 2. Localización de los sitios de colecta de razas de maíz (puntos en amarillo) y teocintle (puntos en rojo) en México.

Estudios morfológicos, de adaptación y otras características de la mazorca y del grano determinaron la distribución de las diversas razas en el país, así como la probable influencia que han recibido de otras razas diferentes,

dividido en 4 grupos (Figuras 3, 4, 5 y 6) (Wellhausen *et al.*, 1951; citado por Mera, 2009).

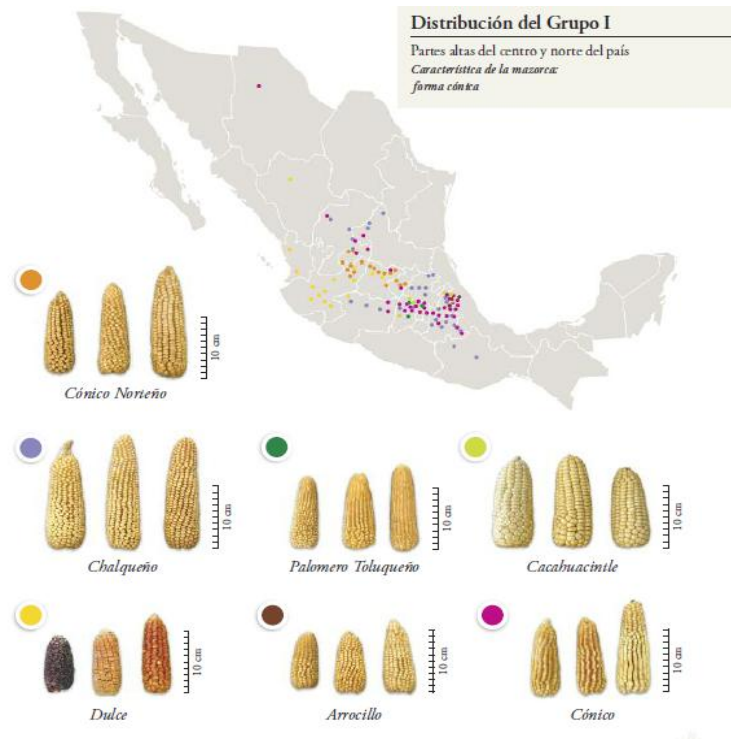


Figura 3. Distribución del maíz con mazorca en forma cónica en las partes altas del centro y norte del país.

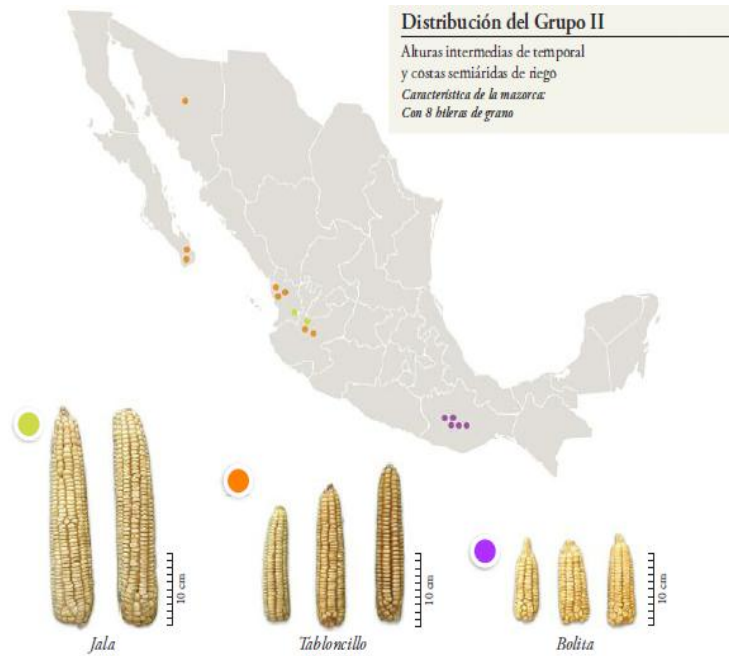


Figura 4. Distribución del maíz con mazorca con ocho hileras de grano en alturas intermedias de temporal y costas semiáridas de riego.

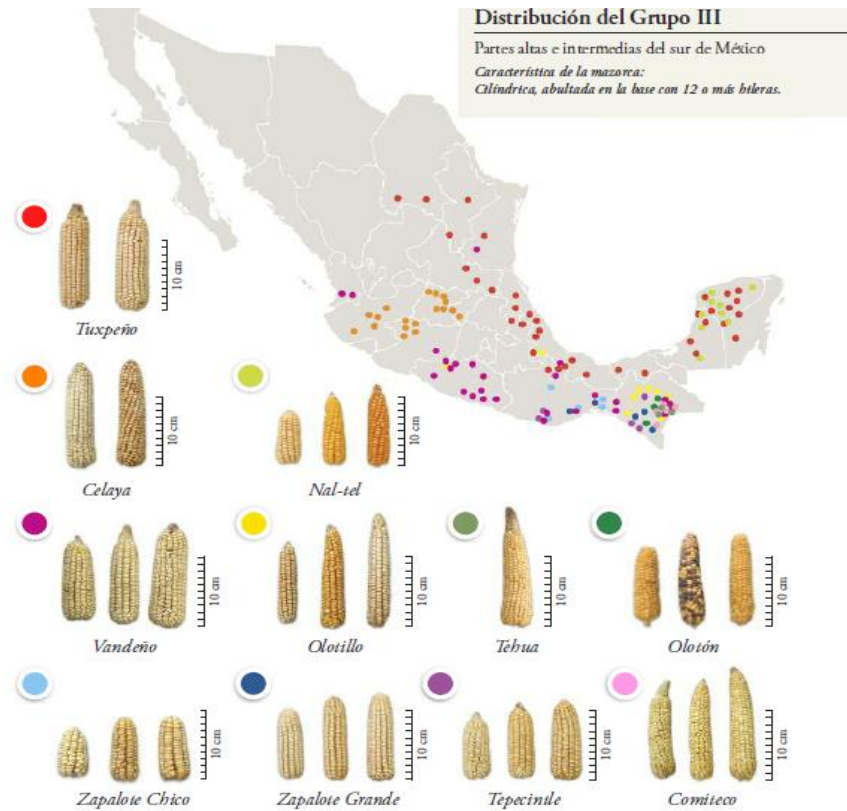


Figura 5. Distribución del maíz con mazorca cilíndrica abultada en la base con 12 hileras de grano, en las partes altas e intermedias del sur de México.

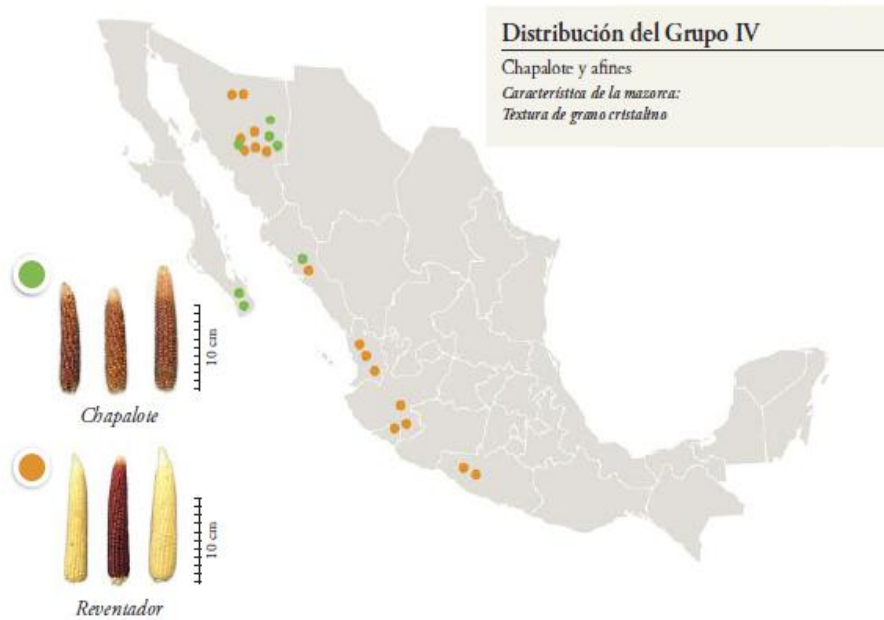


Figura 6. Distribución del maíz: razas especiales, Chapalote y reventador con mazorca de grano cristalino.

## Descripción Taxonómica del maíz

El género *Zea* pertenece a la familia Poaceae que comprende más de 600 géneros. Los dos géneros del Nuevo Mundo más emparentados del maíz son *Tripsacum* y *Zea* (Galinat, 1977; Rzedowski, 2001; citados por Mera y Mapes, 2009). *Zea mays* L. ssp *mays*, el maíz cultivado propiamente, se distribuye en casi todo el territorio nacional (Mera y Mapes, 2009), catalogada como una especie central en la alimentación, sociedad, cultura y economía de México (Kato *et al.*, 2009).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del Maíz

---

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Sub-clase:	Liliidae
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Tribu:	Maydeae
Género:	<i>Zea</i>
Especie:	<i>mays</i> L.

---

## Descripción Botánica del maíz

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

Es una planta monoica de flores unisexuales, que presenta flores masculinas y femeninas bien diferenciadas en la misma planta: la inflorescencia masculina es terminal, largamente pedunculada, conocida como panícula (o espiga) que consta de un eje central o raquis y ramas laterales; a lo largo del eje central se distribuyen los pares de espiguillas de forma polística y en las ramas con arreglo dístico y cada espiguilla está protegida por dos brácteas o glumas, que a su vez contienen en forma apareada las flores estaminadas; en cada florecilla componente de la panícula hay tres estambres donde se desarrolla el polen. La coloración de la panícula está en función de la tonalidad de las glumas y anteras, que pueden ser de coloración verde, amarilla, rojiza o morada (Jugenheimer, 1988; Reyes, 1990; Benavidez *et al.*, 2010).

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

maíz es una planta de polinización abierta (anemófila) propensa al cruzamiento, la gran mayoría de los granos de polen viajan de 100 a 1000 m (Jugenheimer, 1988; Reyes, 1990; Benavidez *et al.*, 2010).

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

### **Importancia del Maíz**

El maíz (*Zea mays L.*) es uno de los cultivos más importantes del mundo. Es la especie agrícola más diversa y buena parte del territorio mexicano forma parte de su centro de origen y es uno de sus centros actuales de diversidad (CONABIO, 2006), con una importancia desde el punto de vista alimenticio, industrial, político, cultural y social.

Las más de 60 razas nativas de maíz y su vasta variación intrarracial, fueron desarrolladas por el productor mexicano para ser cultivadas desde cero hasta 3 000 m de altitud, desde condiciones lacustres y drenaje pobre hasta tierras bien drenadas, desde condiciones de humedad abundante hasta áridas y semiáridas, desde un corto periodo de desarrollo (110 días a madurez como en la meseta semiárida del norte), hasta 365 días en regiones tropicales; desde suelos de reacción hiper ácida hasta hiper alcalina, profundos a someros,

planos a escarpados, productivos hasta degradados, lo cual representa una evolución continua, mejorando rendimiento y otras características agronómicas, ganando especificidad para sus nichos ecológicos con selección natural para usos especiales (CONABIO, 2008; Turrent *et al.*, 2010).

Las diversidades interracial e intrarracial desarrolladas mediante el mejoramiento genético autóctono dan plasticidad a la especie para enfrentar el mega diverso agroecosistema. Los materiales de maíz nativo, se manejan bajo condiciones también extremas en cuanto a su agronomía, desde poco intensa hasta intensa en el uso de agroquímicos, agrobiológicos y mano de obra (Turrent *et al.*, 2010).

México ocupa el 4to lugar a nivel mundial en la producción de Maíz, seguido de Estados Unidos, China y Brasil en 2009. En México el maíz es el principal cereal con una superficie sembrada de 7, 860,705 hectáreas y un volumen de producción de 23, 301, 879 toneladas en 2010; por encima de otros cereales como el trigo, sorgo, cebada, arroz y avena principalmente (Cuadro 2) (SIAP, 2011). Dentro de los tipos de maíz, México es superavitario en la producción de maíz blanco con un consumo de 13, 931.2 toneladas, maíz amarillo con un consumo de 8, 942. 8 toneladas, sin embargo gran parte del maíz amarillo que se está consumiendo en México es GM, importado de Estados Unidos, a razón de 7.23 millones de toneladas aproximadamente por año y un consumo de maíz grano y forrajero con 31, 893.4 toneladas (CIBIOGEM, 2010; SIAP, 2011).

Los estados con mayor producción son Sinaloa con 5, 227,872.02 toneladas y Jalisco con 3, 395,071.76 toneladas con un rendimiento de 9.96 y 6



ton/ha respectivamente; seguidos por Estado de México, Michoacán, Guerrero, Chiapas, Guanajuato, Puebla y Chihuahua, todos con una producción superior al 1, 000,000.00 de toneladas y un rendimiento de entre 1.9 -4.17 ton/ha para una media nacional de 3.26 ton/ha en el 2010 (SIAP, 2011).

Cuadro 2. Producción de cereales de importancia en México durante el año 2010 (SIAP, 2011).

Cultivos	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor Producción (Miles de Pesos)
Maíz grano	7,860,705.49	7,148,045.77	23,301,878.98	3.26	2,816.48	65,629,387.63*
Trigo grano	700,585.48	678,553.26	3,676,707.51	5.42	2,695.19	9,909,417.52
Sorgo grano	1,888,731.97	1,768,382.25	6,940,224.75	3.92	2,269.78	15,752,803.59
Cebada grano	308,998.39	267,668.21	672,366.54	2.51	3,115.69	2,094,884.92
Arroz palay	50,203.99	41,747.79	216,676.45	5.19	3,176.20	688,206.98
Avena grano	68,257.50	66,755.50	111,126.64	1.66	2,822.45	313,649.29
maíz forrajero	535,620.59	493,224.29	11,778,483.64	23.88	388.17	4,572,094.17
Maíz grano semilla	4,030.00	4,030.00	31,451.00	7.8	2,927.69	92,078.90
Maíz palomero	614	540	1,890.00	3.5	4,500.00	8,505.00

Valor 2010: **65 mil 629 millones de pesos\*** Porcentaje de volumen respecto a la producción agrícola nacional: **10.3%**.

México, dentro de su diversidad cuenta con una amplia variedad de maíces, distinguiéndose siete clases que se diferencian por la naturaleza del endospermo y la forma de los granos: maíz vestido, harinero, palomero, dulce, pedernal, ceroso y diente. Las variedades se distinguen también por el color del grano: Morado, rojo, negro, azul, blanco y amarillo (Benavidez *et al.*, 2010). Aunque en México se hace mención principalmente a dos variedades de maíz: blanco y amarillo o forrajero. El maíz blanco se produce exclusivamente para el consumo humano, en virtud de su alto contenido nutricional; por lo que es posible generar una gran cantidad de productos finales: tortillas, tamales, almidones, glucosa, fructosa, dextrosa, botanas; además de etanol para bebidas; aceites, como insumo en la producción de biocombustible, o en la fabricación de barnices, pinturas, cauchos artificiales y jabones; en tanto que el

maíz amarillo también se puede utilizar para consumo humano en una amplia variedad de platillos, sin embargo; en la actualidad se tiene como destino el consumo pecuario en la alimentación del ganado, ya que la planta de Maíz es un excelente forraje para el ganado, especialmente para las vacas lecheras y los animales de tiro. Se utiliza como forraje en varias etapas del crecimiento de la planta, especialmente en el momento de la emisión de la panoja o más adelante, y se utiliza también en la producción industrial ([www.financierarural.gob.mx](http://www.financierarural.gob.mx); SIAP, 2011).

### **Plagas Importantes del Maíz**

Uno de los factores mas importantes que limitan la producción de maíz, son los insectos plaga y otros organismos afines a estos como los ácaros; capaces de infestar el maíz en cualquier etapa de su desarrollo o en el almacén y además pueden atacar cualquier parte de la planta, a menudo con graves consecuencias (Ortega, 1987).

Este cultivo tiene aproximadamente 75 plagas insectiles de la raíz, follaje y la mazorca o elote, de importancia económica en el agroecosistema maíz mexicano (Sifuentes, 1985; Ortega, 1987).

El grupo de plagas de suelo conformado por gusanos de la raíz (*Diabrotica balteata*, *D. virgifera*, *D. longicornis*, *D. speciosa*, y *Diabrotica spp.*), gusanos de alambre (Elateridae: *Melanotus*, *Agriotes* y *Dalopius*), (Tenebrionidae: *Eleodes spp*), (*Nicentrites testaceipes*), (*Chaetocnema publicaría* y *Chaetocnema spp*), gallinas ciegas: *Phyllophaga spp* y

*Cyclocephala spp* y gusano de la semilla (*Hylemya spp*) taladran y se alimentan de raíces; dañan la base del tallo y/o se alimentan en el cogollo donde raspan pequeñas secciones irregulares de la epidermis sin llegar a perforarla; debilitándolo, lo que resulta primero en plántulas marchitas y después en zonas con baja población, tallos curvos e inclinados o acamados que crecen en forma irregular y/o muerte de cogollo; destruyen las semillas, lo que resulta en germinación pobre y espacios sin plantas y ocasionan daño en la superficie de las hojas, que producen al raspar las nervaduras (Ortega, 1987; CIMMYT, 2011).

Grupo de importancia son los insectos que actúan como portadores (vectores) de organismos patógenos (virus, micoplasmas, bacterias y hongos), entre los cuales, los que succionan savia (chicharritas y pulgones) son los más dañinos, como *Dalbulus maidis* y *Dalbulus spp* por la alimentación directa y succión de los jugos de la planta, transmisores de virus y espiroplasmas, incluyendo spiroplasma de achaparramiento del maíz (*Sprioplasma kunkelii*), resultando maíz achaparrado con rayas cloróticas en las hojas jóvenes, hojas de color purpura, macollamiento excesivo y formación de mazorcas estériles; presentan acumulación de fumagina, donde las chicharritas depositan melaza pegajosa mientras se alimentan; *Rhopalosiphum maidis* afecta a las plantas achaparrándolas, presentando manchas amarillas conspicuas y se vuelven rojizas conforme maduran y las plántulas infectadas rara vez maduran (Ortega, 1987; CIMMYT, 2011).

El grupo de los barrenadores ocasionan daño importante en el tallo, con un anillado en el tronco cerca de la superficie del suelo, larvas neonatas

permanecen agrupadas detrás de la vaina foliar y comienzan a roer el tallo y la parte interna de la vaina, penetran el tallo, causan acame, dañan las hojas cuando se van desplegando del verticilo con hileras de pequeños agujeros y perforaciones, ocasiona daño al punto de crecimiento, resultando en hojas marchitas, tonalidad blanquizca y causan muerte de cogollo, retraso en el crecimiento o muerte de la planta, debilitan las plantas principales hasta el acame e interferencia con el agua y la translocación de nutrientes; se alimentan extensivamente de las espigas (panojas), los pedúnculos de las mazorcas, y las mazorcas mismas perforándolas y realizando túneles, resultando en daño a grano y una mayor vulnerabilidad a la pudrición de la mazorca; dentro de este grupo se destacan *Diatraea lineolata*, *D. saccharalis*, *D. grandiosella*, *Busseola fusca*, *Chilo partellus*, *Ostrinia furnacalis*, *Sesamia calamistis* (Ortega, 1987; CIMMYT, 2011).

El grupo de granos almacenados, *Sitotroga cerealella* sus larvas penetran el grano y se alimentan de su interior, también puede infestar el cultivo en campo antes de la cosecha; *Plodia interpunctella*: esta plaga solo ataca el grano almacenado, Gorgojos (*Sitophilus zeamais*, *oryzae* y *granarius*), estos pueden infestar el grano almacenado o las mazorcas de maíz antes de la cosecha convirtiéndose de larva a pupa dentro del grano; (*Rhyzopertha dominica* y *Prostephanus truncatus*) infestan tanto el grano almacenado como las mazorcas maduras en el campo, taladran y consumen los granos (Ortega, 1987; CIMMYT, 2011).

Se presentan otras plagas importantes que afectan la planta como la araña roja (*Tetranychus spp*; *Paratetranychus spp* y *Olygonychus spp*) dañan

la planta desde la etapa de plántula hasta la madurez, perforando y succionando el tejido foliar, secando las hojas, presentando manchas amarillas pálidas (CIMMYT, 2011).

El grupo de las palomillas es el que más daño causa a nivel mundial, conformado de gusanos cortadores (*Agrotis ipsilon*, *Agrotis spp.*, *Peridroma saucia*, *Chorizagrotis auxiliaris*), ocasionan daño al tallo de la planta, cortadas a ras del suelo o ligeramente por debajo de la superficie, ocasiona agujeros en las hojas y márgenes de las hojas y cavidades en la base del tallo, lo que resulta en plantas que tienden a marchitarse y acamarse; gusanos soldados o cogolleros (*Spodoptera spp*; *Spodoptera frugiperda* y *Pseudaletia spp*) ocasionan daños a hojas enteras, mazorca y espigas, tallos cortados en la base; plantas jóvenes pueden ser consumidas durante infestaciones severas; gusano elotero *Helicoverpa zea* causa principalmente daños en la mazorca directo a los granos; (*Euxesta spp*), consumen y recortan el estigma dentro del canal del estigma, reduce la polinización, puntas de la mazorca blancas debido a la alimentación de las larvas, destrucción de los granos en desarrollo, aumento de la vulnerabilidad a la pudrición de mazorca, taladra el punto de crecimiento y provocan cogollo muerto (Ortega, 1987; CIMMYT, 2011).

Dentro de este grupo de plagas se destaca *S. frugiperda*, noctuido que ha sido históricamente manejado con pesticidas químicos y que ha desarrollado resistencia a un sin número de ingredientes activos, por lo que el desarrollo de híbridos transgénicos que expresan la endotoxina insecticida de *B. thuringiensis* ofrecen una opción para controlar estos insectos en campo.

## Generalidades de *Bacillus thuringiensis*

*Bacillus thuringiensis* es el entomopatógeno más conocido, estudiado y extensamente utilizado como agente de control microbiano con más del 90 % del mercado de bioinsecticidas (Glare y O'Callaghan, 2000). Es una bacteria del suelo Gram-positiva, aerobio estricto, flagelado, que mide de 3 a 5  $\mu\text{m}$  de largo por 1 a 1,2  $\mu\text{m}$  de ancho (Figura 7) y presenta una distribución cosmopolita (Gordon *et al.*, 1973 citado por Sauka y Benintende, 2008)

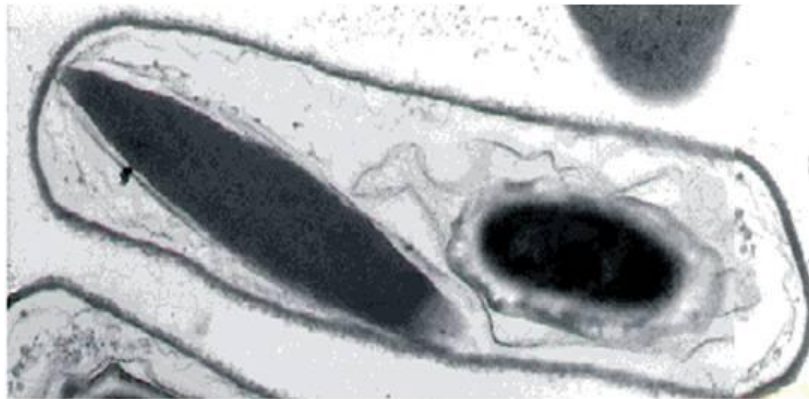


Figura 7. Microfotografía de *Bacillus thuringiensis* en microscopio electrónico de transmisión, cristal proteínico romboide compuesto de toxinas Cry y una espora en proceso. (Fuente: Soberón y Bravo, 2008).

Presenta durante su ciclo de vida dos fases principales: *crecimiento vegetativo* donde las bacterias se duplican por bipartición, y *esporulación*, un proceso de diferenciación de bacteria a espora. Es considerada una bacteria ubicua ya que se ha aislado de todas partes del mundo y de muy diversos sistemas, como suelo, agua, hojas de plantas, insectos muertos, telarañas, etc. A *Bt* se le caracteriza por producir un cuerpo de inclusión generalmente paraesporal conocido como cristal durante su fase de esporulación; el cual es

de naturaleza proteica y tiene propiedades insecticidas altamente específica y de bajo impacto al medio ambiente (Höfte y Whiteley, 1989; Schnepf *et al.* 1998; Joung y Côté, 2000; Soberón y Bravo, 2008).

*Bacillus thuringiensis* pertenece al reino Eubacteria, Phylum Firmicutes, clase Bacilli, orden Bacillales, familia Bacillaceae, genero *Bacillus*, especie *thuringiensis*; nombre binomial *Bacillus thuringiensis* Berliner, 1915 (NCBI, 2011), situado dentro del grupo de Bacilos Gram positivos formadores de una endoespora, dentro de especies con flagelación peritrica. *B. thuringiensis* está dentro del grupo I del género, que es donde se encuentran aquellas especies con espora elipsoidal que no provocan hinchamiento del perfil bacilar. La principal diferencia de *B. thuringiensis* con respecto a otros Bacilos relacionados es la formación durante la fase de esporulación, de uno o más cuerpos cristalinos de naturaleza proteica adyacentes a la espora. El cristal presenta una gran diversidad de formas dependiendo de la proteína que lo constituya, encontrándose cristales bipiramidales, cúbicos, romboidales, esféricos, rectangulares, triangulares e irregulares, y con tamaños variados (Iriarte y Caballero, 2001).

### **Toxinas de *Bacillus thuringiensis***

La definición de proteínas Cry es cualquier proteína paraesporal de *Bt* que presente algún efecto tóxico hacia algún organismo, verificable experimentalmente por medio de bioensayos o cualquier proteína que muestre similitud con las proteínas Cry (Crickmore *et al.*, 1998; Soberón y Bravo, 2008).

Existen dos tipos de  $\delta$ -endotoxinas: las proteínas Cry y las proteínas Cyt (Kati *et al.*, 2007; Soberón y Bravo, 2008) clonados y secuenciados 16 diferentes genes Cyt distribuidos en dos grupos y varios subgrupos y más de 200 diferentes genes Cry distribuidas en 50 grupos y varios subgrupos, cada grupo con cierta especificidad hacia ciertos tipos de insectos (Soberón y Bravo, 2008).

El cristal se compone de subunidades polipeptídicas (protoxina) con diferente peso molecular que oscilan entre 27 y 140 kilodaltons (kDa) las cuales le dan su forma característica (Hofmann *et al.*, 1988; Höfte y Whiteley, 1989; Schnepf *et al.*, 1998). La fracción tóxica se encuentra en la N-terminal media de la proteína y tiene un peso molecular aproximado de 60 a 68 kDa. La masa molecular de la protoxina y de la toxina activa varía en función de la cepa y el procedimiento utilizado para la activación proteolítica (Hofmann *et al.*, 1988).

La importancia de la delta endotoxina de *B. thuringiensis* radica en su selectividad toxica contra larvas de insectos plaga de los ordenes lepidóptera, coleóptera, díptera, himenóptera (hormigas), ácaros y también contra otros invertebrados como nemátodos, gusanos planos y protozoarios (Soberón y Bravo, 2008), importantes en la agricultura y la silvicultura. A raíz de su utilización como bioinsecticida se realizo la clonación del gen cry que codifica para proteínas insecticidas (Schnepf y Whiteley, 1981).

Desde que ocurrió la primera clonación de un gen cry se han aislado muchos otros genes, por lo cual se ha establecido una clasificación de las  $\delta$ -endotoxinas basada exclusivamente en la similitud de la secuencia primaria



(aminoácidos), para indicar los grados de divergencia filogenética permitiendo que las toxinas estrechamente relacionadas se clasificaran en conjunto (Crickmore *et al.*, 1998), de acuerdo a la identidad y está designada por letras y números después de la palabra Cry (cristal) de manera jerárquica ordenadas por filas, la primera fila designada por un número arábigo que corresponde hasta el 45% de identidad (Cry1, Cry2, etc.), la segunda fila cataloga a las proteínas con una letra mayúscula y corresponde a identidades de 45-78% (Cry1A, Cry1B, etc.), la tercera fila asigna una letra minúscula y corresponde a identidades de 78% a 95% (Cry1Aa, Cry1Ab, Cry1Ac, etc.), la última fila incluye un número arábigo al final de la nomenclatura indicando más de 95% de identidad (Cry1Aa1, Cry1Aa2, etc.) (Soberón y Bravo, 2008).

Los genes que especifican una familia de insecticidas relacionados con proteínas (Cry) se dividen en cuatro clases principales, clase I específicamente para lepidópteros, clase II para lepidoptera y díptera, clase III específicamente coleóptera y la clase IV específica para díptera, cada clase con sus respectivas propiedades insecticidas y estructurales (Joung y Côté, 2000).

### **Modo de Acción de *Bacillus thuringiensis***

El mecanismo de acción de las proteínas Cry de *B. thuringiensis* se activan cuando las larvas susceptibles ingieren el complejo espora-cristal. La bacteria sin el cristal no tiene la capacidad de invadir a su huésped. La proteína cristalina es altamente insoluble en condiciones neutras y se solubiliza en el ambiente alcalino de Ph alto (9.5) del mesenteron (intestino medio) del insecto,

una vez disueltas las proteínas del cristal (protoxinas) sufren proteólisis por enzimas (proteasas) presentes en el intestino, una vez solubilizada; la protoxina de 130 KDa se rompe para producir una toxina activa de 55-65 kDa resistente a la proteasa y que comprende la región N terminal. Esta es la toxina activada llamada  $\delta$ -endotoxina la cual adquiere una conformación tridimensional que le confiere gran especificidad para acoplarse a un componente glicoproteico de la membrana de las células epiteliales comúnmente llamado "receptor" (Gill *et al.*, 1992, Escriche y Ferré, 2001; citados por Ibarra, 2007). La unión de la toxina Cry a los receptores (cadherina) del intestino medio tiene como resultado una oligomerización de la toxina (Rausell *et al.*, 2004) para posteriormente unirse al receptor aminopeptidasa y la inserción de la toxina en la membrana apical crea canales iónicos o poros líticos y propicia un desequilibrio de iones resultando en la pérdida de iones  $k^+$  alterando la presión osmótica de las células epiteliales que revisten el intestino medio una vez que las toxinas se insertan a la membrana, seguidos de agua (Figura 8), el exceso de agua en el citoplasma de las células epiteliales provoca una distensión excesiva de los organelos membranosos y de la propia célula en su totalidad, hasta que ésta estalla (Hoffman y Frodsham, 1993; Knowles, 1994; Schnepf *et al.*, 1998; Joung y Côté, 2000; Kati *et al.*, 2007; Soberón y Bravo, 2008).

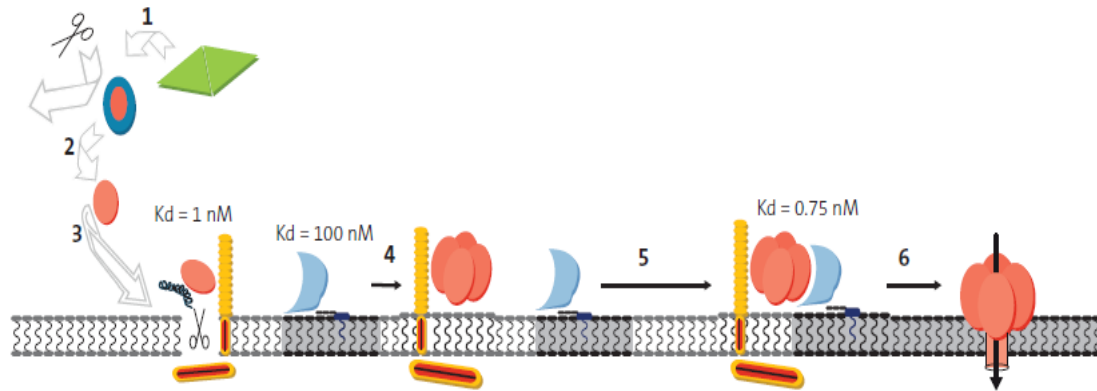


Figura 8. Esquema de los diferentes eventos en el modo de acción de las proteína Cry de *Bacillus thuringiensis*. 1. Solubilización, 2. Rompimiento de protoxina, 3. Unión al receptor cadherina, 4. Formación de Pre-poro, 5. Unión receptor aminopeptidasa, 6. Inserción toxina. Fuente Soberón y Bravo, 2008.

Unas pocas células dañadas podrían ser reemplazadas rápidamente por otras nuevas sin que ocurran consecuencias fatales; sin embargo cantidades suficientes de  $\delta$ -endotoxina normalmente destruyen amplias áreas del epitelio, las cuales se manifiestan en huecos por donde pasa el contenido altamente alcalino del mesenterón hacia la hemolinfa (que presenta un pH casi neutro) y la hemolinfa hacia el lumen del mesenterón.

Estos dos fenómenos traen consigo dos consecuencias dañinas para el insecto. Por un lado, el pH estomacal baja por compensación al aumentar el pH de la hemolinfa y la conducción nerviosa cesa. Esto implica que cesa la ingesta, el sistema digestivo se paraliza, parálisis total, diarrea, la larva se vuelve flácida, las células epiteliales se lisan y se detiene el daño a la planta atacada y; por otro lado la disminución en el pH crea un ambiente favorable para la germinación de las esporas ingeridas junto con los cristales iniciando la proliferación de las bacterias en el individuo paralizado y finalmente la larva

muere por septicemia e inanición al cabo de unos días (Figura 9) (Schnepf *et al.*, 1998; Gill *et al.*, 1992, citado por Ibarra, 2007; Soberón y Bravo, 2008).

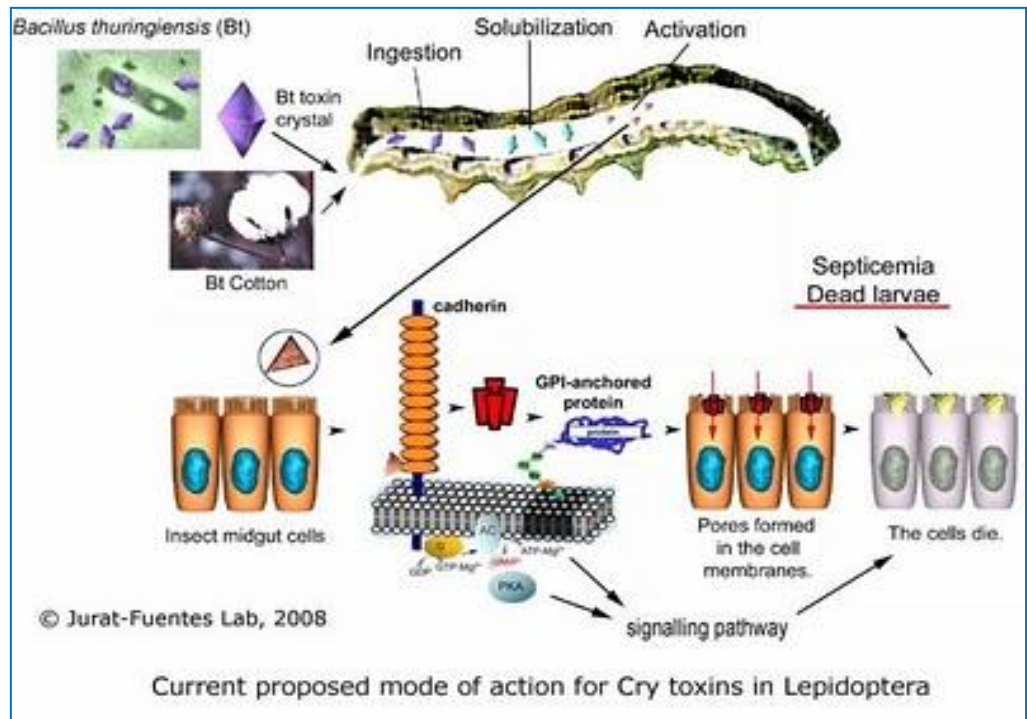


Figura 9. Modo de acción de la  $\delta$ -endotoxina de *Bacillus thuringiensis*.

A pesar de que las larvas muertas contienen algunas esporas y cristales debido a que proliferan en los cadáveres, éstas normalmente no representan focos de infección para otros individuos. Además, en el cadáver se presentan mayormente otras bacterias saprófitas presentes en el tracto digestivo, las cuales compiten con *Bt*. Se ha reportado que en realidad son las bacterias propias del tracto digestivo las que provocan la septicemia y finalmente la muerte del insecto (Broderick *et al.*, 2006).

## Importancia de *Bacillus thuringiensis*

*B. thuringiensis* es el insecticida biológico más utilizado comercialmente, y tradicionalmente se ha ocupado para el control de insectos plaga en la agricultura (Schnepf *et al.*, 1998; Lambert y Peferoen, 1992, citado por Carmona, 2002; Soberón y Bravo, 2008). Una característica importante de las proteínas Cry producidas por *Bt* es que son altamente específicas hacia los insectos objetivo e inocuos a mamíferos, vertebrados, plantas e inclusive otros insectos benéficos (depredadores y parasitoides) y polinizadores como las abejas (Soberón y Bravo, 2008; [www.cls.casa.colostate.edu](http://www.cls.casa.colostate.edu)). Sin duda las toxinas Cry producidas por *Bt* se acercan al ideal de un insecticida específico contra su insecto blanco, que no contamina el ambiente y no genera poblaciones de insectos resistentes (Soberón y Bravo, 2008).

Sin embargo la supervivencia o persistencia de las endosporas y su patogenicidad entre los cultivos es afectada por factores abióticos como la radiación solar, la temperatura de las hojas y el déficit de presión de vapor (Leong *et al.*, 1980), además las esporas de *B. thuringiensis* pueden sobrevivir por algunos años, aunque la población y la toxicidad declina rápidamente se ha observado que la presencia y actividad se mantiene hasta por 3 años en suelos estériles, mientras que en suelos no estériles se pierde hasta el 50 % de actividad en los primeros 7 días (Schnepf *et al.*, 1998) y las  $\delta$ -endotoxinas, pueden sobrevivir en la mayoría de los tipos de suelos, sin embargo en suelos con un Ph de 4.8 estas no se desarrollan (Saleh *et al.*, 1970, citado por Joung y Côté, 2000).

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

### **Cultivos Genéticamente Modificados**

Desde los inicios de la agricultura la producción de híbridos mediante el mejoramiento genético tradicional de distintas variedades ha sido usada como una técnica de producción agrícola, cruces desarrollados a través de los métodos convencionales en variedades similares. Estas especies, tanto animal como vegetal, son el resultado de miles de años de evolución. El entrecruzamiento tradicional es el resultado de un proceso natural de reproducción sexual dentro de la misma especie, en el cual la información hereditaria de ambos padres se combina y pasa a la progenie.

En el mejoramiento tradicional el fitomejorador trata de reunir una combinación de genes en una planta de cultivo que la hagan tan útil y

productiva como sea posible. Según dónde y para qué propósito se cultive la planta, los genes deseables pueden proporcionar características tales como un mayor rendimiento o mejor calidad, resistencia a plagas o enfermedades o tolerancia al calor, el frío y sequía, prolongar la maduración enzimática, crecer en condiciones diferentes de foto periodicidad, etc.

Combinar los mejores genes en una sola planta es un proceso largo y difícil, en especial cuando se ha limitado al cruzamiento artificial dentro de la misma especie o entre especies estrechamente emparentadas para reunir diferentes genes. Por ejemplo, un gen para aumentar el contenido proteínico de la soya no podía ser transferido a un cultivo completamente distinto como es el maíz usando las técnicas tradicionales ([www.cls.casa.colostate.edu](http://www.cls.casa.colostate.edu)).

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

La modificación genética implica, mediante técnicas de biología molecular e ingeniería genética, tomar un gen particular que determine alguna característica peculiar de un organismo de diferente especie, aun entre

animales y plantas y transferirlo a otro (Fraire, 2006), con excepción de los seres humanos para adquirir una combinación genética novedosa (LBOGM, 2005).

Esta secuencia génica insertada llamada transgén (transgénico) a menudo llamado genéticamente modificado, si bien en realidad todos los cultivos agrícolas han sido genéticamente modificados con respecto a su estado silvestre original mediante domesticación, selección y mejoramiento controlado a través de periodos prolongados. Para desarrollar un organismo genéticamente modificado se requiere iniciar con la identificación y localización de los genes que determinan características importantes desde el punto de vista agrícola cuya etapa es la más limitante en el proceso transgénico. En general, no basta identificar a un solo gen relacionado con una característica; se debe conocer cómo está regulado el gen, otros efectos que podría tener en la planta y cómo interactúa con otros genes activos en la misma vía bioquímica, identificado y aislado debe ser sometido a varias modificaciones antes de que pueda ser efectivamente insertado en una planta ([www.cls.casa.colostate.edu](http://www.cls.casa.colostate.edu)).

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



promotor constitutivo usado más común es CaMV35S, proveniente del virus del mosaico de la coliflor, que generalmente produce un alto grado de expresión en las plantas. Otros promotores son más específicos y responden a señales indicadoras en el medio interno o externo de la planta.

2. El gen clonado es modificado para lograr una mayor expresión en una planta (opcional, depende de cada caso). El gen *Bt* para resistencia a insectos es de origen bacteriano y tiene un porcentaje más elevado de pares de nucleótidos A-T, en comparación con las plantas, que cuentan con mas pares de nucleótidos G-C. En una modificación inteligente, se sustituyeron los nucleótidos A-T con G-C en el gen *Bt*, responsables de la poliadenilación temprana del mensajero y eliminación de secuencias responsables de la inestabilidad y procesamiento del ARNm, sin modificar considerablemente la secuencia de aminoácidos. El resultado es una mayor producción del producto génico en las células de la planta.

3. La secuencia de terminación indica a la maquinaria celular que se ha alcanzado el final de la secuencia génica.

4. Se agrega un gen marcador seleccionable al "constructo" génico con el fin de identificar células o tejidos de la planta que han integrado con éxito el transgén. Esto es necesario porque rara vez se produce la incorporación y expresión de transgenes en células de plantas, generalmente se logra apenas un pequeño porcentaje de tejidos o células beneficiarias. Los genes marcadores seleccionables codifican proteínas que proporcionan resistencia a agentes normalmente tóxicos para las plantas, como los antibióticos o herbicidas. Sólo las células vegetales que han integrado el gen marcador seleccionable

sobrevivirán cuando se les cultive en un medio que contenga el antibiótico o herbicida pertinente. En cuanto a otros genes insertados, los genes marcadores también requieren secuencias promotoras y de terminación para funcionar en forma apropiada (Figura 10) ([www.cls.casa.colostate.edu](http://www.cls.casa.colostate.edu)). El traspaso de un gen de un organismo a otro es posible ya que, salvo algunas excepciones, todos los organismos vivos (bacterias, vegetales, animales) poseen el mismo sistema de codificación y expresión de la información genética. La universalidad del soporte de la información genética, el ADN, nos ofrece la posibilidad teórica de que un organismo pueda manifestar una información procedente de cualquier otro ser vivo ([www.Unesco.org](http://www.Unesco.org)).



Figura 10. Representación simplificada de un transgén construido, que contiene los componentes necesarios para la integración y expresión con éxito.

La manipulación genética implica sacar segmentos elegidos del ADN de una especie e incorporarlos en vectores, que pueden ser plásmidos, otras bacterias o virus, para facilitar su introducción en una célula diferente, aunque también puede darse mediante micro inyecciones u otros procedimientos de manipulación con alta tecnología de laboratorio (Carvajal, 2002).

El método mas utilizado es con la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*, que naturalmente infecta dicotiledóneas a través de heridas, transfiriendo una región de un plásmido que posee, conocido como "Ti", un fragmento de ADN no

cromosómico (libre en el citoplasma), dotado de capacidad de replicación autónoma (Figura 11) (Rodríguez *et al.*, 2003).

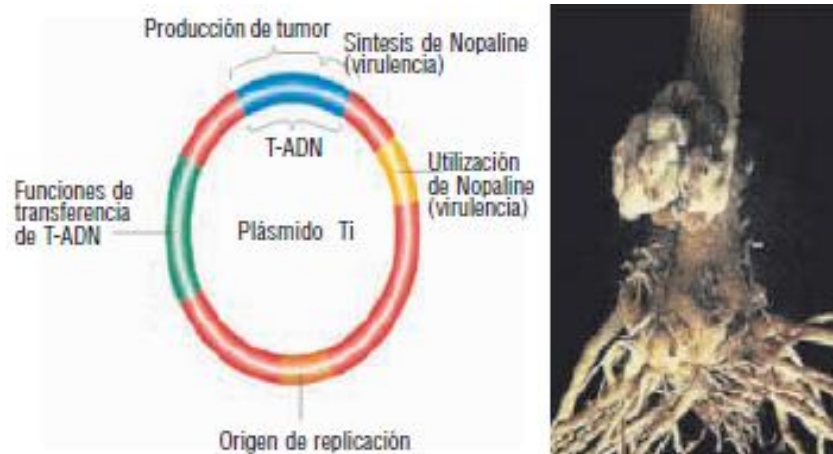


Figura 11. Plásmido Ti de *Agrobacterium tumefaciens* inductor de tumores, utilizado en la transgénesis.

Esta región, que se incorpora al genoma de la célula vegetal, contiene genes que codifican proteínas importantes para la infección, de esta manera el ADN bacteriano se integra en un cromosoma de la planta, se apodera efectivamente de la maquinaria celular de ésta y la usa para asegurar la proliferación de la población bacteriana, causando enfermedades caracterizadas por agallas. Este sistema natural ha sido modificado de manera que disminuyan las alteraciones que produce durante la infección y posibilitar el transporte de genes foráneos. Así, pueden construirse sistemas que integran un gen deseado al genoma de una célula vegetal para obtener en forma simple plantas transgénicas ([www.educaciencias.gov](http://www.educaciencias.gov); [www.cls.casa.colostate.edu](http://www.cls.casa.colostate.edu)).

El ADN de una célula de *A. tumefaciens* está contenido en el cromosoma bacteriano y en otra estructura llamada plásmido Ti (inductor de tumores). El

plásmido Ti contiene (Figura 11): Un segmento de ADN llamado ADN-T (~20 kb de largo) que es transferido a la célula de la planta en el proceso de la infección y una serie de genes vir (virulencia) que dirigen el proceso de infección ([www.cls.casa.colostate.edu](http://www.cls.casa.colostate.edu)).

La bacteria *A. tumefaciens* sólo puede infectar a una planta a través de lesiones. Cuando la raíz o el tallo de una planta sufren una lesión, emite ciertas señales químicas. En respuesta a esas señales los genes vir de *A. tumefaciens* se activan y dirigen una serie de acontecimientos necesarios para la transferencia del ADN-T desde el plásmido Ti al cromosoma de la planta. Distintos genes vir: Copian el ADN-T; unen un producto a la hebra del ADN-T copiado para que actúe como líder; agregan proteínas a lo largo del ADN-T, posiblemente como mecanismo de protección y abren un canal en la membrana celular bacteriana a través del cual pasa el ADN-T ([www.cls.casa.colostate.edu](http://www.cls.casa.colostate.edu)).

El ADN-T entra entonces en la célula de la planta a través de la lesión, se traslada desde el citoplasma al núcleo de la célula de la planta y se integra en el cromosoma de la planta. Generalmente el ADN de la planta no existe como una hebra expuesta sino que está envuelto con proteínas histonas y tiene una estructura súper enrollada. Una vez que el ADN de la planta está siendo replicado o transcrito, entonces se inserta en el ADN expuesto de la planta. Para utilizar *A. tumefaciens* como vector, se elimina el ADN-T inductora de tumores y se conservan las regiones fronterizas del ADN-T y los genes vir ([www.cls.casa.colostate.edu](http://www.cls.casa.colostate.edu)).

Posteriormente para obtener plantas completas a partir de tejidos transgénicos como embriones inmaduros, se cultivan éstos en condiciones ambientales controladas en medios que contienen nutrientes y hormonas, proceso conocido como cultivo de tejidos (Figura 12). Una vez que se generan plantas completas y éstas producen semillas, comienza la evaluación de la progenie ([www.ls.casa.colostate.edu](http://www.ls.casa.colostate.edu)).

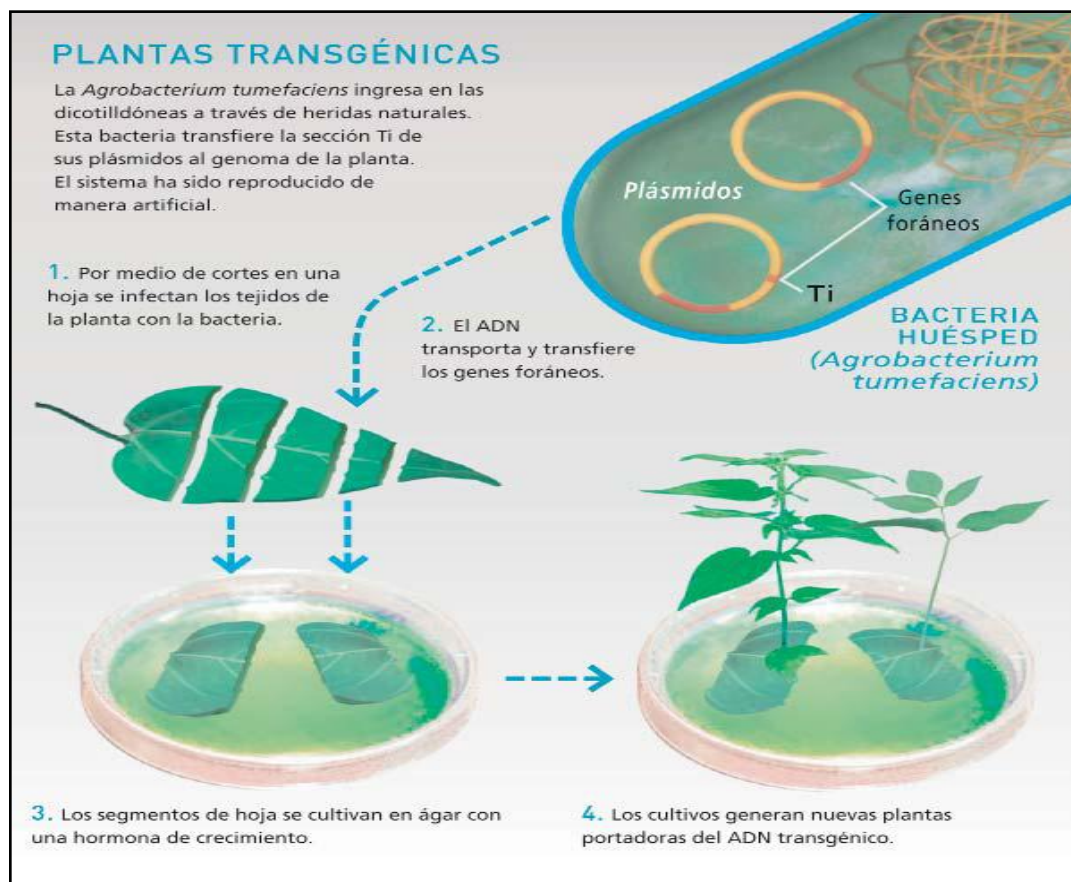


Figura 12. Proceso de transformación de una planta a transgén mediante *Agrobacterium tumefaciens*.

## Situación actual e importancia de los cultivos genéticamente modificados.

A 15 años de la comercialización de cultivos biotecnológicos, plantados por primera vez en 1996. Los considerables beneficios económicos, ambientales y sociales que ofrece este tipo de cultivos han llevado a millones de agricultores de todo el mundo —grandes, pequeños y pobres— a seguir aumentando la superficie agrobiotecnológica, con una superficie acumulada histórica mundial de 1996 a 2010 que supera por primera vez los mil millones de hectáreas, con un total de 148 millones de hectáreas en 2010, y un total de 29 países productores de cultivos biotecnológicos (Figura 13) (James, 2010).

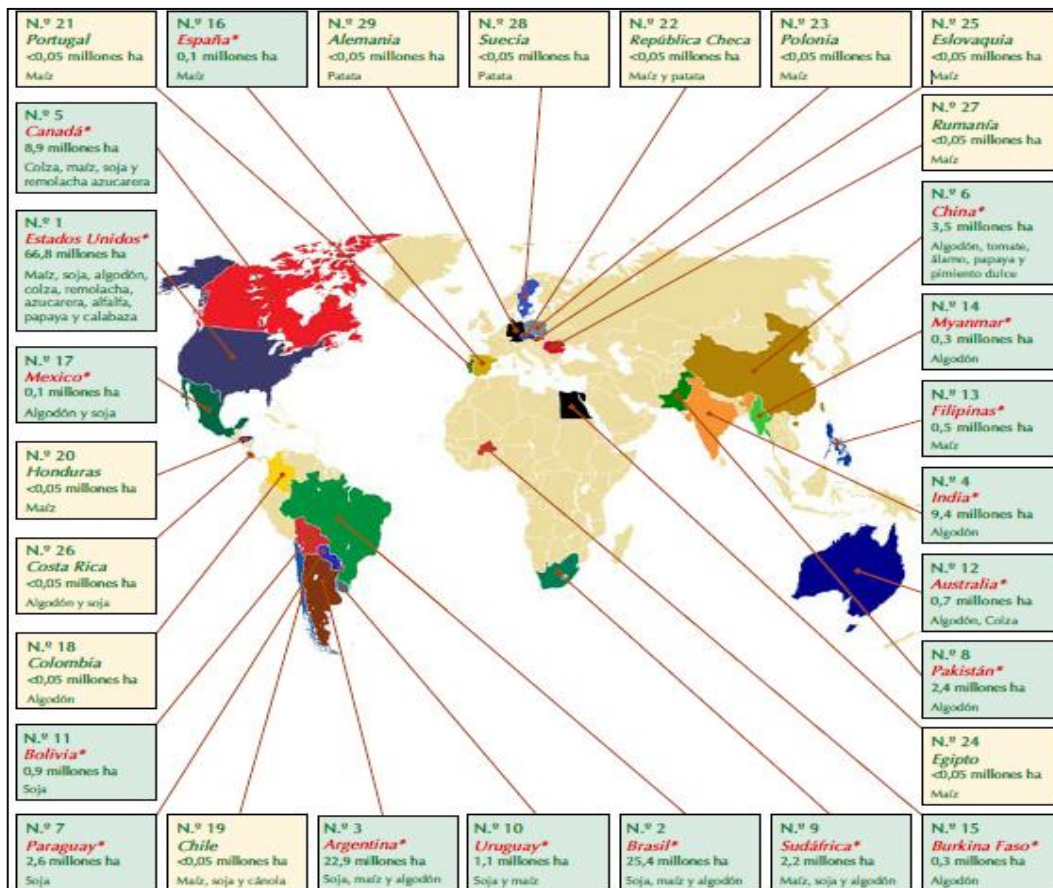


Figura 13. Países y megapaíses con cultivos Biotecnológicos en el año 2010. Fuente: James, 2010.

Destacándose en 2010 por primera ocasión a los diez primeros países productores que cultivaron más de 1 millón de hectáreas cada uno, sobresaliendo Estados Unidos con 66.8 millones, seguido de Brasil, Argentina, India, Canadá, China, Paraguay, Pakistán, Sudáfrica y Uruguay; con cultivos como maíz, soya, algodón, colza, remolacha azucarera, alfalfa, papaya, calabaza, tomate, álamo y pimiento dulce, sobre el resto de naciones que sembraron una superficie menor, dentro de estos últimos México en la posición 17 con 0.1 millón de hectáreas, con cultivos como algodón y soya (Cuadro 3) (James, 2010), además en 2011 se solicitaron 15 y autorizaron 14 permisos al CIMMYT para experimentar con trigo genéticamente modificado para resistencia a sequía en Tlaltizapan, Morelos y cuatro permisos para algodón Bollgard II/Solución faena en fase comercial para Chihuahua, Coahuila, Durango, Baja California y Sonora y en 2012 una solicitud para siembra comercial de Soya resistente a herbicida para Quintana Roo, San Luis Potosí y Tamaulipas (SENASICA, 2012b).

EL cultivo de maíz GM en nuestro país desde el 2009 se encuentra en etapa de experimentación con 166 solicitudes recibidas para la siembra de dicho cultivo en etapa experimental, y 31 para programa piloto, dando un total de 197 solicitudes, esto con el fin de recabar datos en la etapa de experimentación sobre la eficacia biológica del gen y las características de efectividad agronómica bajo la aplicación de estrictas medidas de bioseguridad para asegurar que no exista dispersión involuntaria del polen de maíz GM en estudio y en programa piloto, además; evaluar condiciones de costo-beneficio en el uso de la Biotecnología, aplicando las mismas medidas de bioseguridad.

Sin embargo solo se han otorgado 157 permisos para la liberación al ambiente de maíz GM en etapa experimental, distribuidas en los estados de Sin., Son., Chih., Tamps., Coah., y Dgo. En cuanto a permisos en programa piloto se han otorgado siete; uno en 2010 para el estado de Tamaulipas y seis en 2011 para el estado de Sinaloa y Tamaulipas; para el 15 de mayo de 2012 se han ingresado 11 solicitudes en espera de permiso para su siembra en 2013, seis para experimento y cinco en programa piloto con estatus de análisis de riesgo, para los estados de Nayarit, Chih., Coah. y Dgo. (SENASICA, 2012a).

Cuadro 3. Área (millones de hectáreas) Global de Cultivos Biotecnológicos por país en el año 2010.

Rank	Country	Area (million hectares)	Biotech Crops
1	Estados Unidos*	66,8	Maíz, soja, algodón, colza, remolacha, azucarera, alfalfa, papaya y calabaza
2	Brasil*	25,4	Soja, maíz y algodón
3	Argentina*	22,9	Soja, maíz y algodón
4	India*	9,4	Algodón
5	Canadá*	8,8	Colza, maíz, soja y remolacha azucarera
6	China*	3,5	Algodón, tomate, álamo, papaya y pimienta dulce
7	Paraguay*	2,6	Soja
8	Pakistán*	2,4	Algodón
9	Sudáfrica	2,2	Maíz, soja y algodón
10	Uruguay*	1,1	Soja y maíz
11	Bolivia*	0,9	Soja
12	Australia*	0,7	Algodón, Colza
13	Filipinas*	0,5	Maíz
14	Myanmar*	0,3	Algodón
15	Burkina Faso*	0,3	Algodón
16	España*	0,1	Maíz
17	México*	0,1	Algodón y soja
18	Colombia	<0.1	Algodón
19	Chile	<0.1	Maíz, soja y cáñola
20	Honduras	<0.1	Maíz
21	Portugal	<0.1	Maíz
22	República Checa	<0.1	Maíz y patata
23	Polonia	<0.1	Maíz
24	Egipto	<0.1	Maíz
25	Eslovaquia	<0.1	Maíz
26	Costa Rica	<0.1	Algodón y soja
27	Rumanía	<0.1	Maíz
28	Suecia	<0.1	Patata
29	Alemania	<0.1	Patata
<b>Total</b>		<b>148.0</b>	

17 \*Megapaíses biotecnológicos con un mínimo de 50,000 hectáreas agrobiotecnológicas  
Fuente: James, 2010.



Es importante hacer notar que una gran parte del maíz amarillo que se está consumiendo en México es GM, importado de Estados Unidos, a razón de 7.23 millones de toneladas aproximadamente por año; por lo que es necesario avanzar en el uso de la Biotecnología para depender menos de las importaciones, fomentando la producción nacional, tomando en cuenta que en la actualidad la siembra a nivel mundial de este cultivo se ha visto impactada negativamente por el cambio climático (CIBIOGEM, 2010).

Este crecimiento sin precedentes convierte a los cultivos biotecnológicos en la tecnología que más rápida aceptación ha encontrado en la historia de la agricultura moderna, puesto que los cultivos biotecnológicos ya contribuyen a resolver algunos de los principales problemas que se plantean a la sociedad global, como la seguridad y la autosuficiencia alimentaria, la sostenibilidad, la lucha contra la pobreza y el hambre, y la mitigación de algunos de los retos asociados al cambio climático y al calentamiento global (James, 2010), a pesar de las controversias sobre los riesgos de estos cultivos para la salud humana y el medio ambiente (Kotchoni *et al.* 2005).

Los cultivos biotecnológicos ya realizan una importante contribución a las explotaciones agrícolas, incrementando la productividad por hectárea y reduciendo al mismo tiempo los costos de producción, gracias a que necesitan menos mano de obra, menos roturación; lo que economiza el suelo y la humedad optimizando las prácticas agrícolas; incrementa la productividad de las hectáreas de cultivo y con ello previene la deforestación y protege la biodiversidad de los bosques y otros refugios naturales; hay menor aplicación

de plaguicidas y herbicidas; esto último origina un ahorro de combustibles fósiles y descenso de emisiones de CO<sub>2</sub>; además de el empleo de métodos de labranza de conservación con cultivos GM alimento, forraje y fibra tolerante a herbicidas (que necesitan poco o ninguna roturación) (James, 2010).

Además que proveen una mejora en las limitaciones nutricionales y de la producción, ya que algunos cultivos son difíciles de cultivar en climas muy particulares que no permiten la producción, como temperaturas muy bajas; así mismo esta tecnología ha beneficiado en el control de plagas y enfermedades; cultivos de semillas oleaginosas para producir aceite de composición particular para una mejora en el valor nutritivo, cereales modificados para contenido de almidón o proteínas. Cultivos con tolerancia a altas concentraciones de aluminio (Conway, 2000; James, 2003; Nap *et al.*, 2003, citados por Kotchoni *et al.* 2005).

La salud humana se ha visto beneficiada con cultivos modificados genéticamente para la mejora vitamínica, caso del arroz para producción de beta caroteno, precursor de la vitamina A, desarrollo de vacunas orales contenidas en frutas, como el plátano; modificado para producir un antígeno que se encuentra en la capa externa del virus de la hepatitis B. Los aceites vegetales también se han modificando para ajustar los niveles de colesterol. Alimentos GM que contienen proteínas como la taumatina, útil para los diabéticos (James, 2002; James; 2003; citado por Kotchoni *et al.*, 2005).

En factor económico han contribuido a una reducción en insumos (plaguicidas, fertilizantes y agua). Menor daño ocasionado por plagas, aumento

en el rendimiento e utilidades. Cultivos GM para mayor vida de anaquel (retraso en la madurez fisiológica), especialmente cuando se exporta y genera ganancias excelentes para el productor, pues su valor comercial no decrece (Kotchoni *et al.*, 2005). El sector campesino que depende totalmente de la agricultura para subsistir, los cultivos genéticamente modificados contribuyen a la lucha contra la pobreza y el hambre al aumentar los rendimientos de los pequeños agricultores (James, 2010).

### **Cultivos genéticamente modificados resistentes a insectos**

Las principales características que se introducían a los productos agrícolas están dominadas por las necesidades del productor y del consumidor. En un principio, las modificaciones genéticas estuvieron regidas por las necesidades en el campo, enfocado a una mayor productividad. Posteriormente se comenzó con el mejoramiento de la composición determinada por las distintas necesidades de la industria y de los consumidores, enmarcándose en tres aspectos: Tolerancia a herbicidas, mejora de características de interés (contenido nutricional) y resistencia a plagas (virus e insectos) (Rodríguez y González, 2007).

El ataque por insectos representa uno de los aspectos más importantes del cultivo vegetal. Son numerosas las plagas de todo tipo de plantas producidas por muchos insectos. Su interés es enorme desde el punto de vista económico, incluyendo no solo la pérdida de cosechas sino los gastos necesarios para su control y prevención, por lo general de tipo químico. No

puede olvidarse, tampoco, su repercusión social, por la merma en el abastecimiento ciudadano de alimentos de primera necesidad, en particular en países subdesarrollados, un buen ejemplo de cultivos modificados genéticamente para resistencia a insectos está mediado por la proteína producida por *Bacillus thuringiensis*, denominada  $\delta$ -endotoxina, que resulta tóxica, selectivamente, para muchos insectos. De ella se han descrito diferentes variantes cada una de las cuales posee una acción diferente, como la Cry I, tóxica para lepidópteros, la Cry III toxica para coleópteros o la Cry IV para dípteros. A las plantas transgénicas que incorporan estos genes se les denomina plantas *Bt* (Rodríguez *et al.*, 2003).

Para el año 2010 los cultivos con eventos para resistencia a insectos ocuparon el 17 % correspondiente a 26.3 millones de hectáreas de 148 millones totales de la superficie mundial de cultivos biotecnológicos. En México solo dos tipos de cultivos genéticamente modificados se han introducido para su programa piloto: soya y algodón tolerante a herbicida y algodón *Bt* resistente a insectos; aunque no se ha aprobado ningún cultivo, las cantidades que actualmente se siembran son representativas a nivel mundial con aproximadamente 0.1 millón de hectáreas (James, 2010). Con respecto al maíz, su homologo transgénico para tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos ha sido motivo de gran debate.

México, realizó con éxito los primeros ensayos de campo con maíz *Bt*, tras una moratoria de once años que impedía realizar ensayos en campo con maíz biotecnológico, que demostró la eficacia de la biotecnología para el control

de plagas de insectos y malezas, con resultados coherentes con la experiencia internacional de comercialización de maíz biotecnológico en más de 10 países de todo el mundo durante 15 años. Ensayos siguientes servirán para realizar una evaluación semicomercial del maíz biotecnológico. Con estos ensayos se obtendrá información valiosa sobre la aplicación de medidas de seguridad biológica adecuadas que permitan la coexistencia del maíz biotecnológico y convencional de forma realista y pragmática, así como datos precisos de relación costo-beneficio para los agricultores (James, 2010).

La introducción de plantas transgénicas a nuestro país ha sido estrictamente regulada, y el caso de la introducción de maíz transgénico reviste singular importancia, dado que Mesoamérica es sitio fundamental en la evolución del maíz, donde aún existen sus posibles ancestros, y es necesario evaluar el impacto del maíz transgénico sobre las poblaciones de sus ancestros, la posibilidad de que los transgenes eventualmente pudieran introducirse en plantas silvestres. Un uso racional de esta tecnología redundará sin duda en mayor producción al resolver el grave problema agrícola del ataque de insectos, así como evitar la contaminación del medio ambiente con pesticidas químicos y la exposición de los agricultores a estos agentes químicos (Soberón y Bravo, 2008) y se teme que las variedades transgénicas ejerzan un impacto negativo sobre las poblaciones de artrópodos benéficos.

## Impacto en Artrópodos no Blancos

Los cultivos *Bt* son utilizados para el control específico de insectos pertenecientes a tres órdenes: lepidópteros, dípteros y coleópteros. En el caso del Maíz *Bt*, la expresión de la proteína Cry le confiere resistencia a lepidópteros como *Diatraea saccharalis*, *Heliothis virescens*, *Helicoverpa zea*, *Platyedra gossypiella*, *Spodoptera frugiperda*, etc. En un agro-ecosistema además de los insectos blanco de la toxina expresada, se presenta toda una red trófica que incluye a artrópodos pertenecientes ó no a los órdenes antes mencionados y que están en contacto con los cultivos. Dentro de los artrópodos que no son blanco de la toxina se encuentran lepidópteros que pueden ser afectados por la misma, otros insectos fitófagos, depredadores, parasitoides y polinizadores. La mayoría de ellos entrarían en contacto con la proteína Cry al consumir partes de la planta directa o indirectamente en las cadenas tróficas pudiendo quedar expuestos a la acción tóxica a pesar de que la proteína expresada posee una alta especificidad respecto a insectos lepidópteros y que se desconoce la presencia del receptor en sus aparatos digestivos (Groot y Dicke, 2002, tomado de Permingeat y Margarit, 2005). Es posible que las variedades transgénicas puedan alterar la biodiversidad por sus efectos en el ambiente y en otras especies no emparentadas que no son el objetivo o blanco del desarrollo de una variedad transgénica particular (Álvarez, s/f).

Se ha discutido sobre si la expresión de toxinas de los cultivos transgénicos en el medio ambiente puede dañar a insectos que no son plagas y sí son benéficos. Un caso muy estudiado y que fue causa de gran controversia

corresponde al informe de Losey *et al.* (1999) donde presentaron evidencia de que el polen de maíz transgénico depositado sobre las hojas de las asclepias de las que se alimentan las larvas de la mariposa monarca afectaba significativamente la sobrevivencia y crecimiento de las larvas de esta mariposa en condiciones de laboratorio, y ellos mismos reconocieron la necesidad de hacer estudios en campo.

Como respuesta a este trabajo, muchos investigadores exploraron los efectos del polen de maíz *Bt* en larvas de mariposa monarca y otras, tanto en condiciones de laboratorio como en condiciones naturales, no faltaron las controversias: en algunos casos se descubrieron efectos sobre el crecimiento y la sobrevivencia de algunos estadios larvarios, aunque en otros estudios no se observaron diferencias significativas con estos parámetros entre las larvas expuestas a polen de maíz *Bt* y los controles. El resultado general más importantes es que los efectos dependen de los niveles de exposición y del evento del que se trate (de la variedad específica de *Bt*), y los niveles de exposición que se esperan en el campo son muy bajos.

Aun cuando los efectos documentados en el caso del maíz *Bt* en campo parecen prácticamente inexistentes, es claro que los efectos ecosistémicos de los transgenes son posibles y por tanto resulta importante extender este tipo de investigación a todos los eventos liberados al ambiente y que se esclarezca el efecto sobre organismos no blanco, destacando aquellos que impactan a insectos benéficos: depredadores y parasitoides de los organismos blanco de los transgenes y a agentes útiles en la polinización entre plantas (Álvarez, s/f).

## ARTICULO

### **Efectividad Biológica del Maíz Genéticamente Modificado para control de *Spodoptera frugiperda*.**

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

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Parasitología. Calzada Antonio Narro No. 1923, C.P. 25315. Buenavista, Saltillo; Coahuila, México.

## RESUMEN

Se evaluó material genéticamente modificado (GM) con la tecnología GM1, GM2 y GM3 sobre *S. frugiperda* en parcelas de maíz bajo un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, cada bloque con doce tratamientos (GM2 sin aplicación insecticida, GM2 con control de plagas (CP), híbrido convencional GM2 + CP, híbrido convencional GM2 sin control de plagas, GM1 sin aplicación de insecticida, GM1 + CP, híbrido convencional GM1 + CP, híbrido convencional GM1 sin aplicación de insecticida, GM3 sin aplicación de insecticida, GM3 + CP, híbrido convencional GM3 + CP e híbrido convencional GM3 sin aplicación de insecticida) y cada tratamiento con seis surcos de 5 m lineales de largo y un espacio entre surcos de 0.8 m. la evaluación se hizo en Díaz Ordaz, Tamaulipas en el ciclo otoño-invierno 2011.



Los resultados se analizaron mediante el software SAS con comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ). Los híbridos de maíz GM ejercen un excelente control sobre poblaciones de *S. frugiperda* con un porcentaje de daño foliar de 0.02 y 0.06, 0.05 y 0.09 y 1.8 y 2.9 con control y sin control de insectos para la tecnología GM2, GM1 y GM3 y de 6.5 y 9, 7.2 y 9 y 9 y 9 para sus isógenos en las tecnologías GM2, GM1 y GM3, indicando claramente la efectividad de la tecnología hacia este insecto con un excelente control y con mejores resultados que el manejo convencional con insecticidas foliares; donde el daño observado en la tecnología es resultado de la alimentación de la plaga sobre el cultivo, ya que el insecto tiene que alimentarse del tejido para que la proteína de *Bt* tenga efecto insecticida sobre las larvas de este lepidóptero.

**Palabras clave:** Maíz genéticamente modificado, *Bacillus thuringiensis*, *Spodoptera frugiperda*.

## ABSTRACT

The effect of genetically modified (GM) technology with GM1, GM2 and GM3 on *S. frugiperda* in maize fields under a complete block design with four replications, each block with twelve treatments (GM2 without insecticide application, GM2 with pest control (CP), hybrid conventional GM2+CP, GM2 conventional hybrid control pests without, GM1 without application of insecticide, GM1 + CP, hybrid conventional GM1+ CP, GM1 conventional hybrid without insecticide application, GM3 without application of insecticide, GM3 + CP, GM3 conventional hybrid + CP and GM3 conventional hybrid without insecticide application) and each treatment with six rows 5 m long and linear row spacing of 0.8 m. The evaluation was done on Díaz Ordaz, Tamaulipas in the fall-winter 2011. The results were analyzed using SAS software to compare means of Tukey ( $P \leq 0.05$ ). GM maize hybrids exert excellent control on populations of *S. frugiperda* with a percentage of leaf damage of 0.02 and 0.06, 0.05 and 0.09 and 1.8 and 2.9 with no control and insect control technology for GM2, GM1 and GM3 and 6.5 and 9, 7.2 and 9, and 9 and 9 for their isogenes in technologies GM2, GM1 and GM3, clearly indicating the effectiveness of technology to this insect with excellent control and with better results than conventional management with foliar insecticides, where the damage seen in technology, is

the result of feeding of the pest on the crop, because the insect has to feed the tissue for Bt protein having insecticidal effect on larvae of Lepidoptera.

**Key words:** Maize genetically modified, *Bacillus thuringiensis*, *Spodoptera frugiperda*.

## INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cultivos más importantes del mundo. Es la especie agrícola más diversa y buena parte del territorio mexicano forma parte de su centro de origen y es uno de sus centros actuales de diversidad (CONABIO, 2006) con importancia desde el punto de vista alimenticio, industrial, político, cultural y social.

Es el principal cereal con una superficie sembrada de 7, 860,705.49 hectáreas y una producción de 23, 301, 878.98 toneladas; por encima de otros cereales como el trigo, sorgo, cebada, arroz y avena principalmente, siendo los estados con mayor producción Sinaloa con 5, 227,872.02 toneladas y Jalisco con 3, 395,071.76 toneladas y un rendimiento de 9.96 y 6 ton/ha respectivamente (SIAP, 2011).

El maíz blanco es el que se produce exclusivamente para el consumo humano en virtud de su alto contenido nutricional; por lo que es posible generar una gran cantidad de productos finales e insumos al sector industrial ([www.financierarural.gob.mx](http://www.financierarural.gob.mx); SIAP, 2011).

Sin embargo en la producción dentro de sus limitantes, el ataque por insectos representa uno de los aspectos más importantes del cultivo vegetal.

Son numerosas las plagas de todo tipo con gran interés desde el punto de vista económico, incluyendo no solo la pérdida de cosechas sino los gastos necesarios para su control y prevención, por lo general de tipo químico, no puede olvidarse, tampoco, su repercusión social, por la merma en el abastecimiento ciudadano de alimentos de primera necesidad (Rodríguez *et al.*, 2003).

Se destaca *Spodoptera frugiperda*, plaga que han generado resistencia a un sin número de insecticidas sintéticos por lo cual no puede ser controlado, además de la contaminación ambiental que estos generan. El avance de la ciencia y tecnología generó una opción para el control de plagas; los cultivos genéticamente modificados.

Con respecto al maíz, diversas variedades de este cereal han sido modificadas con la inserción de genes específicos para expresar continuamente la proteína cristalina (Cry) de *B. thuringiensis* (Bruck *et al.*, 2006), de tal modo que sus hojas, tallos y polen expresen esta proteína con actividad insecticida ante el ataque de insectos del orden Lepidoptera (Silva, 2005).

En México, centro de origen de la biodiversidad del maíz; se ha especulado ampliamente sobre el tema de sembrar y liberar al medio ambiente variedades transgénicas, por lo que persiste el debate por los posibles efectos que pudieran causar al medio ambiente, salud humana y animal, y diversidad biológica, esto aunado a la carencia de información científica válida, suficiente para esclarecer la incertidumbre acerca del tema; muy a pesar de que los

cultivos genéticamente modificados que producen toxinas de *B. thuringiensis* para el control de insectos representa la primera generación de cultivos transgénicos insecticidas (Sisterson *et al.*, 2007) tras 15 años de encontrarse en el mercado mundial.

Dada la necesidad de nuevas alternativas de control de plagas y ante la tecnología *Bt*, opción para control de lepidópteros plaga (Vitti y Sosa, 2005; Arévalo-Niño, 2007) nuestro país requiere de la mayor información sobre el tema de los organismos genéticamente modificados y bajo condiciones de bioseguridad resolver las especulaciones que se han suscitado alrededor de este tema; motivo por el cual se planteo investigar en etapa de experimentación la efectividad biológica del maíz genéticamente modificado con la tecnología GM1, GM2 y GM3 que expresan la toxina cristal de *B. thuringiensis* sobre el gusano cogollero *S. frugiperda* en híbridos adaptados a condiciones de campo en Díaz Ordaz, Tamaulipas, durante el ciclo primavera-verano, 2011.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Parcelas de Campo.** El experimento se realizó en el rancho Muñoz Garza perteneciente al municipio de Díaz Ordaz, Tamaulipas. La siembra se llevo a cabo el día 24 de octubre de 2011, con una distancia de mas de 500 m de cualquier otro sitio donde se siembra maíz a nivel comercial, además del aislamiento de tiempo, cuidando el desfase de 21 días para no coincidir con las fechas de floración de los predios vecinos para evitar cualquier tipo de contaminación en ambos sentidos y siguiendo las medidas de bioseguridad indicadas por las autoridades competentes. 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 la guía técnica para el cultivo de maíz desarrolladas por el INIFAP.

**Material Genético.** Para el desarrollo de la presente investigación se utilizaron híbridos de maíz genéticamente modificado para expresar la proteína cristal de *B. thuringiensis* con las tecnologías GM1 con la inserción de dos gens que le confiere resistencia al ataque de lepidópteros, la tecnología GM2 con dos genes para resistencia al ataque de lepidoptera y un gen para resistencia a coleóptera y la tecnología GM3 con un gen que le confiere resistencia a lepidoptera y un gen para coleóptera, y se utilizó como testigo un híbrido

convencional (isogénico) para cada material genéticamente modificado desarrollado mediante mejoramiento genético pero sin contener la proteína *Bt*.

**Diseño del estudio.** El estudio se realizó bajo un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones, cada bloque con doce tratamientos, cada tratamiento con seis surcos de 5 m lineales de largo y un espacio entre surcos de 0.8 m., cada surco se ajustó a 34 plantas para evitar diferencias entre tratamientos. Para complementar los tratamientos se integró el manejo de insectos con el insecticida Karate-Denim (Cuadro 1). El área total del ensayo fue rodeado con un bordo de maíz convencional que consistió de dos bloques tapa con surcos de 5 m de largo en los extremos perpendicular a las repeticiones del estudio y dos bloques laterales de seis surcos a cada lado, paralelos al sentido de siembra del ensayo.

Cuadro 1. Tratamientos para la evaluación de la efectividad biológica de la tecnología GM1, GM2 y GM3 e isogénico sobre *S. frugiperda* en Díaz Ordaz Tamaulipas en el ciclo agrícola P-V 2011.

<b>T</b>	<b>Genotipo</b>	<b>Insecticida</b>
1	GM2	Sin aplicación insecticida
2	GM2 +CP	Karate-Denim (2-3 veces/ciclo)
3	Hibrido convencional GM2 +CP	Karate-Denim (2-3 veces/ciclo)
4	Hibrido convencional GM2	Testigo sin aplicación
5	GM1	Sin aplicación insecticida
6	GM1 +CP	Karate-Denim (2-3 veces/ciclo)
7	Hibrido convencional GM1 +CP	Karate-Denim (2-3 veces/ciclo)
8	Hibrido convencional GM1	Testigo sin aplicación
9	GM3	Sin aplicación insecticida
10	GM3 +CP	Karate-Denim (2-3 veces/ciclo)
11	Hibrido convencional GM3 +CP	Karate-Denim (2-3 veces/ciclo)
12	Hibrido convencional GM3	Testigo sin aplicación

CP= Control de plagas



**Variables de estudio.** En cada tratamiento se evaluó el daño foliar bajo infestación natural por gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* en la etapa vegetativa (V4-V10), utilizando la escala de Davis (Davis *et al.*, 1992); donde 1= sin daño al follaje (altamente resistente) hasta 9= daño severo (totalmente susceptible).

**Análisis estadístico.** Las variables evaluadas se sometieron a un diseño en bloques completamente al azar utilizando el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2002) y comparación entre medias de los tratamientos con una prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS

### Tecnología GM2

*Daño foliar por Gusano Cogollero Spodoptera frugiperda.* El análisis de resultados del daño foliar muestra un porcentaje de daño bajo en la tecnología GM2 tanto sin control de plagas como con control insecticida (Escala de Davis= 0.06 y 0.02 respectivamente), no así para los testigos, donde el testigo absoluto sin control químico fue altamente susceptible (Escala de Davis=9) al ataque de gusano cogollero, de igual manera el testigo con control químico aunque con un porcentaje de daño menor (Escala de Davis= 6.5).

El análisis estadístico ( $P \leq 0.05$ ) muestra diferencias altamente significativas entre el evento genéticamente modificado y el isogénico; aunque no se encuentran diferencias entre el tratamiento GM2 sin control y con control químico de insectos; no así para los testigos, donde se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, con un mayor daño en el testigo absoluto (Figura 1).

El análisis de la tecnología GM2 con y sin aplicación de insecticida de soporte sobre el gusano cogollero *S. frugiperda* reveló un efecto de la tecnología sobre este insecto, no encontrándose diferencia estadística significativa entre tratamientos, mientras que el testigo presentó un mayor daño en los tratamientos con aplicación de insecticida y sin control de plagas.

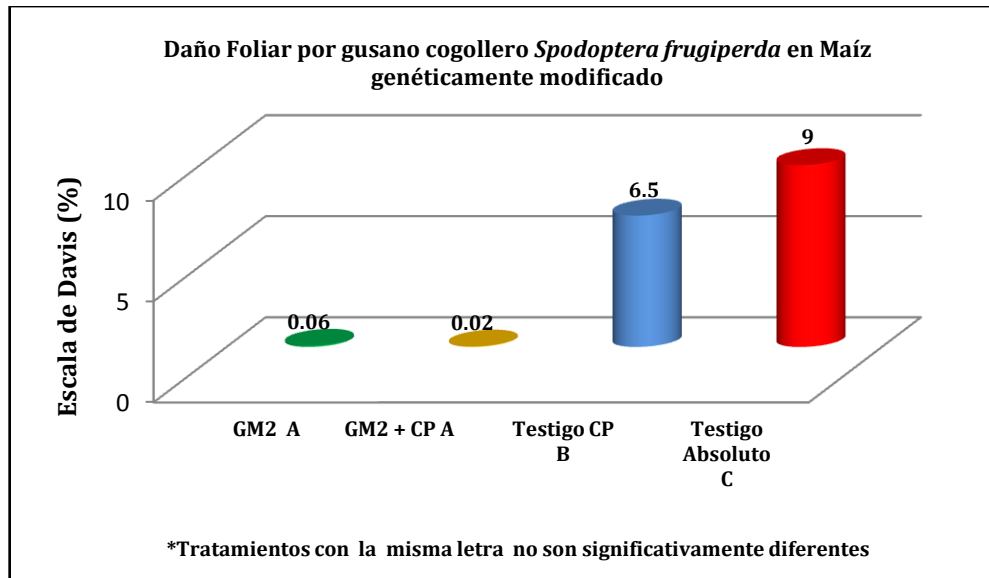


Figura 1. Daño foliar por gusano cogollero en maíz con la tecnología GM2 e isogénico con y sin control insecticida en Díaz Ordaz; Tamaulipas. CP=Control de plagas.

### Tecnología GM1

*Daño foliar por Gusano Cogollero Spodoptera frugiperda.* El análisis de resultados del daño foliar muestra un porcentaje de daño bajo en la tecnología GM1, tanto sin control de plagas como con control insecticida (Escala de Davis=0.09 y 0.05 respectivamente), no así para los testigos, donde el testigo absoluto sin control químico fue altamente susceptible (Escala de Davis=9) al ataque de gusano cogollero, de igual manera el testigo con control químico aunque con un porcentaje de daño menor (Escala de Davis= 7.2).

El análisis estadístico ( $P \leq 0.05$ ) muestra diferencias altamente significativas entre el evento genéticamente modificado y el isogénico; aunque no se encuentran diferencias entre el tratamiento GM1 sin control y con control químico de insectos; no así para los testigos, donde se encontraron diferencias

significativas entre tratamientos con un mayor daño en el testigo absoluto (Figura 2).

El análisis de la tecnología GM1 e isogénico con y sin aplicación de insecticida de soporte sobre el gusano cogollero *S. frugiperda*, revelo un efecto de la tecnología sobre este insecto plaga, no encontrándose diferencia estadística significativa en el maíz GM1 con aplicación de insecticida de soporte, respecto a la tecnología GM1 sin aplicación de insecticida de soporte, mientras que el testigo presento un mayor daño en el testigo con y sin control de insecticida.

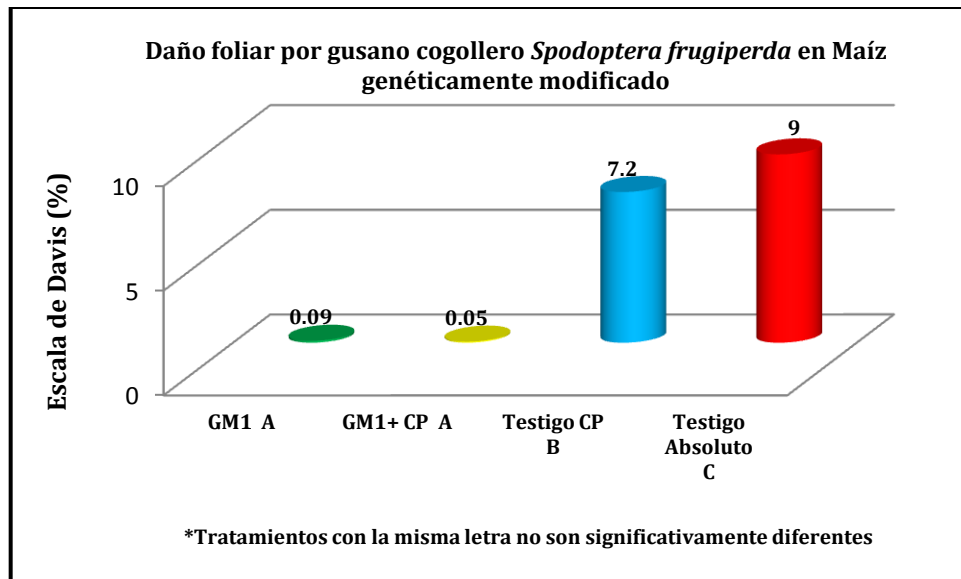


Figura 2. Daño foliar por gusano cogollero en maíz con la tecnología GM1 e isogénico con y sin control insecticida en Díaz Ordaz; Tamaulipas. CP=Control de plagas.

### Tecnología GM3

*Daño foliar por Gusano Cogollero Spodoptera frugiperda.* El análisis de resultados muestra un porcentaje de daño bajo en la tecnología GM3 tanto sin control de plagas como con control insecticida (Escala de Davis=2.9 y 1.8 respectivamente), no así para los testigos, donde el testigo absoluto sin control químico y el testigo con control fue altamente susceptible (Escala de Davis=9) al ataque de gusano cogollero.

El análisis estadístico ( $P \leq 0.05$ ) muestra diferencias altamente significativas entre el evento genéticamente modificado y el isogénico; aunque no se encuentran diferencias entre el tratamiento GM3 sin control y con control químico de insectos; de igual manera no hay diferencias significativas entre los testigos, con el mismo nivel de daño (Figura 3).

El análisis de la tecnología GM3 e isogénico con y sin aplicación de insecticida de soporte sobre el gusano cogollero *S. frugiperda* reveló un efecto de la tecnología sobre este insecto plaga, no encontrándose diferencia estadística significativa en el maíz GM3 con aplicación de insecticida de soporte, respecto a la tecnología GM3 sin aplicación de insecticida de soporte, mientras que el testigo presentó un mayor daño en el testigo con y sin control de insecticida.

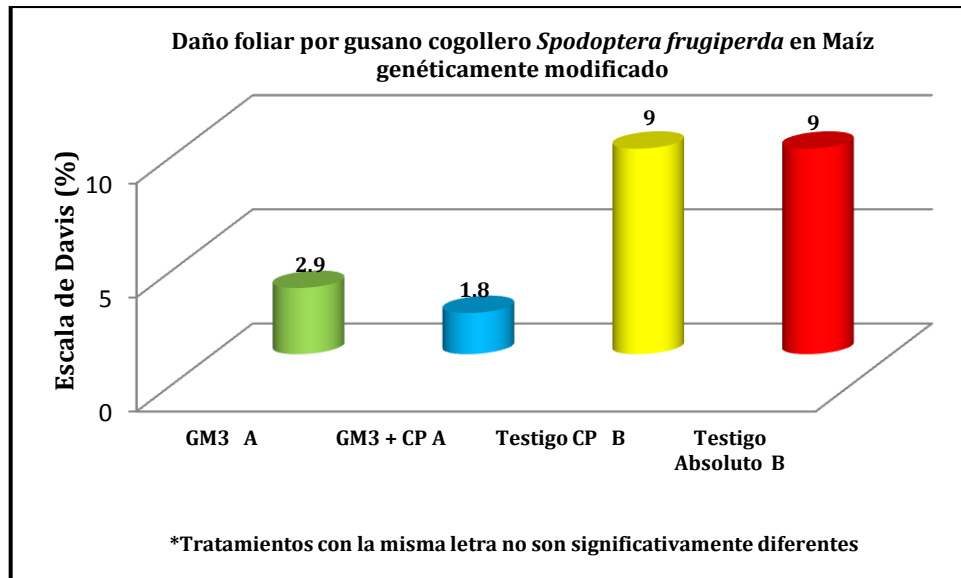


Figura 3. Daño foliar por gusano cogollero en maíz con la tecnología GM3 e isogénico con y sin control de insecticida en Díaz Ordaz; Tamaulipas. CP=Control de plagas.

Cabe resaltar que el porcentaje de plantas con daño por gusano cogollero resulto en un 100 % de plantas con daño en diferentes escalas en el maíz genéticamente modificado en las tecnologías como en los híbridos convencionales con y sin aplicación de insecticida de soporte, sin embargo; el daño fue mas fuerte en el hibrido convencional con y sin control químico, estos últimos hasta la eliminación de parcelas completas, confirmando la efectividad de los híbridos con la tecnología GM1, GM2 y GM3 hacia el ataque del gusano cogollero del maíz.

## DISCUSIÓN

La evaluación hecha de híbridos de maíz genéticamente modificados con las tecnologías GM1, GM2 y GM3, en comparación con sus isogénicos determinan que la tecnología *Bt* ejerce un excelente control sobre las poblaciones de gusano cogollero *S. frugiperda*, con un porcentaje de daño foliar bajo en la escala de Davis (figuras 1, 2 y 3) para la zona de Díaz Ordaz, Tamaulipas, indicando claramente la efectividad de la tecnología hacia este insecto; resultando en un cultivo sano al reducirse las infestaciones y por ende la defoliación del cultivo (Figura 4). Con respecto al control químico, este tratamiento en el maíz isogénico presentó un porcentaje de daño alto; indicando la ineficiencia de este control para este insecto, a diferencia de la tecnología que resulto en reducción significativa de la infestación. Resultados similares encontraron Siebert *et al.* (2008) en su estudio de la eficacia de las proteínas Cry1F en maíz para control de gusano cogollero en 10 localidades de Estados Unidos y Brasil con altos niveles de control y mejores resultados que el control con insecticidas foliares para esta plaga. Buntin *et al.*, (2004) al experimentar en campo con maíz con eventos *Bt* contra *S. frugiperda*, durante tres años en Georgia y Alabama, encontraron una reducción del daño en el cogollo por este insecto; Sosa *et al.*, (2004) en su estudio del impacto del gusano cogollero en maíces *Bt* en el norte de Santafesino, Argentina; concluyeron que todos los

materiales *Bt* fueron afectados por esta plaga, aunque con menor intensidad que el material convencional, sin embargo Chilcutt *et al.*, (2007) examinando los efectos de líneas isogénicas híbridas de maíz *Bt* y no *Bt* en la densidad de larvas de *S. frugiperda* durante dos periodos encontraron que esta especie solo fue controlada el primer año, en segundo estadio y en menor densidad de cuarto a sexto estadio en el maíz *Bt* en comparación con el convencional.



Figura 4. Daño en Maíz GM e Isogénico por gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*.

Es pertinente mencionar que la presión ejercida de la plaga sobre el cultivo fue muy alta posiblemente debido al retraso en la fecha de siembra, en la que el maíz del experimento era el único en la región y la población del gusano cogollero fue excesivamente alta causando daños arriba de lo normal para la región, donde el daño observado en la tecnología es resultado de la alimentación de la plaga sobre el cultivo, debido a que el insecto tiene que alimentarse del tejido para que la proteína de *B. thuringiensis* tenga efecto insecticida sobre las larvas del lepidóptero; sin embargo es clara la eficiencia de la tecnología biotecnológica ya que el daño fue menor en el evento genéticamente modificado. Además es claro que cada zona geográfica presenta



características muy diferentes y por esa razón el maíz genéticamente modificado presenta promedios diferentes en el daño, esto explica que el efecto de la tecnología depende de los niveles de exposición en campo y del evento. Zenner de Polanía *et al.*, (2008), mencionan que las poblaciones plaga también muestran variabilidad y que la susceptibilidad de las diversas poblaciones geográficas a la toxina del *Bt* varían y depende de los mas diversos factores, entre bióticos y abióticos.

## CONCLUSIONES

El maíz genéticamente modificado con la tecnología GM1, GM2 y GM3 que expresa la toxina Cry de *Bacillus thuringiensis* es resistente al gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*.

El manejo convencional que se le da al maíz en la localidad de experimentación no es adecuado para el control de *S. frugiperda*.

El maíz genéticamente modificado puede ser contemplado dentro de un sistema agrícola de manejo integrado de plagas, siguiendo las prácticas agronómicas adecuadas para este material; para mantener la eficiencia de la tecnología y evitar brotes de resistencia.

## LITERATURA CITADA

- Arévalo-Niño, K., L. J. Galán-Wong y C. Solís-Rojas. 2007. Importancia de *Bacillus thuringiensis* (Bt) como Agente de Control Biológico de Plagas en una Agricultura Sustentable, pp. 223-231. En Lira-Saldívar, R.H. (Ed.) Bioplaguicidas y Control Biológico. Serna Editores. México. 231 Pág.
- Bruck, D. J., D. M. Lopez, C. L. Lewis, R. J. Prasifka and D. R. Gunnarson. 2006. Effects of Transgenic *Bacillus thuringiensis* Corn and Permethrin on Nontarget Arthropods. J. Agric. Urban. Entomol. 23(3): 111-124.
- Buntin, G. D., K. L. Flanders and R. E. Lynch. 2004. Assessment of Experimental Bt Events Against Fall Armyworm and Corn Earworm in Field Corn. J. Econ. Entomol. 97(2): 259-264.
- Chilcutt, C. F., G. N. Odvody, J. C. Correa and J. Remmers. 2007. Effects of bacillus thuringiensis transgenic corn on corn earworm and fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) densities. Journal of Economic Entomology. 100 (2): 327-334.
- Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2006. "Elementos para la determinación de centros de origen y centros de diversidad en general y el caso específico de la liberación experimental de maíz transgénico al ambiente en México". Documento para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, D.F. En: [Http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Doc\\_CdeOCdeDG.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Doc_CdeOCdeDG.pdf)
- Davis, F. M.; S. S. NG. and W. P. Williams. 1992. Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm. Mississippi Agricultural & Forestry Experiment Station. Technical Bulletin 186 Pág.
- Rodríguez, F. E., R. J. M. Zumalacárregui, C. A. Otero, S. A. Calleja y C. L. F. De la Fuente. 2003. Lo que vd. debe saber sobre los alimentos transgénicos (y organismos manipulados genéticamente). Cartilla de divulgación. Edición Caja España. 69 Pág.
- S.A.S. Institute. 2002. The SAS System for Windows, Release 9.0. SAS, Institute, Cary N. C. U.S.A.

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2011. En: <http://www.siap.gob.mx>. Consulta: 26/agosto/2011.
- Siebert, M. W., J. M. Babock, S. Nolting, A. C. Santos, J. J. Adamczyk, Jr., P. A. Neese, J. E. King, J. N. Jenkins, J. McCarty, G. M. Lorenz, D. D. Fromme and R. B. Lassiter. 2008. Efficacy of cry1f insecticidal protein in maize and cotton for control of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Florida Entomologist*. 91(4): 555-565.
- Silva, C. C. A. 2005. Maíz Genéticamente Modificado. AGRO-BIO. Bogotá, Colombia. Pág. 60
- Sisterson, M. S., Y. Carrière, T. J. Dannehy and B. E. Tabashnik. 2007. Nontarget Effects of Transgenic Insecticidal Crops: Implications of Source-Sink Population Dynamics. *Environ. Entomol.* 36(1): 121-127.
- Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996-2012. 2010. En: <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Maz/Ma%C3%ADz/maiz96-12.pdf>.
- Sosa, M. A. y S. E. Vitti. 2004. Impacto del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith) en maíces Bt en el norte santafesino. INTA EEA Reconquista. Resumen A-020. Universidad Nacional del Nordeste.
- Vitti, S. E. y M. A. Sosa. 2005. Impacto del Cultivo de Maíz Transgénico en la Biodiversidad de Artrópodos no Blanco. INTA E.E.A. Congreso Argentino de Entomología.
- Zenner de Polanía, I., R. J. A. Álvarez, M. H. A. Arévalo, C. R. Mejía y R. M. A. Bayona. 2008. Susceptibilidad de cuatro nóctuidos plaga (Lepidoptera) al gene Cry1Ac del *Bacillus thuringiensis* incorporado al algodónero. *Revista Colombiana de Entomología* 34(1): 41-50.

## ARTICULO

### **Efecto del Maíz Genéticamente Modificado Sobre la Diversidad de Artrópodos no blanco**

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

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Parasitología. Calzada Antonio Narro No. 1923, C.P. 25315. Buenavista, Saltillo; Coahuila, México.

## RESUMEN

Se evaluó el efecto del maíz genéticamente modificado (GM) con las tecnologías GM1, GM2 y GM3 que expresa la toxina Cry de *B. thuringiensis* para control de lepidópteros sobre artrópodos no blanco en Díaz Ordaz, Tamaulipas; en parcelas de 20 surcos de 5 m de largo; con separación entre surcos de 0.8 m usando tres tipos de muestreo con cuatro estaciones de trampeo (trampas amarillas, pitfall y redeo), se calculó la diversidad de insectos con el índice de Shannon-Wiener  $H = -\sum pi \log_e pi$ ; y la dominancia mediante el índice de Simpson  $D = \sum (pi)^2$ , y se analizó la densidad de población mediante estadística no paramétrica utilizando la prueba de Kruskal-Wallis. El análisis de diversidad y dominancia de la densidad total de artrópodos en el agroecosistema maíz reveló una densidad de población de artrópodos no

blanco mayor en las parcelas de maíz *Bt* en comparación con el isogénico, probablemente por la mayor disponibilidad de recursos del cultivo, ocasionando que sus enemigos naturales también sean atraídos hacia el sistema agrícola biotecnológico; encontrando que la diferencia poblacional y aumento constante en el número y diversidad de artrópodos que viven en las plantas se produce en función de la biomasa vegetal, y la diversidad estructural que provee mas nichos y recursos para su hábitat en función de la organización de cada sub-comunidad dentro de la cadena trófica, lo que sugiere que el maíz *Bt* no ejerce presión sobre la diversidad de artrópodos que no son blanco de la tecnología *Bt*.

**Palabras Clave:** *Zea mays* L., *Bacillus thuringiensis*, toxinas Cry, enemigos naturales.

## ABSTRACT

The effect of genetically modified (GM) maize technologies with GM1, GM2 and GM3 expressing Cry toxin of *Bacillus thuringiensis* for lepidopteran control on nontarget arthropods in Díaz Ordaz, Tamaulipas, on plots of 20 rows of 5 m long and 0.8 m spaced between rows of three types of sampling using four trapping stations (yellow traps, pitfall and redeo), was estimated insect diversity with the Shannon-Wiener index  $H = -\sum p_i \log_e p_i$ , and dominance by Simpson index  $D = \sum (p_i)^2$ , and analyzed the diversity of population by nonparametric statistics using the Kruskal-Wallis test. Analysis of diversity and dominance of the total density of arthropods in the maize agroecosystems revealed a population density of non-target arthropods higher in Bt maize fields compared to the isogenic, probably due to increased availability of resources of the crop, causing their natural enemies are also attracted to the agricultural biotechnology system, finding that the difference in population and steady increase in the number and diversity of arthropods that live in plants occurs as a function of plant biomass and structural diversity provides more niches and resources for their habitat according to the organization of each sub-community

within the food chain, suggesting that Bt corn does not put pressure on the diversity of non-target arthropods of Bt technology.

**Key words:** *Zea mays* L., *Bacillus thuringiensis*, Cry toxins. Natural enemies.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se ha agudizado a nivel mundial el debate sobre la utilización de los organismos genéticamente modificados (OGM), entre ellos los cultivos transgénicos, específico para México; el Maíz (*Zea mays* L.); especie agrícola de mucha importancia por ser el centro de origen, diversidad, domesticación (CONABIO, 2006) y es primordial desde el punto de vista alimenticio, industrial, político, cultural y social.

A 16 años de comercialización de cultivos biotecnológicos plantados por primera vez en 1996 y a pesar de los considerables beneficios económicos, ambientales y sociales que ofrece este tipo de cultivos, que ya contribuyen a resolver algunos de los principales problemas que se plantean a la sociedad global como la seguridad y la autosuficiencia alimentaria, la sostenibilidad, la lucha contra la pobreza, el hambre y la mitigación de algunos de los retos asociados al cambio climático y al calentamiento; en nuestro país solo dos tipos de cultivos GM se han introducido en programa piloto: soya y algodón tolerantes a herbicida y algodón *Bt* resistente a insectos; aunque no se ha aprobado ningún cultivo, las cantidades que se siembran son representativas a nivel mundial con aproximadamente 0.1 millón de hectáreas (James, 2010).

Con respecto al maíz, diversas variedades de este cereal han sido modificadas con la inserción de genes específicos para expresar continuamente la proteína Cry de *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) (Bruck *et al.*, 2006), denominada  $\delta$ -endotoxina; de tal modo que sus hojas, tallos y polen expresen esta proteína con actividad insecticida ante el ataque de insectos del orden Lepidoptera (Rodríguez *et al.*, 2003; Silva, 2005).

Tras una moratoria que impedía realizar ensayos con maíz biotecnológico se ejecutaron con éxito las primeras pruebas en campo que demostraron la eficacia de la biotecnología para el control de plagas (James, 2010) , no obstante la tecnología *Bt* ofrece un método seguro y eficaz para el control de plagas (Betz *et al.*, 2000; Vitti y Sosa, 2005) redundando sin duda en mayor producción al resolver el grave problema agrícola del ataque de insectos, así como evitar la dependencia de los plaguicidas químicos (Betz *et al.*, 2000), contaminación del medio ambiente y la exposición de los agricultores a estos agentes químicos (Soberón y Bravo, 2008).

En nuestro país se ha especulado ampliamente sobre el tema de sembrar y liberar al medio ambiente variedades transgénicas por lo que persiste el debate sobre los posibles efectos que pudieran causar al medio ambiente, salud humana, animal y diversidad biológica, tal como el impacto a los insectos benéficos; por lo cual hay todavía cuestiones relativas a su seguridad (Bruck *et al.*, 2006); como cualquier tecnología de control de insectos las plantas transgénicas que expresan la toxina de *Bt* pueden presentar un riesgo para la comunidad de enemigos naturales (Dively y Rose, 2002), entomófagos que

frecuentemente juegan un rol importante en la regulación de plagas y se les considera de un gran valor económico (Dutton *et al.*, 2003), esto aunado a la carencia de información científica valida, suficiente para esclarecer la incertidumbre acerca del tema, muy a pesar de que los cultivos GM que producen toxinas de *Bt* representa la primera generación de cultivos transgénicos insecticidas (Sisterson *et al.*, 2007) después de 16 años de encontrarse en el mercado mundial; además de que las cepas de *Bt* que producen diferentes proteínas Cry tienen toxicidad selectiva debido a las condiciones necesarias para solubilizar, activar y unir las proteínas (Bruck *et al.*, 2006). Aun cuando los efectos documentados en el caso del maíz *Bt* en campo parecen prácticamente inexistentes debido a la naturaleza de las proteínas *Bt*, es manejada la hipótesis, sobre que algunos organismos no blanco pueden ser afectados por la exposición a la proteína (Higgins *et al.*, 2009) y por tanto resulta importante extender este tipo de investigación a todos los eventos liberados al ambiente y que se esclarezca el efecto sobre organismos no blanco destacando aquellos que impactan a insectos benéficos de los organismos blanco de los transgenes (Álvarez, s/f) y reducir las especulaciones sobre los posibles efectos de los organismos genéticamente modificados y realizar estudios a corto y largo plazo en México. Por lo anterior se planteo investigar en etapa de experimentación el efecto del maíz GM con la tecnología GM1, GM2 y GM3 para control de lepidópteros sobre artrópodos no blanco que contribuyen a la biodiversidad y equilibrio ecológico en híbridos adaptados a condiciones de campo en Díaz Ordaz, Tamaulipas; México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Parcelas de campo.** El experimento se realizó en el municipio de Díaz Ordaz, Tamaulipas ubicado en el rancho “Muñoz Garza”. La siembra se realizó el 24 de octubre de 2011.

El lote seleccionado para el experimento se encontraban aislado por una distancia de mas de 500 m de otros lotes sembrados con maíz comercial, para evitar cualquier tipo de contaminación en ambos sentidos y siguiendo las medidas de bioseguridad indicadas por las autoridades competentes. 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 INIFAP.

**Material Genético.** Para el desarrollo de la presente investigación se utilizaron híbridos de maíz genéticamente modificado para expresar la proteína cristal de *B. thuringiensis* con las tecnologías GM1 con la inserción de dos gens que le confiere resistencia al ataque de lepidópteros, la tecnología GM2 con dos genes para resistencia al ataque de lepidoptera y un gen para resistencia a coleóptera y la tecnología GM3 con un gen que le confiere resistencia a lepidoptera y un gen para coleóptera, y se utilizó como testigo un híbrido convencional (isogénico) para cada material genéticamente modificado desarrollado mediante mejoramiento genético pero sin contener la proteína *Bt*.

**Diseño del estudio.** El estudio se realizó bajo un diseño de bloques completamente al azar con 4 tratamientos, cada tratamiento con 6 surcos de 5 m lineales de largo y un espacio entre surcos de 0.8 m, ajustado a 34 plantas por surco y evitar diferencias entre tratamientos (Cuadro 1). El ensayo fue rodeado con un bordo de maíz convencional que consistió de dos bloques tapa con surcos de 5 m de largo en los extremos perpendicular a las repeticiones del estudio y dos bloques laterales de seis surcos a cada lado, paralelos al sentido de la siembra.

Cuadro 1 Tratamientos establecidos en la evaluación del efecto de la tecnología GM sobre poblaciones de artrópodos no blanco de la tecnología en Díaz Ordaz, Tamaulipas.

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
T1	GM2 sin aplicación de insecticidas de soporte.
T2	GM1 sin aplicación de insecticidas de soporte.
T3	GM3 sin aplicación de insecticidas de soporte.
T4	Testigo absoluto híbrido convencional, sin control de especies plaga

**Muestreo de Insectos.** Dentro de cada parcela se colocaron cuatro estaciones de trapeo (trampas amarillas y trampas pitfall) además se realizó la captura de insectos voladores con red entomológica.

**Red Entomológica.** Este tipo de muestreo se utilizó para artrópodos voladores y consistió en dar 10 pases dobles de red de un diámetro de 38 cm, en los cuatro surcos centrales de cada parcela. Esta actividad se realizó semanalmente hasta que la planta alcanzó una altura de 1.4 m. Cada barrido hacia adelante y hacia atrás en el centro de una hilera se consideró un pase. Los insectos capturados se trasladaron en bolsas de papel y se conservaron en

frascos con alcohol al 70 %, se etiqueto la muestra y traslado al laboratorio para su posterior contabilización e identificación.

**Trampas Amarillas pegajosas.** Este tipo de muestreo se utilizó para medir el número relativo de artrópodos en el área cercana al tallo, hojas e inflorescencia y que no son registrados por otros métodos de muestreo (Rose y Dively, 2007). Una trampa de acrílico amarilla con un lado adhesivo expuesto fue colocada en estacas de madera dentro de los surcos de maíz en cada uno de los materiales evaluados, al nivel del follaje de la planta, ajustándola al crecimiento de la misma, perpendicular al suelo y al surco, en la parte central de este. Las trampas semanalmente se recogieron, se etiquetaron y se colocaron en bolsas de polietileno transparente. Las bolsas se transportaron al laboratorio y fueron conservadas a -4 °C para la posterior contabilización e identificación de los artrópodos capturados (Bruck *et al.*, 2006; Rose y Dively, 2007).

**Trampas Pitfall.** Las trampas fueron ubicadas en el campo una vez que ocurrió el 50 % de la germinación. Este tipo de muestreo fue utilizado para artrópodos caminadores. Una trampa (envase de plástico de 15 cm de diámetro por 12 cm de profundidad) fue colocada en cada material evaluado sobre el surco y entre plantas, distribuidas aleatoriamente, las trampas fueron colocadas en orificios en el suelo de manera que quedara la parte superior al nivel de la superficie y en el interior se colocó una cantidad aproximada de 200 a 300 cc de sustancia jabonosa para capturar los artrópodos caminadores que se aproximaran a la trampa.

Las trampas fueron evaluadas semanalmente y durante todo el ciclo del cultivo, con una permanecía en campo de la trampa de una semana, al cabo de la cual fueron remplazadas, etiquetadas y trasladadas al laboratorio; el contenido de la trampa se colocó sobre una tela fina para retirar el excedente de jabón; extraer los artrópodos de gran tamaño y posteriormente lavar el contenido con agua corriente para su filtrado y separar los artrópodos mas pequeños para colocarlos en alcohol al 70 % para su posterior contabilización e identificación (Rose y Dively, 2007).

Todos los artrópodos capturados con las tres técnicas de muestreo se trasladaron al Laboratorio de Taxonomía de Insectos del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, donde se contabilizaron los artrópodos e identificaron a nivel de familia y se clasificaron de acuerdo a su nivel ecológico, utilizando como apoyo un microscopio estereoscopio binocular Carl Zeiss, un Olympus SZ21 6X, y claves taxonómicas, publicaciones y base de datos (McAlpine, 1981a; McAlpine, 1981b; Borror y White, 1970; White, 1987; González *et al.*, 2003; Triplehorn y Johnson 2005; Bautista, 2006; Fernandez y Sharkey, 2006; Bahena, 2008; Laroche y Larivière, 2010; Nájera y Souza, 2010; Noyes, 2011).

**Análisis de Datos.** Con los datos de la contabilización e identificación al taxón familia, se calculo la diversidad en el agroecosistema maíz con el índice de Shannon- Wiener (Moreno, 2001) , índice de diversidad que indica el valor de la diversidad; mediante la fórmula  $H = - \sum p_i \log_e p_i$ ; donde: **H** = Índice de Shannon-Wiener; **P<sub>i</sub>** es la densidad relativa de la especie en el total del sitio de

muestreo, calculado como una media de la comunidad  $Fri / \sum Fri$ ; **Fri**=  
Densidad relativa de la especie  $i$ ;  $\sum Fri$ =Sumatoria de todas las densidades de  
todas las especies observadas. Y se calculó la dominancia mediante el índice  
de Simpson (Moreno, 2001) utilizando la fórmula  $D = \sum (pi)^2$ ; donde el valor  
máximo 1, implica que hay dominancia completa de una sola especie y valores  
que se aproximan a cero se obtienen cuando hay numerosas especies. Los  
artrópodos capturados fueron clasificados en cinco grupos: depredadores,  
parasitoides, fitófagos, polinizadores y saprófagos. La densidad promedio de  
población de cada grupo por cada evento evaluado, fue analizada mediante  
estadística no paramétrica utilizando la prueba de Kruskal-Wallis, utilizando el  
software Minitab 15 Statistical (Minitab, Inc.).



## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Abundancia de artrópodos.** Se registró un total de 8,363 insectos y arácnidos en la zona agrícola de Díaz Ordaz, Tamaulipas en parcelas de maíz genéticamente modificado y su contraparte isogénico. En cada parcela de maíz se realizó un registro independiente y separación por grupos ecológicos. Se identificaron 23 familias de fitófagos, distribuidas 14 familias en la parcela de maíz GM1, 17 en la parcela de maíz GM2, 17 en la parcela de maíz GM3 y 17 familias en la parcela de maíz testigo convencional. Los depredadores estuvieron representados por 20 familias, de las cuales se encontró 15 en la parcela con maíz GM1, 16 en la parcela de maíz GM2, 16 en la parcela de maíz GM3 y 13 familias en la parcela de maíz isogénico convencional. En el grupo de parasitoides se identificaron 15 familias, ubicadas seis en el maíz GM1, ocho familias en la parcela de maíz GM2, ocho en la parcela de maíz GM3 y siete familias en la parcela de maíz isogénico convencional. Se identificaron 19 familias de saprófagos, de las cuales se identificaron 11 en la parcela de maíz GM1, 12 en la parcela de maíz GM2, 14 en la parcela de maíz GM3 y 14 familias en la parcela de maíz convencional. Del grupo útil en la polinización fueron identificadas dos familias, distribuidas una en la parcela de maíz GM1, una familia en la parcela de maíz GM2, dos familias en el maíz GM3

y dos familias identificadas en el maíz isogénico convencional; para un total de 79 familias diferentes entre las parcelas de maíz GM e isogénico.

En el agroecosistema maíz encontramos una gran variedad de organismos de distintas especies que coexisten en una comunidad, la cual fue analizada utilizando el índice de diversidad de Shannon-Wiener y calculada la influencia ejercida sobre la comunidad por cada población (dominancia) con el índice de Simpson en cada parcela de maíz.

El análisis de diversidad y dominancia de la densidad de artrópodos en el agroecosistema maíz, reveló un mayor índice de diversidad en las parcelas de maíz GM1 y GM2 sobre su contraparte isogénico, marcado con un menor índice de dominio; sin embargo la parcela de maíz con la tecnología GM3 presentó un menor índice de diversidad y mayor índice de dominio, en cuanto a la densidad de población se presentaron diferencias ( $P \leq 0.05$ ) con un mayor número de artrópodos en las parcelas de maíz con las tecnologías sobre la parcela de maíz isogénico convencional (Cuadro 1), indicando una distribución heterogénea de los artrópodos dentro del agroecosistema maíz.

En la localidad de evaluación se presentó una mayor densidad de población en el maíz GM respecto a su contraparte isogénico, esto es debido a que las plantas biotecnológicas presentan un menor daño por efecto de insectos plaga objetivo de la tecnología y probablemente una mayor atracción para los insectos fitófagos por la mayor disponibilidad de recursos alimenticios del cultivo, y estos a su vez atrayendo a sus enemigos naturales equilibrando la comunidad trófica con un mayor número de artrópodos ampliamente

distribuidos, encontrando que la diferencia poblacional de artrópodos está en función de la organización de cada sub-comunidad dentro de la cadena trófica en función de su alimentación, tal como lo mencionan Rose y Dively, (2007) quienes sugieren que el aumento constante en el número y diversidad de artrópodos que viven en las plantas se produce en función de la biomasa vegetal y la diversidad estructural provee más nichos y recursos para su hábitat.

Cuadro 1. Índice de diversidad, dominancia y densidad poblacional de artrópodos en maíz genéticamente modificado e isogénico en Díaz Ordaz, Tamaulipas.

Tratamiento	Diversidad	Dominancia	Densidad	gl	(P≤0.05)
GM1	2.53 ± 0.08	0.13 ± 0.01	2091 a	31	0.001
Isogénico	2.44 ± 0.08	0.15 ± 0.01	1860 b		
GM2	2.56 ± 0.07	0.14 ± 0.01	2374 a	35	0.001
Isogénico	2.44 ± 0.08	0.15 ± 0.01	1860 b		
GM3	2.38 ± 0.07	0.17 ± 0.01	2038 a	31	0.000
Isogénico	2.44 ± 0.08	0.15 ± 0.01	1860 b		

Índices ± desviación estándar por evento evaluado, \*densidad con la misma letra no son diferentes.

Estos resultados indican que la diversidad y dominio de la comunidad difiere entre parcelas, con una mayor densidad poblacional en las parcelas de maíz genéticamente modificado sobre su contra parte isogénico, lo que sugiere que el maíz *Bt* no ejerce presión sobre la diversidad y el dominio de artrópodos que no son blancos de la tecnología *Bt*, derivaciones congruentes con trabajos hechos tanto a nivel laboratorio como en campo en diferentes cultivos *Bt*; tal como lo reporta Sims (1995) al evaluar la toxina Cry1Ac que expresa el algodón *Bt* bajo condiciones de laboratorio sobre 14 especies de insectos, entre blancos y no blancos de esta tecnología; enunciando que el algodón transgénico tiene

actividad biológica específica para lepidópteros sin riesgos para las especies benéficas; resultados similares reportaron Dively y Rose (2002), quienes concluyeron que no hay efectos inesperados en los organismos benéficos del maíz transgénico resistente a lepidópteros. Fang-Fang *et al.* (2007) en un experimento en campo con arroz *Bt* no observaron diferencias significantes entre parcelas *Bt* y convencionales sobre la diversidad y dominancia de la comunidad, con una similaridad bastante alta, concluyendo que el arroz con la tecnología *Bt* en general no ejerce efectos negativos sobre los artrópodos en este cultivo. Higgins *et al.* (2009) no encontraron un impacto significativo sobre la abundancia de la comunidad de artrópodos no blanco en campos de maíz *Bt* que expresa la toxina Cry1F por tres años de monitoreo de la diversidad de artrópodos. Es claro que la diversidad y abundancia es propia de la distribución espacial de cada organismo dentro del agroecosistema, además que está generalmente en función de la búsqueda de alimento y de mejores condiciones físicas y características propias de dependencia. Sin embargo Jasinski *et al.* (2003) asociaron algunos efectos negativos en la abundancia de poblaciones de artrópodos en campos de maíz y soja transgénica en Ohio, directamente a los cultivos genéticamente modificados.

Cuadro 2. Densidad poblacional de artrópodos no blanco en maíz genéticamente modificado e isogénico en Díaz Ordaz, Tamaulipas durante el ciclo primavera verano 2011.

Tratamiento	Fitófagos	Depredadores	Parasitoides	Saprófagos	Polinizadores
GM1	1134 a	176 a	40 a	727 a	11 a
Isogénico	1021 b	238 a	34 a	514 a	46 a
GM2	1745 a	212 a	27 a	343 a	41 a
Isogénico	1021 a	238 a	34 a	514 a	46 a
GM3	1200 a	168 a	34 a	560 a	70 a
Isogénico	1021 a	238 a	34 b	514 b	46 a

\*Densidad con la misma letra no son diferentes

Cuadro 3. Índice de diversidad de artrópodos en maíz genéticamente modificado e isogénico en Díaz Ordaz, Tamaulipas.

Tratamiento	Fitófagos	Depredadores	Parasitoides	Saprófagos	Polinizadores
GM1	1.7 ± 0.13	2.3 ± 0.12	0.6 ± 0.11	1.2 ± 0.09	0 ± 0
Isogénico	1.6 ± 0.11	1.9 ± 0.11	0.9 ± 0.03	0.6 ± 0.04	0.1 ± 0.04
GM2	1.8 ± 0.12	1.9 ± 0.11	1.5 ± 0.08	1.4 ± 0.09	0 ± 0
Isogénico	1.6 ± 0.11	1.9 ± 0.11	0.9 ± 0.03	0.6 ± 0.04	0.1 ± 0.04
GM3	1.6 ± 0.12	2.2 ± 0.11	1.2 ± 0.08	0.6 ± 0.04	0.1 ± 0.05
Isogénico	1.6 ± 0.11	1.9 ± 0.11	0.9 ± 0.03	0.6 ± 0.04	0.1 ± 0.04

Índice de diversidad ± desviación estándar de la diversidad por tratamiento evaluado.

Cuadro 4. Índice de dominancia de artrópodos en maíz genéticamente modificado e isogénico en Díaz Ordaz, Tamaulipas.

Tratamiento	Fitófagos	Depredadores	Parasitoides	Saprófagos	Polinizadores
GM1	0.2 ± 0.03	0.3 ± 0.03	0.7 ± 0.15	0.5 ± 0.13	1 ± 0
Isogénico	0.3 ± 0.05	0.2 ± 0.04	0.6 ± 0.24	0.8 ± 0.21	0.9 ± 0.68
GM2	0.2 ± 0.04	0.2 ± 0.04	0.3 ± 0.11	0.4 ± 0.10	1 ± 0
Isogénico	0.3 ± 0.05	0.2 ± 0.04	0.6 ± 0.24	0.8 ± 0.21	0.9 ± 0.68
GM3	0.3 ± 0.06	0.1 ± 0.01	0.5 ± 0.16	0.8 ± 0.21	0.9 ± 0.67
Isogénico	0.3 ± 0.05	0.2 ± 0.04	0.6 ± 0.24	0.8 ± 0.21	0.9 ± 0.68

Índice de dominancia ± desviación estándar de la diversidad por tratamiento evaluado.

Para este estudio los artrópodos registrados fueron agrupados por su nivel ecológico dentro de la comunidad trófica, destacando cinco grupos: fitófagos, depredadores, parasitoides, saprófagos y polinizadores. Se encontró que el nivel ecológico más abundante y del cual depende el flujo de energía del agroecosistema en la localidad con parcelas de maíz, el grupo fitófago representado con 54.5, 65.3, 57 y 55.1 % de la población total en la parcela de maíz GM1, GM2, GM3 e isogénico respectivamente, destacando el orden Acari y las familias: Hemiptera (Aphididae, Cicadellidae y Psyllidae); Thysanoptera: (Thripidae), Coleoptera (Chrysomelidae), Diptera (Chloropidae, Sciaridae y Ulidiidae). La densidad poblacional de fitófagos se presentó en mayor número en el maíz con la tecnología GM; encontrándose diferencias ( $P \leq 0.05$ ) positivas

en la densidad de población de este nivel trófico en la tecnología GM1 en comparación con el isogénico, mientras que en las tecnologías GM2 y GM3 e isogénico no se encontró diferencia en la densidad poblacional (Cuadro 2). El análisis de Shannon-Wiener reveló a este nivel trófico con el segundo nivel más alto de diversidad de la población total (Cuadro 3) esto debido a que las familias sciaridae y ulidiidae ocupan el 65.6, 63, 67.6 y 71 % de la población total de fitófagos en el maíz con la tecnología GM1, GM2, GM3 e isogénico respectivamente, observándose una distribución similar en función de las parcelas de maíz, con bastante homogeneidad entre parcelas, cabe mencionar que al haber superioridad numérica y mayor diversidad, indica que hay una mayor heterogeneidad del grupo ecológico, marcado por un menor dominio de este nivel trófico sobre otro en la cadena alimenticia, superior en el maíz isogénico, en comparación con la densidad de población del maíz GM (Cuadro 4).

Dentro del grupo que se alimenta de los tejidos de la planta se destacan por su abundancia e importancia la familia Cicadellidae, con una mayor abundancia en el maíz GM1 y GM2 y ligeramente una menor abundancia en el maíz GM3 respecto al testigo convencional; considerado de importancia porque algunas especies remueven una excesiva cantidad de savia y reducen o destruyen la clorofila en las hojas, interfiriendo con la fisiología de la planta provocando decoloraciones en las hojas y muchas especies actúan como vectores de organismos que causan enfermedades en las plantas (Triplehorn y Johnson, 2005), actividad mediante la cual pueden ingerir las toxinas *Bt* producidas en la planta y pudieran mermar su desarrollo. Pons *et al.*, (2005) en

tres años de estudio de la abundancia de plagas no blanco del maíz *Bt* determinaron una mayor abundancia de la especie *Zyginidia scutellaris*, especie de cicadellidae mas abundante en el maíz *Bt*, además señalan que la modificación del maíz favorece a las chicharritas correlacionado con la mayor abundancia de biomasa vegetal.

Chrysomelidae. Se presento superioridad numérica de esta familia en las parcelas de maíz con la tecnología GM, importantes por ser serias plagas que se alimentan principalmente en flores y follaje, las larvas son de libre alimentación, algunas son minadores de hojas, otras se alimentan en las raíces, se alimentan internamente el germen y taladran en el tallo (Triplehorn y Johnson, 2005), vía por la cual pueden ingieren las toxinas Cry.

Ulidiidae. Este díptero se presento en mayor abundancia en el maíz con la tecnología GM1 y GM2 y en menor abundancia en la tecnología GM3 respecto al isogénico convencional con una distribución similar entre parcelas; insecto asociado al maíz que en etapa inmadura dañan las estigmas y producen el vaciado de los granos, especialmente apicales, pudiéndose extender a toda la espiga (Bertolaccini *et al.*, 2010). Daly y Buntin, (2005) encontraron a *Euxesta stigmatis* (Diptera: Ulidiidae) con mayor abundancia en las mazorcas de maíz no *Bt*, aunque este insecto ha presentado poco estudio.

En este estudio dentro de la cadena trófica en el agroecosistema maíz, el nivel trófico de los depredadores presentó una abundancia de 10.5, 10.6, 10.4 y 12.8 % en las tecnologías GM1, GM2, GM3 e isogénico respectivamente, en diversas familias de diversos ordenes como Araneae, Hemiptera (Anthocoridae

y Miridae), Coleoptera (Coccinellidae y Trogossitidae), Neuroptera (Chrysopidae), Diptera (Dolichopodidae y Empididae). En cuanto a la densidad poblacional no se encontró diferencia en la densidad de este nivel trófico con una mayor número poblacional en el maíz híbrido convencional (Cuadro 2) y un índice de diversidad superior en el maíz con la tecnología con respecto al maíz isogénico (Cuadro 3) y un mayor dominio de este grupo en el maíz isogénico, excepto en la tecnología GM1 (Cuadro 4) observándose similitud entre parcelas. Daly y Buntin, (2005) no observaron diferencia significativa consistente en las poblaciones de artrópodos depredadores que habitan en el follaje en maíz *Bt* y maíz isohíbrido. Duan *et al.* (2010) manifestaron en estudios de campo no haber encontrado diferencia significativa en la abundancia de depredadores a la exposición de la toxina Cry; mientras que en estudios tróficos en laboratorio mostraron efectos adversos significativamente negativos.

Araneae. Muy abundante en parcelas de maíz, importantes depredadores en el agroecosistema que pueden ingerir las toxinas de *Bt* mediante los herbívoros, ingestión de polen y/o mediante su red espolvoreada con polen (Ludy y Lang, 2006), con superioridad en la parcela con maíz isogénico, no encontrándose diferencia entre parcelas de maíz. Diferente a lo encontrado por Ludy y Lang (2006) en Alemania en tres años de monitoreo, reportando una mayor abundancia de arácnidos en maíz *Bt*, sin diferencia significativa entre eventos transgénicos y convencionales. Daly y Buntin, (2005) no encontraron diferencia significativa en las poblaciones de arácnidos, entre parcelas de maíz *Bt* y no *Bt*, incluso Toschki *et al.*, (2007) encontraron en tres



años de investigación (2001-2003) una abundancia significativamente diferente en las parcelas de maíz *Bt*, en comparación con las parcelas de control isogénicas para este depredador para el primer año de investigación influenciado por una infestación masiva de *O. nubilalis* y acompañado por cambios micro climáticos; sin embargo en los dos años siguientes, no se presentaron cambios en la estructura de la comunidad en ninguno de los eventos evaluados, tendencia muy clara, incluso en otros cultivos, como el algodón *Bt*, evaluación de Shu-Dong *et al.*, (2003) sobre el efecto de este cultivo transgénico sobre la dinámica poblacional de plagas no objetivo y enemigos naturales de las plagas, reportando una mayor abundancia de arañas en el algodón *Bt*.

Coccinellidae. Grupo importante de insectos benéficos de hábitos depredadores generalista, particularmente consumen áfidos, ácaros, escamas, ninfas de mosquita blanca y otros insectos y arañas perjudiciales, pequeños de cuerpo blando, huevos y pequeñas larvas de lepidoptera como *S. frugiperda* y *H. zea*. Durante serios brotes de áfidos o insectos escamas, grandes números de coccinélidos son importantes dentro de áreas de infestación como medida de control (Triplehorn y Johnson, 2005; Bahena, 2008). Esta familia se presentó con mayor número en las parcelas de maíz genéticamente modificado con la tecnología GM3 e isogénico y en menor abundancia en la GM1 y GM2, no encontrándose diferencia entre parcelas, abundancia correlacionada en los materiales GM e isogénico con el número de fitófagos en el maíz, presas disponibles para este grupo de depredadores generalistas que no dependen de

la densidad de una sola presa; por lo que no se espera un efecto indirecto del maíz *Bt* sobre esta familia. Daly y Buntin, (2005) no observaron diferencias consistentes en las poblaciones de *C. maculata* y *Scymnus* spp., especies de Coccinellidae muy abundantes observados entre las parcelas de maíz *Bt* y el maíz no *Bt*; de igual manera Kiss, *et al.*, (2003) en ensayos de campo con maíz en Hungría no encontraron diferencias en el número total de coccinélidos tomando como muestra *Hippodamia variegata* en maíz *Bt* y líneas isogénicas de maíz (no *Bt*), datos consistentes con los estudios de laboratorio, tal como lo reportaron Pilcher *et al.*, (1997) al evaluar el desarrollo y supervivencia de *C. maculata* alimentada con polen de maíz *Bt* y un suplemento de áfidos y polen de maíz convencional, además de una dieta solo con áfidos; con una mayor supervivencia en el polen *Bt* con el suplemento de áfidos; no encontrando diferencia estadística significativa.

Chrysopidae. Familia importante por contener especies depredadoras potenciales en su fase larval de una variedad de artrópodos de cuerpo blando, como pulgones, cochinillas, saltahojas (Ulhaq *et al.*, 2006), mosquita blanca, trips, arañas, ácaros; así como huevos y larvas pequeñas de coleóptera y lepidoptera (Muma, 1959; Canard *et al.*, 1984), en una diversidad de cultivos agrícolas (Tauber y Tauber, 1983) y adultos que se alimentan de néctar, polen y mielecilla que secretan los áfidos (Bahena, 2008). Esta familia presentó mayor número de individuos en las parcelas de maíz GM1 y GM2, seguidas de las parcelas de maíz isogénico y GM3, esta abundancia es debida a la gama de artrópodos encontrados en el agroecosistema, y por su polifagia, no depende

de la densidad de una sola presa; por lo que no se espera un efecto indirecto del maíz *Bt* sobre esta familia. Pilcher *et al.*, (1997) reportan no haber encontrado un efecto perjudicial sobre la abundancia de Crisópidos en maíz *Bt* (Cry1Ab), comparado con maíz convencional durante 2 años de evaluaciones, observando que el número de depredadores antes, durante y después de la polinización del maíz *Bt* no afecta el movimiento de estos enemigos naturales en el maíz.

En laboratorio Hilbeck *et al.*, (1998) estudiaron el desarrollo de *Chrysoperla carnea* sobre presas (*O. nubilalis* y *S. littoralis*) alimentadas con plantas de maíz *Bt* var. Kurstaki (Cry1Ab) e híbridos convencionales, encontrando una mayor mortalidad de este depredador alimentado con presas desarrolladas en tejidos *Bt*, sin diferencia significativa y una prolongación en el tiempo de desarrollo del depredador cuando se alimento con *O. nubilalis* alimentada con tejido *Bt*, pero no con *S. littorales*; esto debido a que *O. nubilalis* es el blanco de esta variedad de maíz y que al estar enfermas, presentaron deficiencias nutricionales, causando un mal desarrollo en el depredador; además Pilcher *et al.*, (1997) al alimentar a este depredador directamente con Polen *Bt* y Polen convencional no encontró diferencias en el desarrollo y supervivencia entre materiales.

En el agroecosistema maíz se encontró a los parasitoides con una abundancia del 1.9, 1.4, 1.7 y 1.8 % en la parcela de maíz GM1, GM2, GM3 e isogénico respectivamente, sobresaliendo la familia Braconidae en todos los materiales evaluados, seguido de las familias Encyrtidae, Bethyidae y

Scelionidae con una menor abundancia. La densidad poblacional de este nivel trófico presento una mayor abundancia en la parcela de maíz GM1 y la parcela de maíz con la tecnología GM2 presento una menor abundancia con respecto al isogénico, ambas parcelas con la tecnología sin diferencias respecto al testigo, mientras que la tecnología GM3 y el isogénico presentaron la misma densidad poblacional (Cuadro 2) encontrándose diferencias porque la frecuencia de artrópodos en cada familia fue bastante alejado entre parcelas y con una familia mas en la tecnología, mientras que la diversidad de este grupo es superior en el maíz isogénico respecto a la tecnología GM1 y un índice de dominancia superior en la tecnología, en la tecnología GM2 y GM3 se presenta un mayor índice de diversidad respecto al isogénico, y un índice de dominancia superior en el isogénico (Cuadros 3 y 4), observándose a este grupo que utiliza como huésped para su desarrollo a otros organismos bastante homogéneo entre sí y con una distribución aleatoria entre las parcelas, no observándose diferencias ante la ausencia de lepidópteros blanco de la tecnología GM, indicando que este huésped es una porción muy pequeña de la cantidad de huéspedes disponibles para este nivel trófico, además de encontrarse una abundancia de huéspedes alternos. Duan *et al.*, (2010) en su meta-análisis, comparando los resultados en estudios de laboratorio que evalúan los efectos sobre la abundancia de los invertebrados no objetivo expuestos a las proteínas de *Bacillus thuringiensis* con resultados derivados de estudios de campo, no detectaron efectos negativos a la exposición directa de los parasitoides en laboratorio, comparativamente como se ve en campo, por el contrario los efectos medidos en los estudios tri-tróficos en laboratorio de parasitoides tuvo

una tendencia negativa, aunque significativamente menor en comparación al campo.

En este estudio la familia Braconidae se identificó con el mayor número de artrópodos en las parcelas evaluadas, con la mayor abundancia en la parcela de maíz GM1, seguidas de la parcela de maíz isogénico, GM3 y GM2, demostrando que los parasitoides se mueven al azar dentro del agroecosistema maíz, resultados diferentes a los encontrados por Bruck *et al.*, (2006) que observaron una reducción en el número de *Macrocentrus cingulum* (Braconidae) en parcelas de maíz *Bt*, en comparación con las parcelas isolineas, esto debido a la falta de *Ostrinia nubilalis* que sirve como anfitrión para este parasitoide, sufrió una reducción por efecto del maíz *Bt*.

En el agroecosistema maíz los insectos sociales que actúan como agentes útiles para la dispersión de polen presentaron una densidad poblacional baja con una abundancia del 1.4, 2.0, 3.0 y 1.8 % en la parcela de maíz GM1, GM2, GM3 e isogénico respectivamente, representados por Andrenidae y Apidae no encontrándose diferencias en su densidad (Cuadro 2).

En la localidad al presentarse densidad poblacional en una sola familia (Andrenidae) no se calculó el índice de diversidad, con un índice de dominancia total (1), en las parcelas de maíz GM1 y GM2, para la parcela GM3 se calculó un índice de diversidad y dominancia idéntico a la parcela de maíz isogénico, no (Cuadros 3 y 4). Por la poca abundancia en nuestro estudio para este grupo de vital importancia en los ecosistemas terrestres, es muy difícil detectar un posible

efecto del maíz *Bt* sobre su diversidad, además que por su condición social recorren distancias solo para recolectar polen y llevarlo para la alimentación y reproducción de su colmena.

Haciendo referencia a *Apis mellifera* (Apidae), polinizador de mayor importancia en una diversidad de cultivos, Liu *et al.*, (2005) bajo condiciones de laboratorio estudiaron el impacto del polen del algodón *Bt* (Cry1Ac) subsp. Kurstaki observando que el polen del algodón transgénico no tiene efectos tóxicos agudos orales en las abejas obreras. Duan *et al.*, (2008) reportan en estudios de laboratorio que las proteínas Cry de *Bt* utilizadas en los cultivos modificados genéticamente para el control de lepidópteros y coleópteros plaga no afectan negativamente la supervivencia de larvas y adultos de abejas, sin embargo hace hincapié en las tensiones adicionales a las que las abejas se enfrentan en campo por efectos indirectos.

En el agroecosistema maíz se encuentran una gama de artrópodos que habitan y se alimentan en la materia orgánica en descomposición; el grupo saprófago con el tercer nivel trófico mas abundante dentro de las sub comunidad de artrópodos en el maíz con un 31.4, 20.2, 27.5 y 27.6 % en la parcela de maíz GM1, GM2, GM3 e isogénico respectivamente; destacando en este grupo Collembola (Entomobryidae, Isotomidae y Sminthuridae) y Diptera (Chironomidae, Mycetophilidae, Phoridae y Sarcophagidae). Con superioridad en la densidad poblacional en la parcela de maíz GM1, mientras que en la parcela GM2 el isogénico presento un mayor número de artrópodos distribuidos; no encontrándose diferencias entre estas, lo que respecta a la tecnología GM3

se presentó una mayor densidad poblacional respecto al isogénico, observándose diferencias entre estas parcelas debido a la distribución de artrópodos en cada familia (Cuadro 2). La diversidad indica un mayor índice y menor dominio en las tecnologías GM1 y GM2 sobre el isogénico, mientras que la tecnología GM3 y el isogénico presenta igualdad de riqueza y de dominancia de artrópodos (Cuadros 3 y 4).

El número de organismos presentes en la parcela de maíz isogénico está influenciada por los restos del daño en la planta por los insectos plaga de este cultivo que entran en descomposición y que atraen insectos de este nivel trófico que explotan ese nicho como hábitat y/o les sirve de alimento; para los insectos presentes en las parcelas GM con mayor abundancia no se espera daño de las proteínas *Bt* hacia este grupo, dado que las proteínas Cry se ha demostrado que se degradan rápidamente en los residuos que se incorporan al suelo, por lo tanto el impacto ambiental de estos cultivos no es significativo (Betz *et al.*, 2000), e incluso se reporta que este grupo ha sido afectado positivamente al estar expuestos a las proteínas Cry en estudios de laboratorio, y en campo no se han encontrado efectos negativos (Duan *et al.*, 2010). En este estudio la familia Entomobryidae (colembolla) fue la más abundante en todas las parcelas de experimentación con un mayor número en las parcelas de maíz GM1 y GM3, contrastando en la parcela con maíz GM2 donde se encontró mayor abundancia en el maíz isogénico; esta variación en el número de artrópodos en cada parcela representó diferencias solo en la parcela GM3 con resultados positivos hacia la tecnología GM. Al-deeb *et al.* (2003) y Rose y Dively (2007) no

encontraron diferencias en la abundancia de colémbolos en el suelo sembrado con maíz *Bt* y convencional, reportando que no hay un efecto negativo del cultivo GM sobre estos insectos. Fang-Fang *et al.* (2007), por otro lado encontraron a los detritívoros como el segundo nivel más alto de dominio entre las sub-comunidades del agroecosistema, sin diferencia significativa en la composición de este grupo entre arroz *Bt* y arroz convencional; siendo consistentes estos resultados con pruebas de laboratorio hechas con tejidos de plantas *Bt* mezclado en una dieta con carbón vegetal, concluyendo que no hay un riesgo toxicológico para Collembola (Sims y Martin, 1997).

El mayor número de artrópodos en el maíz *Bt* está relacionado con una mayor disponibilidad de recursos, como fuente real de alimento a los fitófagos y estos a su vez atrayendo a sus enemigos naturales equilibrando la comunidad trófica; tal como lo sugieren Rose y Dively, (2007) quienes mencionan que el aumento constante en el número y diversidad de artrópodos que viven en las plantas se produce en función de la biomasa vegetal, y la diversidad estructural provee más nichos y recursos para su hábitat.



## CONCLUSIONES

Los insectos asociados al maíz se distribuyen de manera aleatoria dentro de la parcela y función de la disponibilidad de recursos alimenticios y recursos para su hábitat.

La toxina Cry de *Bacillus thuringiensis* que expresa el maíz genéticamente modificado con la tecnología GM1, GM2 y GM3 no ejerce un efecto negativo sobre la diversidad y abundancia de poblaciones de fitófagos, depredadores, parasitoides, polinizadores y saprófagos no blanco de esta tecnología.

## LITERATURA CITADA

- Al-Deeb, M. A.; G. E. Wilde; J. M. Blair and T. C. Todd. 2003. Effect of *Bt* Corn for Corn Rootworm Control on Nontarget Soil Microarthropods and Nematodes. *Environ. Entomol.* 32(4):859-865.
- Álvarez, B. E. R. (Sin fecha). Aspectos Ecológicos, Biológicos y de Agrobiodiversidad de los Impactos del Maíz Transgénico. Resumen Ejecutivo. Grupo Asesor de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte. En: [http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/Impactos-del-MT\\_4900.pdf](http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/Impactos-del-MT_4900.pdf)
- Bahena, J. F. 2008. Enemigos Naturales de las Plagas Agrícolas. Del maíz y otros cultivos. Libro Técnico Núm. 5 SAGARPA-INIFAP. Uruapan, Michoacán, México. 180 Pág.
- Bautista, M. N. 2006. Insectos Plaga. Una guía ilustrada para su identificación. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México. 113 Pág.
- Betz, F. S., B. G. Hammond and R. L. Fuchs. 2000. Safety and Advantages of *Bacillus thuringiensis*-Protected Plants to Control Insect Pests. *Reg. Tox. Pharmacol.* 32: 156–173.
- Bertolaccini, I, C. Bouzo, N. Larsen y J. C. Favaro. 2010. Especies del género *Euxesta* (Diptera: Ulidiidae=Otitidae) plagas de maíces dulces *Bt* en la provincia de Santa Fe, Argentina. *Rev. Soc. Entomol. Argent.* 69 (1-2):123-126.
- Borror D. J. and R. E. White. 1970. A Field Guide to Insects America North of Mexico. The Peterson field guide series Houghton Mifflin Company. U.S.A. 404 Pág.
- Bruck, J. D., M. D. Lopez, L. C. Lewis, J. R. Prasifka and R. D. Gunnarson. 2006. Effects of Transgenic *Bacillus thuringiensis* Corn and Permethrin on Nontarget Arthropods. *J. Agric. Urban Entomol.* 23(3): 111-124.
- Canard, M.; Y. Séméria and T. R. New. 1984. Biology of Chrysopidae. Series Entomologica 27. DR. W. Junk Publishers. Boston, U.S.A. 294 Pág. In <http://www.trinidadbirding.com/publications/BiologyOfChrysopidae.pdf>.

- Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2006. "Elementos para la determinación de centros de origen y centros de diversidad en general y el caso específico de la liberación experimental de maíz transgénico al ambiente en México". Documento base preparado por la Coordinación Nacional de la CONABIO para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, D.F. En: [Http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Doc\\_CdeOCdeDG.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Doc_CdeOCdeDG.pdf).
- Daly, T. and Buntin G. D. 2005. Effect of *Bacillus thuringiensis* Transgenic Corn for Lepidopteran Control on Nontarget Arthropods. *Environ. Entomol.* 34(5): 1292-1301.
- Dively, G. P. and R. Rose. 2002. Effects of *Bt* transgenic and conventional insecticide control on the non-target natural enemy Community in sweet corn. 1st International Symposium on Biological Control of Arthropods. Forest Health Technology Enterprise Team. United States. 265-274 Pág.
- Duan, J. J.; J. G. Lundgren; S. Naranjo and M. Marvier. 2010. Extrapolating non-target risk of Bt crops from laboratory to field. *Biol. Lett.* 6: 74–77.
- Duan, J. J.; M. Marvier; J. Huesing; G. Dively and Z. Y. Huang. 2008. A Meta-Analysis of Effects of Bt Crops on Honey Bees (Hymenoptera: Apidae). *PLoS ONE* 3(1): e1415.
- Dutton, A., J. Romeis and F. Bigler. 2003. Assessing the risks of insect resistant transgenic plants on entomophagous arthropods: Bt-maize expressing Cry1Ab as a case study. *BioControl.* 48:611-636.
- Fang-Fang L.; Y. Gong-Yin; W. Qiong; P. Yu-Fa; and C. Xue-Xin. 2007. Arthropod Abundance and Diversity in *Bt* and Non-*Bt* Rice Fields. *Environ. Entomol.* 36(3): 646-654.
- Fernandez, F. y M. J. Sharkey. (Eds.) 2006. Introducción a los Hymenoptera de la región Neotropical. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 893 Pág.
- González, H. A., R. A. Wharton, J. A. Sánchez G., V. López M., J. R. Lomelí, F., I. Figueroa, D. R. y H. Delfín, G. 2003. Catálogo ilustrado de Braconidae (Hymenoptera: Ichneumonoidea) en México. [CD-ROM]: il. Color. UANL. México.
- Higgins, L. S., J. Babcock, P. Neese, R. J Layton, D. J. Moellenbeck and N. Storer. 2009. Three-year field monitoring of Cry1F, event DAS-01507-1, maize hybrids for Nontarget arthropod effects. *Environ Entomol.* 38(1): 281-92.

- Hilbeck, A.; M. Baumgartner; M. F. Padruot and F. Bigler. 1998. Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn-fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). *Environ. Entomol.* 27 (2): 480-487.
- James, C. 2010. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2010. ISAAA Brief No. 42. ISAAA: Ithaca, NY. In <http://www.isaaa.org>
- Jasinnski, J. R., J. B. Easley, C. E. Young, J. Kovach, and H. Willson. 2003. Select Nontarget arthropod abundance in transgenic and non-transgenic Field crops in Ohio. *Environ. Entomol.* 32 (2): 407-413.
- Kiss, J., F. Szentkirályi, F. Tóth, Á. Szénási, F. Kádár, K. Árpás, D. Szekeres and C. R. Edwards. 2003. *Bt* corn impact on non-targets and adjusting to local IPM systems.157-172. In: Lelley T., E. Balázs, and M. Tepfer (Eds.) 2003. Ecological Impact of GMO Dissemination in Agro-Ecosystems. Austria. 218 Pág.
- Larochelle, A. y M. C. Larivière. 2010. A selected bibliography on the biology and ecology of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae, including Cicindelinae). Auckland, New Zealand: Authors. 189 Pág. In: <Http://www.larochellelariviere.com/>
- Liu, B.; X. Chongren; F. Yan and R. Gong. 2005. The impacts of the pollen of insect-resistant transgenic cotton on honeybees. *Biodiversity and Conservation.* 14(14): 3487–3496.
- Ludy, C and A. Lang. 2006. A 3-year Weld-scale monitoring of foliage-dwelling spiders (Araneae) in transgenic *Bt* maize Welds and adjacent Weld margins. *Biological Control* 38: 314–324.
- McAlpine, J. F.; B. V. Peterson; G. E. Shewell; H. J. Teskey; J. R. Vockeroth and D. M. Wood. (Eds.) 1981a. Manual of Nearctic Diptera. Vol. 1. Canada. 1-674 Pág.
- McAlpine (Ed.) J. F.; B. V. Peterson; G. E. Shewell; H. J. Teskey; J. R. Vockeroth and D. M. Wood. 1981b. Manual of Nearctic Diptera. Vol. 2. Canada. 675-1332 Pág
- Minitab Inc. Quality Plaza 1829 Pine Hall Road State College PA 16801-3008. [www.minitab.com](http://www.minitab.com).
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, 84 Pág.
- Muma, M. H. 1959. Chrysopidae associated with citrus in Florida. *Florida Entomologist* 42: 21-29.

- Nájera, R. M. B. y Souza, B. 2010. Insectos Benéficos. Guía para su Identificación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 73 Pág.
- Noyes, J. S. 2011. Universal Chalcidoidea Database. World Wide Web electronic publication. <http://www.nhm.ac.uk/chalcidoids>.
- Pilcher, C. D.; J. J. Obrycki, M. E. Rice and L. C. Lewis. 1997. Preimaginal development, survival and field abundance of insect predators on transgenic *Bacillus thuringiensis* corn. *Environ. Entomol.* 26 (2): 446-454.
- Pons, X., B. Lumbierres, C. López, and R. Albajes. 2005. Abundance of non-target pests in transgenic Bt-maize: A farm scale study. *Eur. J. Entomol.* 102:73-79.
- Rodríguez, F. E., R. Zumalacárregui J. M., C. A. Otero, S. A. Calleja, C. F. De la Fuente C. 2003. Lo que vd. debe saber sobre los alimentos transgénicos (y organismos manipulados genéticamente). Cartilla de divulgación. Edición caja España. 69 Pág.
- Rose, R. and G. P. Dively. 2007. Effects of Insecticide-Treated and Lepidopteran-Active *Bt* Transgenic Sweet Corn on the Abundance and Diversity of Arthropods. *Environ. Entomol.* 36(5): 1254-1268.
- Shu-Dong, D.; X. Jing; Z. Qing-Wen; Z. Shin-Wen; and X. Guan-Jun. 2003. Effect of transgenic Bt cotton on population dynamics of the non-target pests and natural enemies of pests. *Acta Entomologica Sinica.* 46(1):1-5
- Silva, C. C. A. 2005. Maíz Genéticamente Modificado. AGRO-BIO. Bogotá, Colombia. Pág. 60.
- Sims, S. R. 1995. *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (CryIA (C)) protein expressed in transgenic cotton: effects on beneficial and other non-target insects. *Southwestern Entomologist.* 20(4):493-500.
- Sims, S. R. and J. W. Martin. 1997. Effect of the *Bacillus thuringiensis* insecticidal proteins CryIA(b), CryIIA, and CryIIIA on *Folsomia candida* and *Xenylla grisea* (Insecta: Collembola). *Pedobiologia.* 41: 412-416.
- Sisterson, M. S.; Y. Carrière; T. J. Dannehy and B. E. Tabashnik. 2007. Nontarget Effects of Transgenic Insecticidal Crops: Implications of Source-Sink Population Dynamics. *Environ. Entomol.* 36(1): 121-127.
- Soberón, M. y A. Bravo. 2008. Las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis*: modo de acción y consecuencias de su aplicación. En: Rebolledo, F y A. Lopez-Munguia (Eds.). 2008. Una ventana al quehacer científico. Instituto de Biotecnología de la UNAM 25 aniversario. México, D.F. UNAM. Pág. 303-314.

- Tauber, M. J. and C. A. Tauber. 1983. Life History Traits of *Chrysopa carnea* and *Chrysopa rufilabris* (Neuroptera: Chrysopidae): Influence of Humidity. *Ann. Entomol. Soc. America*. 76: 282-285.
- Toschki, A.; L. A. Hothorn and M. RoB-Nickoll. 2007. Effects of Cultivation of Genetically Modified *Bt* Maize on Epigeic Arthropods (Araneae; Carabidae). *Environ. Entomol.* 36(4):967-981.
- Triplehorn C. A. and N. F. Johnson. 2005. Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects. 7<sup>th</sup> Edition. Thompson Brooks/Cole. USA. Pág 865.
- Ulhaq, M. M., A. Sattar, Z. Salihah, A. Farid, A. Usman and S. U. K. Khattak. 2006. Effect of different artificial diets on the biology of adult green lacewing (*Chrysoperla carnea* Stephens.) *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 28(1): 1-8.
- Vitti, S. E. y M. A. Sosa. 2005. Impacto del Cultivo de Maíz Transgénico en la Biodiversidad de Artrópodos no Blanco. INTA E.E.A. Congreso Argentino de Entomología.
- White, R. E. 1987. A Field Guide to Beetles of North America. The Peterson field guide series Houghton Mifflin Company. U.S.A. 367 Pág.

## CONCLUSIONES GENERALES

El maíz genéticamente modificado con la tecnología GM1, GM2 y GM3 que expresa la toxina cristal de *Bacillus thuringiensis* es resistente al gusano cogollero *Spodoptera frugiperda*.

Los insectos asociados al maíz se distribuyen de manera aleatoria dentro de la parcela y función de la disponibilidad de recursos alimenticios y recursos para su hábitat.

La toxina Cry de *Bacillus thuringiensis* que expresa el maíz genéticamente modificado con la tecnología GM1, GM2 y GM3 no ejerce un efecto negativo sobre la diversidad y abundancia de poblaciones de fitófagos, depredadores, parasitoides, polinizadores y saprófagos no blanco de esta tecnología.

El maíz genéticamente modificado con la tecnología GM1, GM2 y GM3 puede ser contemplado dentro de un sistema agrícola de manejo integrado de plagas, siguiendo las prácticas agronómicas adecuadas para este material transgénico; para mantener la eficiencia de la tecnología y evitar brotes de resistencia.

## LITERATURA CITADA

- Álvarez, B. E. R. (Sin fecha). Aspectos Ecológicos, Biológicos y de Agrobiodiversidad de los Impactos del Maíz Transgénico. Resumen Ejecutivo. Grupo Asesor de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte. En: [http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/Impactos-del-MT\\_4900.pdf](http://depa.pquim.unam.mx/amyd/archivero/Impactos-del-MT_4900.pdf)
- Arévalo-Niño, K., L. J. Galán-Wong y C. Solís-Rojas. 2007. Importancia de *Bacillus thuringiensis* (Bt) como Agente de Control Biológico de Plagas en una Agricultura Sustentable, pp. 223-231. En Lira-Saldívar, R.H. (Ed.) Bioplaguicidas y Control Biológico. Serna Editores. México. 231 Pág.
- Benavidez, M. A., R. E. M. Hernández V., H. Ramírez R. y A. Sandoval R. 2010. Tratado de Botánica Económica Moderna. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Saltillo, Coahuila; México. 332 Pág.
- Broderick, A. N., F. Raffa, K. and J. Handelsman. 2006. Midgut bacteria required for *Bacillus thuringiensis* insecticidal activity. PNAS. 103: 15196-15199.
- Carmona, A. 2002. Aislamiento y Caracterización parcial de una cepa de *Bacillus thuringiensis* toxica a *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Bioagro. 14(1): 3-10.
- Carvajal, R. 2002. Bases para el debate sobre los OGM en Bolivia. Foro-Debate Cultivos genéticamente modificados: impactos en la biodiversidad, la salud y los procesos productivos. Ecoseries 1. La Paz, Bolivia. En: <http://library.fes.de/pdf-files/iez/global/02049.pdf>.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) 2011. Lista de Plagas y enfermedades del maíz. En: <http://maizedoctor.cimmyt.org/es/plagas-y-enfermedades/lista>.
- Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM). 2010. Avances en el empleo de la Biotecnología de Organismos Genéticamente Modificados en México: maíz amarillo. En: [Http://www.cibiogem.gob.mx](http://www.cibiogem.gob.mx)



- Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2006. "Elementos para la determinación de centros de origen y centros de diversidad en general y el caso específico de la liberación experimental de maíz transgénico al ambiente en México". Documento base preparado por la Coordinación Nacional de la CONABIO para la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). México, D.F. En: [Http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Doc\\_CdeOCdeDG.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/Doc_CdeOCdeDG.pdf)
- Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2008. Proyecto FZ002 "Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México". México D.F. En: [http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo8\\_ResultadosProyectos/FZ002/Informe%20final/Maiz/Sinaloa/Informe%20Final\\_Sinaloa\\_FZ002.pdf](http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo8_ResultadosProyectos/FZ002/Informe%20final/Maiz/Sinaloa/Informe%20Final_Sinaloa_FZ002.pdf)
- Crickmore, N., D. R. Zeigler, J. Feitelson, E. Schnepf, J. Van Rie, D. Lereclus, J. Baum, and D. H. Dean. 1998. Revision of the Nomenclature for the *Bacillus thuringiensis* Pesticidal Crystal Proteins. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 62(3): 807-813.
- Dively, G. P. and R. Rose. 2002. Effects of Bt transgenic and conventional insecticide control on the non-target natural enemy Community in sweet corn. 1st International Symposium on Biological Control of Arthropods. Forest Health Technology Enterprise Team. United States. 265-274 Pág.
- Dutton, A., J. Romeis and F. Bigler. 2003. Assessing the risks of insect resistant transgenic plants on entomophagous arthropods: Bt-maize expressing Cry1Ab as a case study. *BioControl*. 48:611-636.
- Financiera rural. 2010. Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996-2012. En: <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Maz/Ma%C3%ADz/maiz96-12.pdf>.
- Fraire, V. S. 2006. Un panorama del tema de los organismos genéticamente modificados: bondades y riesgos con las plantas transgénicas. *Revista de Investigación Científica*. 2(2): 1-20. En: [www.uaz.edu.mx/revistainvestigacion](http://www.uaz.edu.mx/revistainvestigacion)
- Glare, T. R. and M. O'Callaghan. 2000. *Bacillus thuringiensis*: Biology, Ecology and Safety. John Wilery & Sons, LTD. New York. 350 Pág.

- Higgins, L. S., J. Babcock, P. Neese, R. J Layton, D. J. Moellenbeck and N. Storer. 2009. Three-year field monitoring of Cry1F, event DAS-01507-1, maize hybrids for Nontarget arthropod effects. *Environ Entomol.* 38(1): 281-92.
- Hoffmann, M. P. and A.C. Frodsham. 1993. *Natural Enemies of Vegetable Insect Pests.* Cooperative Extension, Cornell University, Ithaca, NY. 63 Pág.
- Hofmann, C., P. Lüthy, R. Hütter, and V. Pliska. 1988. Binding of the delta endotoxin from *Bacillus thuringiensis* to brush-border membrane vesicles of the cabbage butterfly (*Pieris brassicae*). *Eur. J. Biochem.* 173: 85-91.
- Höfte, H. and H. R. Whiteley. 1989. Insecticidal Crystal Proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiol. Rev.* 53(2): 242-255.
- [Http://www.cls.casa.colostate.edu/cultivostransgenicos/sp\\_how.html#DNA](http://www.cls.casa.colostate.edu/cultivostransgenicos/sp_how.html#DNA)
- [Http://www.educaciencias.gov.ar/archivos/recursos/explora/CSNAT06.pdf](http://www.educaciencias.gov.ar/archivos/recursos/explora/CSNAT06.pdf)
- [Http://www.unesco.org/most/Dp1es.pdf](http://www.unesco.org/most/Dp1es.pdf).
- Ibarra, J. E. 2007. Uso de bacterias en el control biológico, pp. 144-159. En: L. A. Rodríguez-del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.), *Teoría y Aplicación del Control Biológico.* Sociedad Mexicana de Control Biológico, México. 303 Pág.
- Iriarte, J. y P. Caballero. 2001. Biología y Ecología de *Bacillus thuringiensis*. En: Caballero, P., Ferre J. (Eds.), *Bioinsectidas: Fundamentos y aplicaciones de Bacillus thuringiensis en el Control Integrado de Plagas.* PHITOMA-España, Navarra, España, pp. 15-44.
- James, C. 2010. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2010. ISAAA Brief No. 42. ISAAA: Ithaca, NY. In <http://www.isaaa.org>
- Joung, K. B. and J. C. Côté. 2000. A review of the environmental impacts of the microbial insecticide *Bacillus thuringiensis*. *Technical Bulletin.* Canada. 29: 1-16
- Jugenheimer, R.W. 1988. Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Ed. Limusa. México D.F. 841Pág.
- Kati, H., K. Sezen, R. Nalcacioglu and Z. Demirbag. 2007. A Highly Pathogenic Strain of *Bacillus thuringiensis* serovar *kurstaki* in Lepidopteran Pests. *J. Microbiol.* 45(6): 553-557

- Kato, T. A., C. Mapes, L. M. Mera, J. A. Serratos y R. A. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 116 pág.
- Kato, Y. T. A. 2009. Teorías sobre el origen del maíz. En: Kato, T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos y R.A. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 116 pág.
- Knowles, B. H. 1994. Mechanism of action of *Bacillus thuringiensis* insecticidal delta-endotoxins. In *Advances in Insect Physiology*. 24. Ed. PD Evans. Academic Press, London, England. Pág. 275-308.
- Kotchoni, O. S., W. E. Gachomo and M. Mwangi. 2005. Review Commercial Production of Genetically Modified Crops: A Prognosis Towards Global Acceptance. *Int. J. Agri. Biol.* 7(4):681-688.
- Leong, K. L. H., R. J. Cano and A. M. Kubinski. 1980. Factors Affecting *Bacillus thuringiensis* Total Field Persistence. *Environ. Entomol.* 9(5): 593-599.
- Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM). 2005. En: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LBOGM.pdf>.
- Losey, J. E., L. S. Rayor and M. E. Carter. 1999. Transgenic Pollen Harms Monarch Larvae. *Nature*. 39: 214.
- Mera, O. L. M. 2009. Diversificación y distribución reciente del maíz en México. En: Kato, T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos y R.A. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 116 pág.
- Mera, O. L. M. y S. C. Mapes. 2009. El Maíz. Aspectos Biológicos. En: Kato, T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos y R.A. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 116 pág.
- National Center for Biotechnology Information (NCBI). 2011. In: <Http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?id=1428>
- Ortega, A. C. 1987. Insectos nocivos del maíz: una guía para su identificación en el campo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). D.F., México. 106 Pág.

- Permingeat, H. y E. Margarit. 2005. Impacto ambiental de los cultivos genéticamente modificados: El caso de Maíz *Bt*. Revista Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias. 7:33-44.
- Rausell, C., C. Muñoz-Garay, R. Miranda-CassoLuengo, I. Gómez, E. Rudino-Pinera, M. Soberon and A. Bravo. 2004. Tryptophan spectroscopy studies and black lipid bilayer analysis indicate that the oligomeric structure of Cry1Ab toxin from *Bacillus thuringiensis* is the membrane-insertion intermediate. *Biochemistry* 43: 166-74
- Reyes C. P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT-EDITOR S.A. México, D.F. 280 pág.
- Rodríguez, F. E., R. Zumalacárregui, J. M., C. A. Otero, S. A. Calleja, C. F. De la Fuente C. 2003. Lo que vd. debe saber sobre los alimentos transgénicos (y organismos manipulados genéticamente) Cartilla de divulgación. Edición caja España. 69 Pág.
- Rodríguez, R. P. y R. O. González. 2007. Plantas transgénicas: una revisión de los principales cultivos básicos en México. *e-Gnosis*. 5(9): 1-22. In: <http://www.e-gnosis.udg.mx/vol15/art9>.
- Sauka, D. H. y G. B. Benintende. 2008. *Bacillus thuringiensis*: generalidades. Un acercamiento a su empleo en el biocontrol de insectos lepidópteros que son plagas agrícolas. *Revista Argentina de Microbiología*. 40: 124-140
- Schnepf, E. and H. R. Whiteley. 1981. Cloning and expression of the *Bacillus thuringiensis* crystal protein gene in *Escherichia coli*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 78 (5): 2893-2897.
- Schnepf, E., N. Crickmore, J. Van Rie, D. Lereclus, J. Baum, J. Feitelson, D.R. Zeigler and D.H. Dean. 1998. *Bacillus thuringiensis* and Its Pesticidal Crystal Proteins. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 62(3): 775-806.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2011. En: <http://www.siap.gob.mx>. Consulta: 26/agosto/2011.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2012a. Estatutos de Solicitudes de Maíz Genéticamente Modificado 2009-2012. En: <http://www.senasica.gob.mx/?id=2220>. Consulta: 26/Mayo/2012.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2012b. Estatutos de Solicitudes de permisos de liberación al ambiente 2011-2012. En: <http://www.senasica.gob.mx/?id=2220>. Consulta: 26/Mayo/2012.

- Sifuentes, J. A. 1985. Plagas del maíz en México. INIFAP. Folleto técnico. Núm. 85. D. F., México. 49 Pág.
- Sisterson, M. S., Y. Carrière, T. J. Dannehy and B. E. Tabashnik. 2007. Nontarget Effects of Transgenic Insecticidal Crops: Implications of Source-Sink Population Dynamics. *Environ. Entomol.* 36(1): 121-127.
- Soberón, M. y A. Bravo. 2008. Las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis*: modo de acción y consecuencias de su aplicación. En: Rebolledo, F y A. Lopez-Munguia (Eds.). 2008. Una ventana al quehacer científico. Instituto de Biotecnología de la UNAM 25 aniversario. México, D.F. UNAM. Pág. 303-314.
- Turrent, F. A., F. J. I. Cortes, C. A. Espinosa, A. H. Mejía y H. J. A. Serratos. 2010. Es ventajosa para México la tecnología actual de maíz transgénico. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1 (4): 631-646.

## APENDICE

Cuadro 1. Listado de fitófagos encontrados en maíz genéticamente modificado e Isogénico en Díaz Ordaz, Tamaulipas; durante el ciclo primavera verano 2011.

GRUPOS		GM2	GM1	GM3	Testigo	
ORDEN	FAMILIA					
Fitófagos						
1	Acari	Acari	118	11	5	1
2	Hemiptera	Aphidiidae	77	45	38	63
3	Hemiptera	Cercopidae	1	1	0	0
4	Hemiptera	Cicadellidae	135	137	63	74
5	Hemiptera	Lygaeidae	1	0	0	2
6	Hemiptera	Membracidae	0	0	1	0
7	Hemiptera	Psyllidae	14	4	6	4
8	Thysanoptera	Thripidae	160	16	123	30
9	Psocóptera	Caeciliusidae	0	0	2	2
10	Psocóptera	Dasydemellidae	1	0	0	2
11	Coleoptera	Chrysomelidae	83	123	118	79
12	Coleoptera	Curculionidae	0	1	0	0
13	Coleoptera	Elateridae	0	0	0	1
14	Coleoptera	Tenebrionidae	2	1	1	0
15	Lepidoptera	Gelechiidae	0	0	2	3
16	Lepidoptera	Noctuidae	9	8	5	8
17	Lepidoptera	Pieridae	1	2	1	0
18	Diptera	Agromyzidae	0	0	1	5
19	Diptera	Chloropidae	41	41	22	20
20	Diptera	Cecidomyiidae	2	0	1	2
21	Diptera	Drosophilidae	1	0	0	0
22	Diptera	Sciaridae	720	359	606	467
23	Diptera	Ulidiidae	379	385	205	258
No familias			17	14	17	17
No insectos			1745	1134	1200	1021

\*Curculionidae incluye Platipodidae=Platipodinae \*Chrysomelidae incluye Bruchidae=Bruchinae

Cuadro 2. Listado de depredadores encontrados en maíz genéticamente modificado e Isogénico en Díaz Ordaz, Tamaulipas; durante el ciclo primavera verano 2011.

GRUPOS		GM2	GM1	GM3	Testigo	
ORDEN	FAMILIA					
Depredadores						
1	Araneae	Araneae	6	12	17	20
2	Chilopoda	Chilopoda	0	0	0	1
3	Hemiptera	Anthocoridae	7	12	6	3
4	Hemiptera	Geocoridae	1	0	2	0
5	Hemiptera	Miridae	24	18	34	87
6	Hemiptera	Nabidae	1	0	0	0
7	Hemiptera	Reduviidae	1	1	1	0
8	Coleoptera	Carabidae	0	1	1	2
9	Coleoptera	Cleridae	1	1	0	0
10	Coleoptera	Coccinellidae	15	14	25	17
11	Coleoptera	Histeridae	0	0	3	2
12	Coleoptera	Melyridae	1	1	2	0
13	Coleoptera	Staphylinidae	1	1	2	5
14	Coleoptera	Trogossitidae	17	1	9	3
15	Neuroptera	Chrysopidae	35	23	13	20
16	Hymenoptera	Formicidae	0	14	0	0
17	Hymenoptera	Vespidae	1	0	1	0
18	Diptera	Dolichopodidae	86	60	39	52
19	Diptera	Empididae	11	10	6	20
20	Diptera	Syrphidae	4	7	7	6
No familias			16	14	16	13
No insectos			212	176	168	238

\*Carabidae incluye Cicindelidae=Cicindelinae

Cuadro 3. Listado de parasitoides encontrados en maíz genéticamente modificado e Isogénico en Díaz Ordaz, Tamaulipas; durante el ciclo primavera verano 2011.

GRUPOS		GM2	GM1	GM3	Testigo
ORDEN	FAMILIA				
Parasitoides					
1	Hymenoptera Bethylidae	2	0	5	0
2	Hymenoptera Braconidae	15	34	23	27
3	Hymenoptera Ceraphronidae	0	0	0	1
4	Hymenoptera Chalcididae	0	0	1	0
5	Hymenoptera Diapriidae	0	0	1	0
6	Hymenoptera Dryinidae	1	0	0	0
7	Hymenoptera Encyrtidae	4	1	0	1
8	Hymenoptera Eulophidae	0	1	0	2
9	Hymenoptera Eurytomidae	0	1	0	0
10	Hymenoptera Figitidae	1	0	0	1
11	Hymenoptera Ichneumonidae	2	1	1	1
12	Hymenoptera Mymaridae	1	0	1	0
13	Hymenoptera Perilampidae	0	0	1	0
14	Hymenoptera Pteromalidae	1	0	0	1
15	Hymenoptera Scelionidae	0	2	1	0
No familias		8	6	8	7
No insectos		27	40	34	34



Cuadro 4. Listado de saprófagos encontrados en maíz genéticamente modificado e Isogénico en Díaz Ordaz, Tamaulipas; durante el ciclo primavera verano 2011.

GRUPOS		GM2	GM1	GM3	Testigo	
ORDEN	FAMILIA					
Saprófagos						
1	Collembola	Entomobryidae	208	482	492	454
2	Collembola	Isotomidae	31	92	6	3
3	Collembola	Sminthuridae	3	52	0	1
4	Ephemeroptera	Ephemeridae	0	0	0	1
5	Coleoptera	Anthicidae	0	0	1	2
6	Coleoptera	Nitidulidae	0	3	0	1
7	Coleoptera	Pyrochroidae	0	0	2	1
8	Diptera	Anthomyzidae	1	0	8	0
9	Diptera	Calliphoridae	1	0	0	0
10	Diptera	Chironomidae	30	44	23	24
11	Diptera	Heleomyzidae	0	0	1	0
12	Diptera	Muscidae	6	12	1	7
13	Diptera	Mycetophilidae	16	6	4	2
14	Diptera	Phoridae	21	27	10	13
15	Diptera	Psychodidae	0	2	0	1
16	Diptera	Sarcophagidae	18	0	2	3
17	Diptera	Scenopinidae	0	2	6	0
18	Diptera	Sphaeroceridae	6	5	2	1
19	Diptera	Tipulidae	2	0	2	0
No familias			12	11	14	14
No insectos			343	727	560	514

Cuadro 5. Listado de polinizadores encontrados en maíz genéticamente modificado e Isogénico en Díaz Ordaz, Tamaulipas; durante el ciclo primavera verano 2011.

GRUPOS		GM2	GM1	GM3	Testigo	
ORDEN	FAMILIA					
Polinizadores						
1	Hymenoptera	Andrenidae	41	11	68	45
2	Hymenoptera	Apidae	0	0	2	1
No familias			1	1	2	2
No insectos			41	11	70	46