

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Condición de Organismos No Blanco y la Importancia de los Agentes de Control Biológico en los Cultivos Genéticamente Modificados con Tecnología *Bt*

Por:

REINA FLORES MALDONADO

MONOGRAFÍA

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Condición de Organismos No Blanco y la Importancia de los Agentes de Control
Biológico en los Cultivos Genéticamente Modificado con Tecnología Bt

Por:

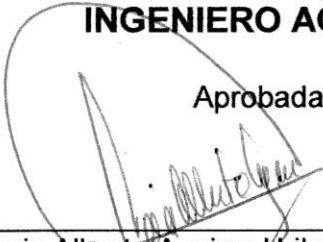
REINA FLORES MALDONADO


MONOGRAFÍA


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

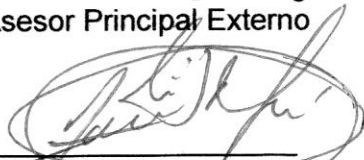
INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

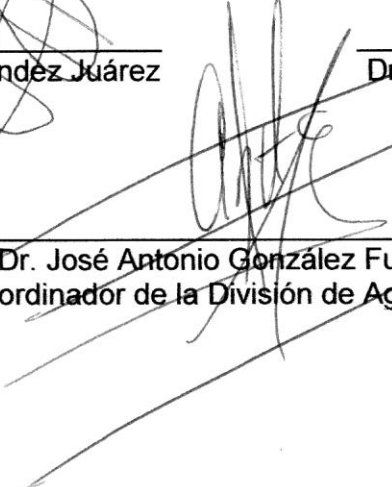
Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe
Asesor Principal Interno


Dra. Miriam Sánchez Vega
Asesor Principal Externo


Dr. Agustín Hernández Juárez
Coasesor


Dr. Alonso Méndez López
Coasesor


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



Saltillo, Coahuila, México
Diciembre, 2021

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar el autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Reina Flores Maldonado

Dedicatoria

A mis padres

Antonio Flores Santiago y Fortunata Maldonado Ojeda

Que siempre me apoyaron incondicionalmente en la parte moral y económica por ser mis principales motivadores, por sus sacrificios y esfuerzos constantes, sus consejos, amor y cariño; sin ustedes yo no habría llegado hasta donde estoy.

A mi abuela

Sabina Ojeda Chávez

Por compartir conmigo alegrías, éxito y fracasos y por creer en mí, siempre estuvo conmigo apoyándome y encontraba esas palabras exactas para hacerme sonreír.

A mis hermanos que siempre estuvieron conmigo apoyándome, motivándome en cada momento para que saliera adelante.

Y en especial a una persona que siempre me brindó su apoyo y amistad incondicional día a día en el transcurso de cada año de mi carrera universitaria, muchísimas gracias:

Lic. Serafín Ortiz

Agradecimientos

A Dios

Agradezco infinitamente a Dios, porque en cada momento de mi vida, me ha permitido sonreír por los logros obtenidos, que son el resultado de su ayuda, y gracias porque en cada una de mis caídas, sé que son pruebas que me pone; para así aprender de mis errores, mejorar como ser humano y crecer de diversas maneras.

Este trabajo ha sido una gran bendición en todo sentido y te lo agradezco padre, gracias por estar presente no solo en esta etapa tan importante de mi vida, sino en todo momento buscando lo mejor para mi persona.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme aceptado ser parte de ella y abierto las puertas para poder estudiar mi carrera.

Agradezco a cada uno de mis asesores que me apoyaron y dedicaron tiempo, aportando sus conocimientos para así terminar este tema de investigación la cual sin ellos no hubiera sido posible obtener mi título profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), en especial al Programa Nacional de Investigadoras e Investigadores por México, anteriormente Cátedras CONACYT, ya que el desarrollo de esta revisión se deriva del Proyecto 1043: “Monitoreo de insectos resistentes a las toxinas Cry de *Bt*”.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Dedicatoria	IV
Agradecimientos.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE CUADROS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN.....	XI
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Generalidades de los Cultivos Genéticamente Modificados	4
<i>Adopción y situación actual de los cultivos GM</i>	5
<i>Características de los cultivos GM</i>	8
<i>Producción mundial</i>	10
<i>Producción en México</i>	11
Características de la Bacteria <i>Bacillus thuringiensis</i>	12
<i>Importancia de Bacillus thuringiensis</i>	13
<i>Clasificación taxonómica Bt</i>	14
<i>Modo de acción</i>	14
<i>Tipos de toxinas de Bacillus thuringiensis</i>	15
<i>Uso de Bacillus thuringiensis y la especificidad de las toxinas</i>	16
Control de Plagas en Cultivos	18
<i>Conceptos de plaga</i>	18
<i>Manejo integrado de plagas (MIP)</i>	21
Control cultural.....	21

Control mecánico	22
Control físico	23
Control etológico	24
Control químico.....	24
Control legal.....	25
Control genético.....	25
Control biorracional.....	26
Control biológico de plagas	27
Ventajas y desventajas del control biológico	28
Tipos de control biológico	29
Agentes de control biológico natural.....	31
Estrategia de Control de Plagas en Cultivo <i>Bt</i>.....	33
Efectos sobre la Diversidad de Organismos no Blanco en Cultivos <i>Bt</i>	35
CONCLUSION.....	39
LITERATURA CONSULTADA.....	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Superficie mundial de cultivos biotecnológicos en 2019: por país (millones de hectáreas) (ISAAA, 2019).....	7
--	---

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área global de los cultivos transgénicos, por características (sobre 190,4 millones de hectárea (ISAAA, 2019). (TH: Tolerante a herbicida; RI: Resistencia a insectos).	9
Figura 2. Área global de los cultivos Genéticamente Modificados, sobre 190.4 millones de hectáreas. Fuente: ISAAA (2019). Otros incluyen, alfalfa, remolacha azucarera, caña de azúcar, papaya, cártamo, papa, berenjena, calabacín amarillo.	10
Figura 3. Área de cultivos Genéticamente Modificados en México, Periodo de 1996-2012. Fuente: Gutiérrez <i>et al.</i> , 2015.	11
Figura 4. Imagen de microscopía electrónica de transmisión de una cepa de <i>Bacillus thuringiensis</i> en estado de esporangio. C: cristal parasporal; E: espora, Barra, 0.5 μm (Sauka & Benintende, 2008).	12
Figura 5. Modo de acción de la endotoxina de <i>Bacillus thuringiensis</i> . Fuente: http://www.elbruixot.com/semillasdemaria/bacillus-thuringiensis/	15
Figura.6. Espectro de acción de toxinas de <i>Bacillus thuringiensis</i> sobre especies de invertebrados (Ruiz de Escudero <i>et al.</i> , 2006 citado por Pinos & Hernández, 2019).....	17
Figura 7. Plagas de importancia en cultivos agrícolas. A. Pulgones (Hemiptera: Aphididae), B. Picudo del algodnero (<i>Anthonomus grandis</i> , Coleoptera: Curculionidae). Fuente: https://www.tecnologiahorticola.com/	18
Figura 8. Posición general de equilibrio (PGE), fluctuación normal de especies en un ecosistema natural (bosque o pradera), regulada por factores bióticos y abióticos. Fuente: grafico proporcionado por la Dra. Miriam Sánchez Vega (CONACYT-UAAAN).	20
Figura 9. Representación esquemática de los tipos de plagas (claves, ocasionales y potenciales) según la densidad de equilibrio de sus poblaciones respecto al umbral de daño.	20
Figura 10. Uso de cultivos asociados, como estrategia del control cultural de plagas, y que se emplea dentro del Manejo Integrado de Plagas. Fuente: Cañedo <i>et al.</i> , 2011.....	22
Figura 11. Estrategias en el control mecánico de plagas. Fuente: https://hydroenv.com.mx/23	
Figura 12. Acolchado transparente para solarización de suelos utilizado, como estrategia en el control físico de plagas. Fuente: https://universidadagricola.com/	23

Figura 13. Trampas pegajosas cromáticas y trampas con ferormonas atrayentes para lepidópteros, como estrategias en el control etológico de plagas. Fuente: Cruz-Esteban <i>et al.</i> , 2020.....	24
Figura 14. Aplicación de plaguicidas, mediante el uso de mochila de aspersión motorizada, utilizada como estrategia en el control químico de plagas. Fuente: https://hydroenv.com.mx/	25
Figura 15. Control de la cochinilla acanalada <i>Icerya purchasi</i> (Homoptera: Coccidae). A. Adulto de <i>Rodalia cardinales</i> , alimentándose de cochinilla; B. Larva de <i>Rodalia cardinales</i> sobre la cochinilla. Fuente: http://gipcitricos.ivia.es/1457.html	28
Figura 16. Depredador (<i>Rodalia cardinalis</i>) para el control de plagas exóticas en cítricos. Fuente: https://controlbio.es/es/	29
Figura 17. Hemíptero depredando una larva de lepidóptero, representación del control biológico natural. Fuente: https://www.senasa.gob.pe	30
Figura 18. Liberación de <i>Cotesia flavipes</i> , en el cultivo de caña de azúcar y adulto de <i>C. flavipes</i> parasitando larva de <i>Diatraea saccharalis</i> . Fuente: https://laboratoriosbiocol.com/ .	30
Figura 19. A. <i>Trichogramma</i> parasitando huevos de Lepidoptera. Fuente: cultivandoorganicooperu.blogspot.com/ ; B. <i>Encarsia formosa</i> para el control de la mosca blanca (<i>B. tabaci</i>). Fuente: https://agriculturers.com/	31
Figura 20. Larvas de lepidopteros afectadas por hongos entomopatogenos. A. <i>Paecilomyces fumosouroseus</i> . Fuente: controlbio.es/ ; B. <i>Beauveria basiana</i> . Fuente: https://www.intagri.com/	32
Figura 21. Coccinélido alimentándose de huevos de pulgones. Fuente: https://www.gob.pe/senasa	33

RESUMEN

La importancia de los agentes de control biológico ocupa un lugar preferencial en la regulación de las plagas de los cultivos de importancia económica porque constituye una de las principales tácticas empleadas dentro del manejo integrado; los agentes de control biológicos, se clasifican en tres categorías como son depredadores, parasitoides, patógenos. Los cultivos transgénicos, biotecnológicos o genéticamente modificados (GM) son el resultado de la aplicación de la tecnología del ADN recombinante en la agricultura. A los cultivos GM, se les ha insertado un gen en forma estable que les otorga una característica deseada como tolerancia a herbicidas o la resistencia a insectos lepidópteros, que potencialmente son considerados plagas blanco. Los cultivos resistentes a insectos, son conocidos también como cultivos *Bt*, debido a que contienen insertos de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, con la finalidad de que expresen genes de toxinas Cry que actúan como insecticidas. La bacteria se encuentra ampliamente distribuido en los agrosistemas y una de sus principales aplicaciones es el control de plagas de cultivos agrícolas, el objetivo de la creación de cultivos *Bt* es teóricamente reducir el uso de insecticidas químicos.

Las toxinas de *B. thuringiensis* con las que se han modificado genéticamente algunos cultivos de interés económico incluyen proteínas paraesporales, conocidas como proteínas Cry; las cuales se han utilizado en el control de plagas dentro del Manejo Integrado de Plagas. Las proteínas insecticidas con específicas para el control de los órdenes Lepidoptera, Coleoptera, Diptera, Himenoptera. Uno de los riesgos que puede causar los cultivos transgénicos es el efecto e impacto negativo hacia los organismos no blanco de la tecnología *Bt* o aquellos para los que la tecnología no fue desarrollada, que pueden verse perjudicados de forma directa o indirecta, entre estos los agentes de control biológico que se presentan de forma natural interaccionando en el cultivo. Una serie de estudios relacionados con diversidad y abundancia de artrópodos han revelado que no existen efectos sobre los artrópodos presentes en cultivos *Bt* con respecto a un cultivo convencional.

Palabras clave: artrópodos no blanco, manejo integrado de plagas, control biológico natural, cultivos GM, toxinas Cry de Bt.

INTRODUCCIÓN

La agricultura representa una actividad determinante en el desarrollo económico, social y ambiental del mundo, ya que contribuye con el 80% de los alimentos que se consumen (FAO, 2015). Sin embargo, aproximadamente entre el 10 y 20% de la producción agrícola anual es afectada por plagas y enfermedades, siendo los hongos, bacterias, nematodos, virus e insectos los principales agentes causales (Pérez-García *et al.*, 2011 citado en Villarreal-Delgado *et al.*, 2018).

De esta manera, con el objetivo de combatir las enfermedades en los cultivos agrícolas se han utilizado ampliamente diversos compuestos químicos tales como: insecticidas, fungicidas y nematocidas. No obstante, el éxito de la aplicación de estos compuestos en el incremento de la productividad agrícola mundial, su uso excesivo ha impactado negativamente los suelos, ecosistemas y la salud humana (Villarreal-Delgado *et al.*, 2018).

Así, el Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE) es una alternativa indispensable en el desarrollo de una agricultura sustentable que garantiza la seguridad alimentaria global, en el cual se utiliza la combinación de métodos biológicos, culturales y químicos de forma compatible. En el MIPE se destaca el uso de agentes de control biológico (ACB) como una alternativa sustentable para mitigar los efectos negativos en la productividad y calidad de los cultivos agrícolas causada por distintas enfermedades, disminuyendo la resistencia de los organismos fitopatógenos, y reduciendo la contaminación de los suelos y mantos acuíferos. Lo cual permite la producción de alimentos inocuos y disminuye los costos de producción agrícola (Villarreal-Delgado *et al.*, 2018).

La aplicación de la ingeniería genética para mejorar la resistencia de cultivos a plagas o patógenos ha abierto un sinfín de posibilidades para el control biológico. Un

ejemplo es el cultivo en el norte de México y en Estados Unidos, de algodón Genéticamente Modificado que se diseñó con resistencia a plagas (Cantú-Ruiz, 2017).

La tecnología *Bt* utilizada en el mejoramiento genético mediante la ingeniería genética de cultivos, ha sido una de las aplicaciones más adoptadas (15.6 millones de hectáreas, 19% de los 81 millones de ha), a nivel mundial no solo se produce el algodón con estas cualidades, también se cuenta con el maíz, soya, canola, entre otros, dichos cultivos dan un beneficio ecosistémico, debido a que en el proceso productivo se disminuye el uso de insecticidas químicos, debido a que por la transformación genética que tienen se controlan plagas primarias y se protege la diversidad de la entomofauna presente en agroecosistema (James, 2004; Permingeat & Margarit, 2005).

Esta tecnología se basa en la expresión en plantas de genes provenientes de *Bacillus thuringensis* (*Bt*), los cuales codifican proteínas para el control de insectos. Estas proteínas se caracterizan por una elevada especificidad sobre el insecto blanco, y con base a esta especificidad, es como se ha logrado aprovechar la tecnología, este tipo de tecnología está considerada dentro de las estrategias del Manejo Integrado de plagas (Permingeat & Margarit, 2005).

Los cultivos GM, con las toxinas Cry de *Bt*, favorecen la protección de la diversidad de insectos dentro del sistema agrícola, por lo que la interacción de organismos benéficos es amplia, el control biológico natural es uno de los principales beneficios que dan estos agroecosistemas, en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, el Departamento de Parasitología se ha dedicado al estudio de dicha diversidad, donde se confirma esta información (Hernández, 2012; Hernández, 2015; Grimaldo, 2019, Hernández, 2019; González, 2019; Villatoro, 2020; Gómez, 2020; Romero, 2021, Rendón, 2021; Tafoya, 2021).

Objetivo General

Profundizar en el conocimiento de la situación de los organismos no blanco y la importancia de los agentes de control biológico que interaccionan en los cultivos Genéticamente Modificados con la tecnología de *Bacillus thuringiensis*, como componentes vitales de la agricultura sustentable y sostenible.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades de los Cultivos Genéticamente Modificados

Las plantas que tienen transgenes es decir el material genético que los compone ha sido modificado o alterado se denominan cultivos genéticamente modificados (GM). Este proceso de generación de nuevas variedades ha sido y continúa siendo muy útil en la agricultura y ha originado las variedades que se cultivan hoy en día. La ingeniería genética se constituyó en una herramienta que complementa los métodos tradicionales y permitió importantes avances en el área del conocimiento de la biología vegetal. Las plantas transgénicas obtenidas hasta la fecha se desarrollaron por diversos métodos, los que han sido modificados para cada especie en particular, aumentándose de esta forma su eficacia (ArgenBIO, 2019).

“Hoy en día los cultivos genéticamente modificados o transgénicos sembrados alrededor del mundo son: soya, algodón, maíz, canola, calabaza, papaya, alfalfa, remolacha azucarera, tomate, berenjena y pimiento dulce” (Agro-Bio, 2021).

Desde los inicios de la agricultura la producción de variedades e híbridos mediante el mejoramiento genético tradicional, ha sido usado como una técnica de producción agrícola, así como el desarrollo de cruza, entre genotipos, a través de los métodos convencionales en variedades similares. Estas especies, tanto animal como vegetal, son el resultado de miles de años de evolución, mediante la intersección del hombre (Hernández, 2012).

En el mejoramiento tradicional el fitomejorador trata de reunir una combinación de genes en una planta de cultivo que le 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 fotoperiodicidad, entre otras (Hernández, 2012).

La primera etapa del proceso de obtención de una planta transgénica se denomina transformación genética. En muchas especies vegetales es posible introducir genes a través de una bacteria del suelo, llamada *Agrobacterium tumefaciens*. Durante la infección, esta bacteria le transfiere a la planta un fragmento de su propio ADN, que termina integrándose en algún cromosoma de la célula vegetal. Mediante ingeniería genética se puede insertar un gen de interés en este ADN, siguiendo el modelo de esta bacteria, para que sea también transferido a la célula vegetal e insertado en el genoma de la planta (ChileBIO, 2012).

Para eso, las células transformadas se cultivan en el laboratorio hasta regenerar plantas completas, que tienen en todas sus células el gen de interés. Posteriormente, mediante mejoramiento genético tradicional se logra la incorporación del gen de interés en las variedades de valor comercial que requieren los agricultores (ChileBIO, 2012).

Adopción y situación actual de los cultivos GM

“Los cultivos GM se utilizan en el mundo desde 1996 y en diciembre de 2010 se llegó a mil millones de hectáreas, sembradas en todo el periodo” (Chaparro, 2011).

Para el 2014, un récord de 181.5 millones de hectáreas de cultivos biotecnológicos fueron sembradas a nivel mundial, a una tasa anual de crecimiento entre el 3% y el

4% lo cual determina que los cultivos biotecnológicos son la tecnología de cultivo con adopción más rápida en tiempos recientes. La tasa impresionante de adopción habla por sí misma, en términos de sustentabilidad y beneficios significativos que implica tanto para los pequeños y grandes agricultores como para los consumidores (James, 2014).

“La siembra de cultivos biotecnológicos en 2016 recupera su tasa de alta adopción en 185.1 millones de hectáreas a nivel mundial” (ISAAA, 2016).

La superficie mundial de cultivos biotecnológicos aumentó 110 veces de 1.7 millones de hectáreas en 1996 a 185.1 millones de hectáreas en 2016, con un máximo de 17 a 18 millones de agricultores, lo cual determina que los cultivos biotecnológicos sean la tecnología agrícola de mayor tasa de adopción durante los últimos tiempos. La comercialización de cultivos biotecnológicos alcanzó un total acumulado de 2.1 mil millones de hectáreas o 5.3 mil millones de acres en 21 años (1996-2016) (ISAAA, 2016).

En 2019, 17 millones de agricultores de 29 países sembraron cultivos transgénicos en 190.4 millones de hectáreas. Esta superficie representa una disminución del 0.7% respecto de las 192.7 millones de hectáreas sembradas con cultivos transgénicos a nivel global en 2018. La mejor superficie sembrada se debió principalmente a situaciones climáticas desfavorables (ISAAA, 2019).

Según ISAAA (2019), 11 países sembraron más de un millón de hectáreas con cultivos agro biotecnológicos, sobresaliendo Estados Unidos con 71.5 millones, seguido de Brasil, Argentina, Canadá, India, Paraguay, China, Sudáfrica, Pakistán, Bolivia y Uruguay con cultivos como maíz, soya, algodón, canola, remolacha azucarera, alfalfa, papaya, calabaza y papa. Sobre el resto de naciones que sembraron una superficie menor (Cuadro 1).

Cuadro 1. Superficie mundial de cultivos biotecnológicos en 2019: por país (millones de hectáreas) (ISAAA, 2019).

Puesto	País	Superficie (millones de hectáreas)	Cultivos biotecnológicos
1	Estados Unidos	71.5	Maíz, soja, algodón, colza/canola, remolacha Azucarera, alfalfa, papaya, calabaza, papa, manzana
2	Brasil	52.8	Soya, maíz, algodón y caña de azúcar
3	Argentina	24.0	Soya, maíz, algodón y alfalfa
4	Canadá	12.5	Colza/canola, maíz, soya, remolacha azucarera, alfalfa, papa
5	India	11.9	Algodón
6	Paraguay	4.1	Soya, maíz, algodón
7	China	3.2	Algodón, papaya
8	Sudáfrica	2.7	Soya, maíz, algodón
9	Pakistán	2.5	Algodón
10	Bolivia	1.4	Soya
11	Uruguay	1.2	Soya, maíz
12	Filipinas	0.9	Maíz
13	Australia	0.6	Algodón, canola, cártamo
14	Myanmar	0.2	Algodón
15	Sudán	0.2	Algodón
16	México	0.1	Algodón
17	España	0.1	Maíz
18	Colombia	0.1	Algodón, maíz
19	Vietnam	0.1	Maíz
20	Honduras	<0.1	Maíz
21	Chile	<0.1	Maíz, colza/canola
22	Malawi	<0.1	Algodón
23	Portugal	<0.1	Maíz
24	Indonesia	<0.1	Caña de azúcar
25	Bangladesh	<0.1	Berenjena
26	Nigeria	<0.1	Algodón
27	Esuatini	<0.1	Algodón
28	Etiopía	<0.1	Algodón
29	Costa Rica	<0.1	Algodón, piña
Total		190.4	

Los cultivos biotecnológicos ya realizan una importante contribución a las explotaciones agrícolas, incrementando la productividad por hectárea y reduciendo el número de aplicaciones de insecticidas necesarias para lograr un control adecuado

de las plagas de lepidópteros en las regiones productoras. El algodón es uno de los cultivos en las que se aplica la mayor cantidad de plaguicidas en el mundo, por lo que la alternativa de usar algodón *Bt* representa una ventaja desde el punto de vista ambiental (Abedullah *et al.*, 2015 citado por Rocha-Munive *et al.*, 2018).

Características de los cultivos GM

Los cultivos genéticamente modificados tolerantes a herbicidas (GM-TH) son uno de los rasgos genéticos más comercializados hasta la fecha. Los dos rasgos principales que se han introducido a los cultivos GM liberados comercialmente son resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas. Unos pocos cultivos han sido liberados con características de resistencia a otros problemas fitosanitarios como las virosis (CERA, 2010 citado por Chaparro, 2011).

Los cultivos GM que se usan en agricultura global son principalmente soya, algodón, maíz y colza que expresan transgenes derivados de bacteria y que confieren resistencia a insectos lepidópteros (RIL) o, tolerancia algunos herbicidas (TH) como glifosato y glufosinato de amonio (Figura 1). Las primeras variedades transgénicas contenían solo un transgen de interés, o evento simple, mientras que las variedades actuales expresan varios transgenes, o eventos apilados, que en algunos casos confieren resistencia a diferentes especies de insectos lepidópteros y coleópteros, así como tolerancia a dos tipos diferentes de herbicidas (Chaparro, 2011).

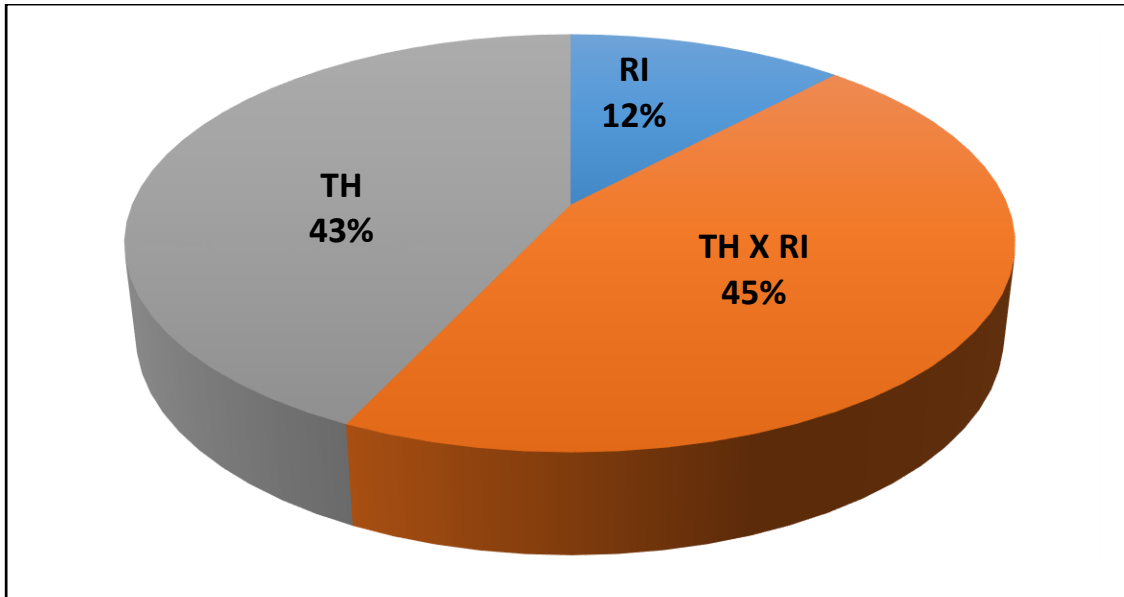


Figura 1. Área global de los cultivos transgénicos, por características (sobre 190,4 millones de hectárea (ISAAA, 2019). (TH: Tolerante a herbicida; RI: Resistencia a insectos).

En 2019 el 45% de la superficie total de cultivos transgénicos se sembró con cultivos tolerantes a herbicida (soya, maíz, canola, algodón, remolacha azucarera y alfalfa), el 12% con cultivos resistentes a insectos *Bt* (maíz, algodón, berenjena y caña de azúcar) y el 43% con cultivos que contenían ambas características apiladas (maíz, algodón y soya). La proporción de cultivos que combinan la tolerancia a herbicidas y la resistencia insectos aumentó con respecto a la adopción de cultivos con una sola característica en 2019. También se sembraron, aunque en superficies mucho menores, cultivos con características específicas como: resistentes a virus, entre los que destacan, la papaya y el calabacín amarillo; cultivos con tolerancia a sequía, como el maíz y caña de azúcar, algunas ornamentales de colores no comunes como el clavel y el rosal que expresan el color azul en sus pétalos, en manzana y papa la expresión de menos pardeamiento, soya con alto contenido de oleico y la piña con colores llamativos o no convencionales en la pulpa de la fruta como el color rosa (ISAAA, 2019).

Existen diferentes variantes de toxinas Cry de *Bt*, que se han descrito diferentes y posee una acción diferente, como la Cry I, toxica para lepidópteros, la Cry III tóxica para coleópteros o la Cry IV para dípteros. Las plantas transgénicas que incorporan estos genes se les domina *Bt* (Hernández, 2012).

Producción mundial

El 48% de las hectáreas sembradas con cultivos transgénicos en el mundo en 2019 correspondieron a soya, el 32% a maíz, el 14% a algodón y el 5% a canola. El 1% restante de la superficie sembrada con cultivos transgénicos en el mundo correspondió a variedades transgénicas de alfalfa, remolacha azucarera, caña de azúcar, papaya, cártamo, papa, berenjena, calabacín amarillo, manzana, piña, clavel y rosa (Figura 2; ISAAA, 2019).

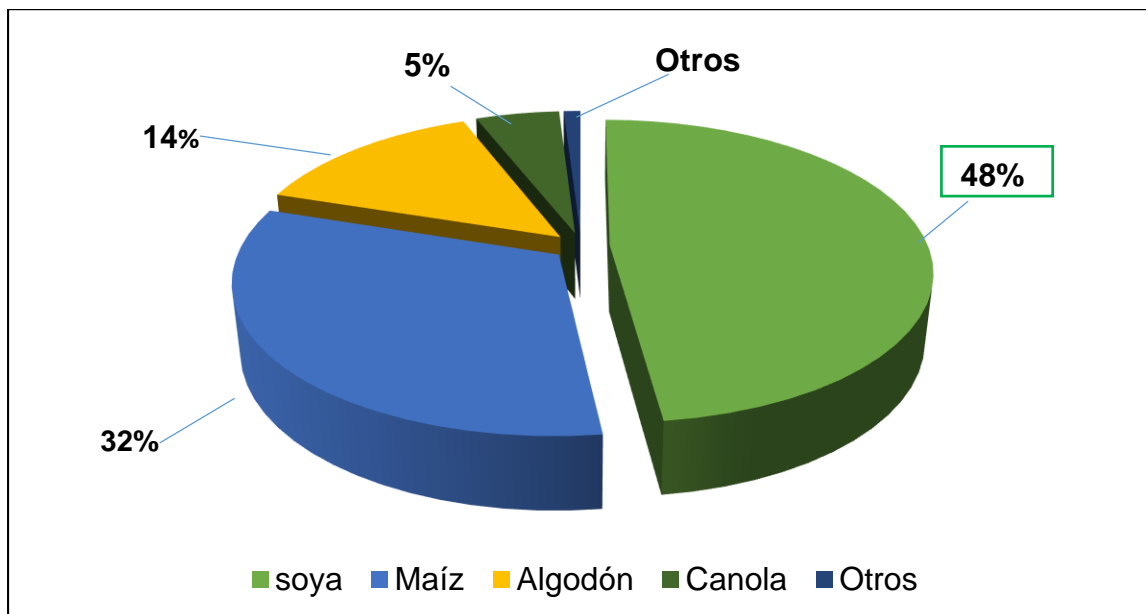


Figura 2. Área global de los cultivos Genéticamente Modificados, sobre 190.4 millones de hectáreas. Fuente: ISAAA (2019). Otros incluyen, alfalfa, remolacha azucarera, caña de azúcar, papaya, cártamo, papa, berenjena, calabacín amarillo.

Producción en México

La extensión de tierras sembradas con cultivos Genéticamente Modificados en México se ha ido incrementando desde los primeros cultivos experimentales autorizados de soya y algodón en el país en el año de 1996. En 2012 se sembraron alrededor de 200,000 hectáreas de cultivos de algodón y soya GM, lo que representa un aumento del 12.5% con respecto al año 2011, cuando se cultivaron 175,000 hectáreas (Figura 3). En el ranking mundial, México pasó de ocupar el puesto sexto en el año 1996 al puesto 16 en 2012 de los países con mayor área de cultivos GM, evidenciando un lento crecimiento en la adopción de la tecnología (Gutiérrez *et al.*, 2015).



Figura 3. Área de cultivos Genéticamente Modificados en México, Periodo de 1996-2012. Fuente: Gutiérrez *et al.*, 2015.

Características de la Bacteria *Bacillus thuringiensis*

La bacteria *B. thuringiensis* es un bacilo Gram positivo, de flagelación períttrica, que mide de 3.0 a 5.0 μm de largo por 1.0 a 1.2 μm de ancho. Es un microorganismo anaerobio facultativo, quimiorganótrofo y con actividad de catalasa. Los distintos aislamientos de *B. thuringiensis* presentan en general características bioquímicas comunes. Poseen la capacidad de fermentar glucosa, fructosa, trealosa, maltosa y ribosa, y de hidrolizar gelatina, almidón, glucógeno, esculina y N-acetil-glucosamina. Sin embargo, la característica principal de *Bt* es que durante el proceso de esporulación produce una inclusión parasporal formada por uno o más cuerpos cristalinos de naturaleza proteica que son tóxicos para distintos invertebrados, especialmente larvas de insectos (Figura 4). Estas proteínas se denominan Cry (crystal) y que constituyen la base del insecticida biológico más difundido a nivel mundial (Castañet-Martínez & Moreno-Reyes, 2016).

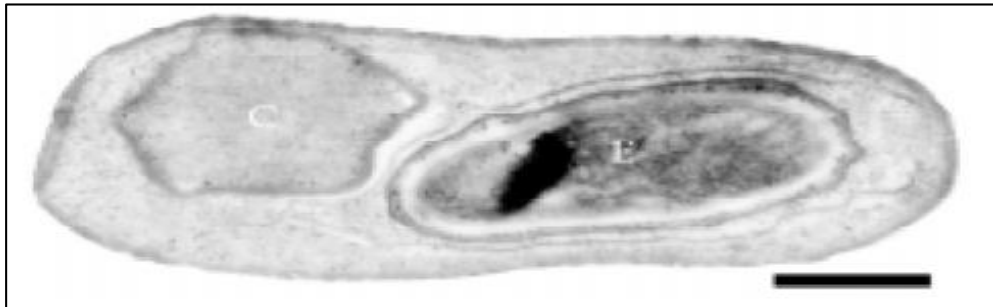


Figura 4. Imagen de microscopía electrónica de transmisión de una cepa de *Bacillus thuringiensis* en estado de esporangio. C: cristal parasporal; E: espora, Barra, 0.5 μm (Sauka & Benintende, 2008).

Importancia de *Bacillus thuringiensis*

El microorganismo de *B. thuringiensis* se ha empleado como uno de los insecticidas biológico más aplicado en el mundo y se utiliza para controlar diversos artrópodos insectiles que afectan en la agricultura, en el área forestal e incluso a insectos que transmiten patógenos a humanos y animales (Sauka & Benintende, 2008).

“La bacteria posee una toxicidad selectiva alta debido a su estrecho rango de especificidad y gracias a ello genera en el ambiente un impacto muy bajo” (Sauka & Benintende, 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, como los depredadores, parasitoides y polinizadores, en este último grupo están consideradas las abejas (Soberón y Bravo, 2008 citado por Hernández, 2012).

Sin embargo, la supervivencia o persistencia de las endosporas de la bacteria 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, además las esporas de *Bt* 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 tres años en suelos estériles, mientras que en suelos no estériles se pierde hasta el 50% de actividad en los primeros siete días y las 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 (Hernández, 2015).

Clasificación taxonómica *Bt*

Reino	Eubacteria
Phyllum	Firmicutes
Clase	Bacilli
Orden	Bacillales
Género	<i>Bacillus</i>
Especie	<i>thuringiensis</i> (Berliner, 1915)

Modo de acción

El mecanismo de acción de las proteínas Cry se describió principalmente en lepidópteros como un proceso de múltiples etapas. Los cristales de *B. thuringiensis* son ingeridos y luego solubilizados en el intestino medio del insecto, tras lo cual se liberan las proteínas cristalinas en forma de protoxinas. Estas no producirán el daño, sino que deberán ser procesadas por proteasas intestinales para generar las toxinas activas que llevarán a la muerte de la larva. Bajo su forma monomérica, las toxinas atraviesan la membrana peritrófica y se unen de forma univalente a la caderina, con gran afinidad en la cara apical de la membrana epitelial (Figura 5). Luego, de acuerdo con estudios realizados en cultivos de células de insectos, se inicia una cascada de señalización dependiente del ion magnesio que sería responsable de la muerte celular (Sauka & Benintende, 2008).

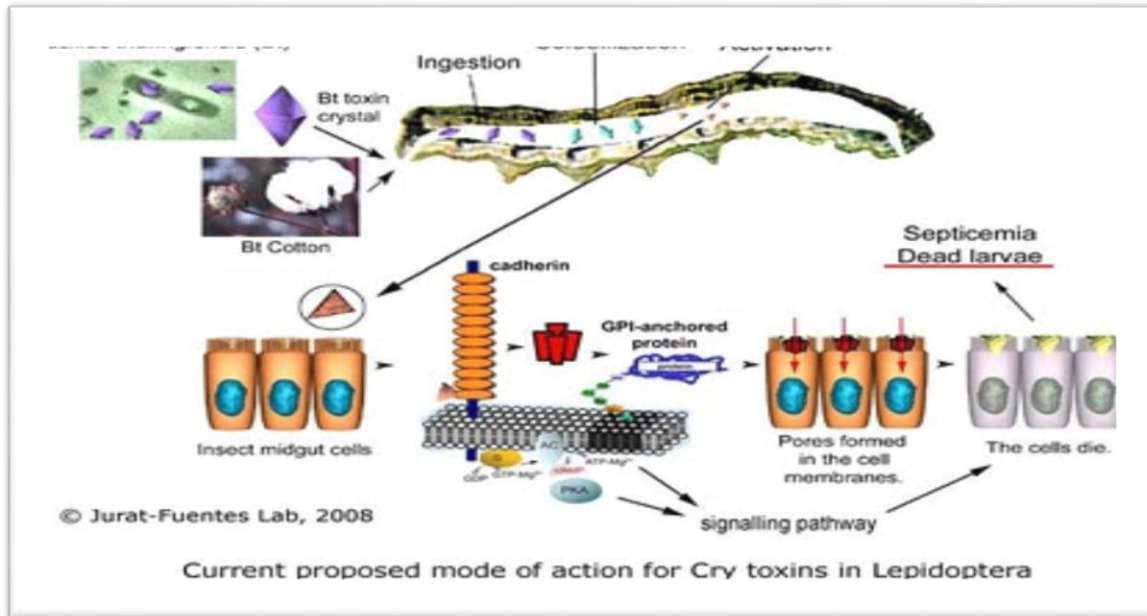


Figura 5. Modo de acción de la endotoxina de *Bacillus thuringiensis*. Fuente: <http://www.elbruixot.com/semillasdemaria/bacillus-thuringiensis/>

Tipos de toxinas de *Bacillus thuringiensis*

La bacteria produce tres exotoxinas a saber, la beta (β), la alfa (α) y la gama (γ) y una endotoxina llamada delta (δ), que es la responsable principal del efecto insecticida. La β -exotoxina, se forma durante la fase de crecimiento vegetativo de la bacteria y es secretada dentro del medio. No se produce durante la esporulación. Su producción es propia de ciertas razas como H1, H4, H8, H9 y H10. Entre los insectos susceptibles a esta exotoxina, podemos mencionar las familias Diptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Coleoptera, Isoptera, Orthoptera, Hemiptera y Neuroptera. En *Agrotis*, *Spodoptera* y *Ostrinia*, actúa como un fagodisuasivo, mientras que, en mosquitos, actúa como larvicida y adulticida (Carballo *et al.*, 2004).

La δ -endotoxina es producida a partir de las protoxinas resultantes de la degradación del cristal proteico por enzimas proteolíticas en el intestino del insecto. *B. thuringiensis* produce en su célula esporangial durante la esporulación, uno o más

cuerpos paraesporales o cristales que son solubles en una solución altamente alcalina con pH 12.0 (Carballo *et al.*, 2004).

Según sea la especie y raza de *Bt*, así será el tipo de cristal, señalándose el bipiramidal (Cry I) el cual es activo contra Lepidoptera, el cuboidal (Cry II) activo contra Lepidoptera y Diptera, el romboidal (Cry III) contra Coleoptera y los que tienen complejos cristalinos ovoides (Cry IV) contra Diptera (Carballo *et al.*, 2004).

Uso de *Bacillus thuringiensis* y la especificidad de las toxinas

Los cultivos *Bt* son utilizados para el control específico de artrópodos pertenecientes a tres órdenes distintos: lepidópteros, dípteros y coleópteros. En el caso de los maíces y el algodón *Bt*, la expresión de la proteína Cry1A les confiere resistencia a lepidópteros, como *Diatraea saccharalis* (Fabricius), *Heliothis virescens* (Fabricius), *Helicoverpa zea* (Boddie), *Pectinophora gossypiella* (Sound), entre otras (Permingeat & Margarit, 2005).

Las toxinas de *B. thuringiensis* comenzaron a utilizarse comercialmente en Francia en 1938; para 1958 su uso se había extendido a los Estados Unidos. A partir de los años 80 las formulaciones con *B. thuringiensis* se convierten en un plaguicida de interés mundial (Feitelson *et al.*, 1992 citado por Ochoa & Arrivillaga, 2009).

Las toxinas *Bt* se utilizan actualmente en los Estados Unidos, Europa, Argentina y México como control biológico para numerosos insectos y otros invertebrados plaga tales como ácaros, nematodos, platelmintos y protozoarios que afectan los cultivos de maíz, papa, tomate, sorgo, arroz, café, granos, caña de azúcar, entre otros (Neppl, 2000 citado por Ochoa & Arrivillaga, 2009).

“Los productos comercializados de *B. thuringiensis* consisten principalmente en preparados de esporas y cristales, activados o no, que se rocían sobre los cultivos como si se tratara de un insecticida convencional” (Ochoa & Arrivillaga, 2009).

Es importante señalar que al hacer el análisis filogenético algunos grupos de secuencias mostraron tener distancias infinitas, lo que indicaba que estas secuencias eran muy diferentes y por lo tanto fueron tratadas como grupos independientes. Este es el caso de las toxinas Cyt, Cry6, Cry15 y Cry22. Es probable que estas toxinas tengan estructuras y mecanismos de acción diferentes al resto de la familia Cry (Figura 6; Pinos & Hernández, 2019).

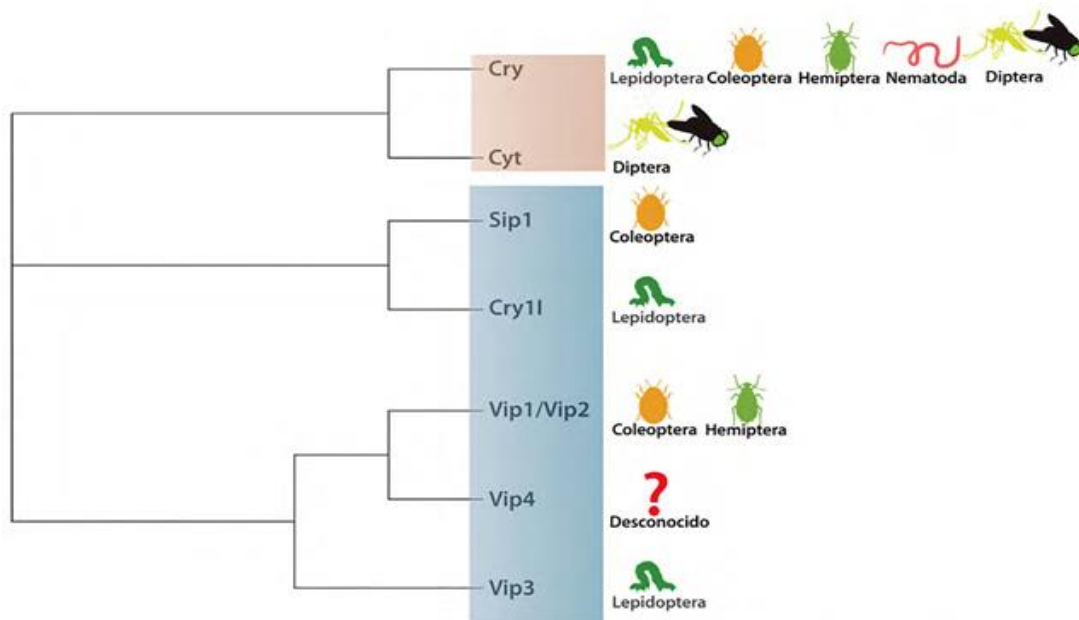


Figura.6. Espectro de acción de toxinas de *Bacillus thuringiensis* sobre especies de invertebrados (Ruiz de Escudero *et al.*, 2006 citado por Pinos & Hernández, 2019).

Control de Plagas en Cultivos

Conceptos de plaga

Plaga es toda aquella población de insectos que ataca a los cultivos establecidos por los seres humanos y cuyo nivel poblacional sube hasta producir una reducción o anulación del rendimiento del cultivo y pérdidas económicas (Jiménez *et al.*, 2009).

Otra definición de plaga, indica que es cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales (FAO, 2016 citado por Zepeda-Jazo, 2018).

Para el Departamento de Agricultura de Estados Unidos las plagas son “organismos que pueden causar, directa o indirectamente, enfermedades, deterioro o daño a plantas, partes de plantas o materiales de plantas procesadas”. Los ejemplos comunes incluyen ciertos insectos, ácaros, nematodos, hongos, mohos, virus y bacterias” (Figura 7; Duarte, 2018).



Figura 7. Plagas de importancia en cultivos agrícolas. A. Pulgones (Hemiptera: Aphididae), B. Picudo del algodón (*Anthonomus grandis*, Coleoptera: Curculionidae). Fuente: <https://www.tecnologiahorticola.com/>

La importancia de mantener controladas las diversas plagas agrícolas es primordial, razón por la cual la FAO estableció al año 2020 como el Año Internacional de la Sanidad Vegetal, con la finalidad de tomar acciones y concientizar sobre la protección de la salud de las especies vegetales, debido a que constituyen el 80% de los alimentos que se consumen en el planeta (FAO, 2020).

Tipos de plagas

Las plagas agrícolas suelen ser el desencadenante de muchos daños en las plantaciones, así como pérdida importante de ingresos, de forma anual en la industria agrícola (Chica-Jiménez, 2020).

Las distintas plagas agrícolas afectan cualquier órgano de la planta, lo que puede ser de manera directa, cuando afectan las partes que el agricultor va a comercializar como tubérculos, frutos, raíces, tallos, entre otros; y de manera indirecta, al dañar estructuras que no serán cosechadas pero que perjudican en la disminución del rendimiento en el cultivo (CEDRSSA, 2020).

El promedio de la densidad de una población durante un tiempo relativamente largo se denomina “posición de equilibrio” o “densidad promedio de equilibrio” (Figura 8). Para las condiciones particulares de un lugar cada especie suele presentar una posición de equilibrio propia. Así algunas especies, generalmente muy pocas, son permanentemente abundantes y provocan serios daños a los cultivos por las que se le llama: a) plagas claves, son permanentemente abundantes y provocan serios daños a los cultivos; b) plagas ocasionales, suelen incrementarse en ciertas épocas y disminuir en otras; y c) plagas potenciales, finalmente un buen número de especies permanecen a bajos niveles, sin causar reducción en las cosechas (Figura 9; Cisneros, 1992).

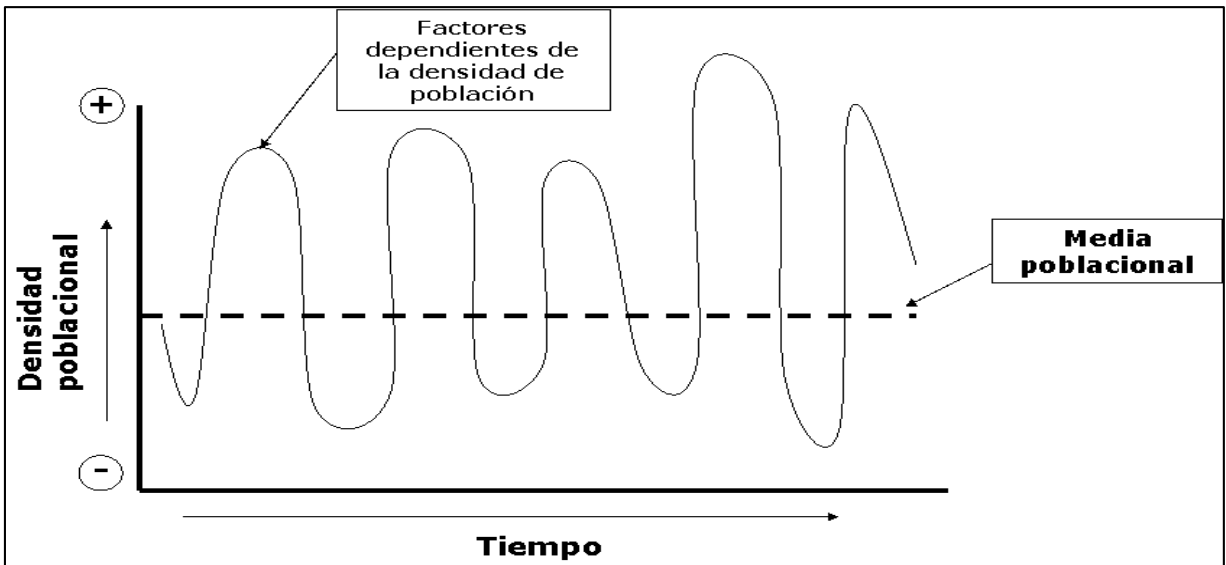


Figura 8. Posición general de equilibrio (PGE), fluctuación normal de especies en un ecosistema natural (bosque o pradera), regulada por factores bióticos y abióticos. Fuente: gráfico proporcionado por la Dra. Miriam Sánchez Vega (CONACYT-UAAAN).

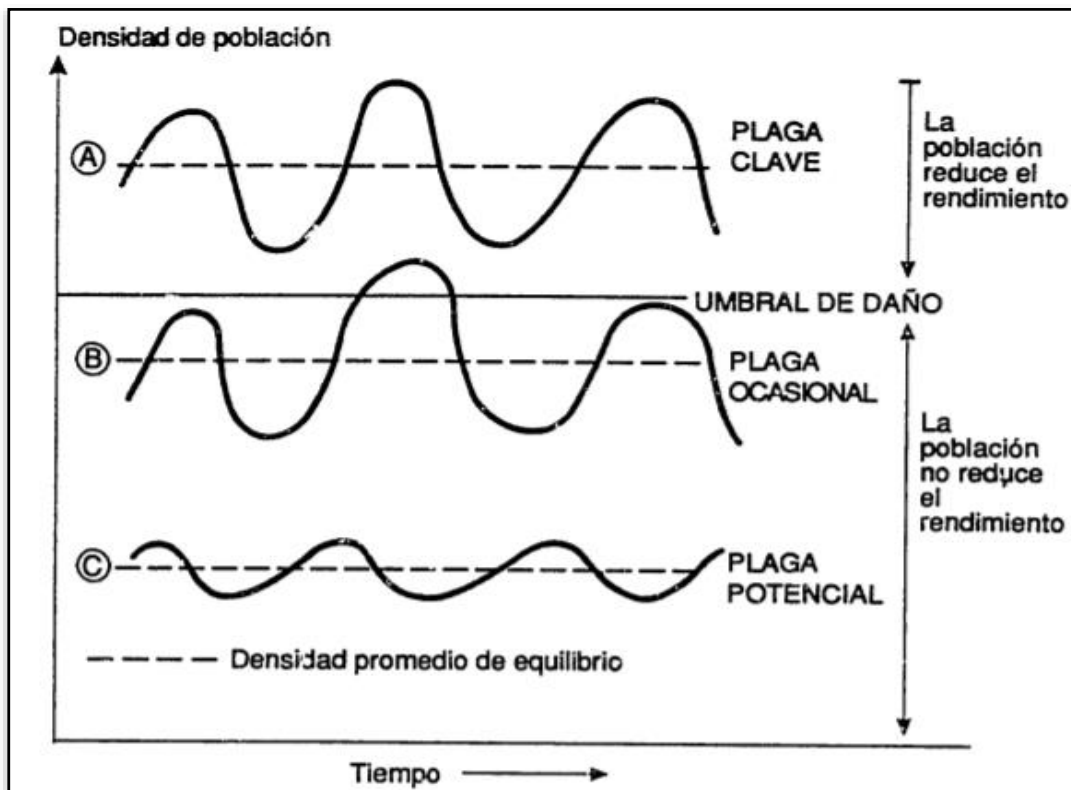


Figura 9. Representación esquemática de los tipos de plagas (claves, ocasionales y potenciales) según la densidad de equilibrio de sus poblaciones respecto al umbral de daño.

Manejo integrado de plagas (MIP)

El Manejo Integrado Plagas (MIP) se inició a fines de la década de 1950 como una reacción a las deficiencias y complicaciones que se detectaron en el uso de plaguicidas en la protección de los cultivos, en los años 70's (Cisneros, 2010).

El MIP es una estrategia utilizada para el control de plagas, y su objetivo principal es utilizar la menor cantidad de plaguicidas posible y aplicar labores culturales u otros métodos de control de las plagas, a fin de evitar o reducir el contacto con las personas y la contaminación del medio ambiente. El MIP prioriza la prevención y los tratamientos no químicos. Para ello deben realizarse inspecciones o monitoreos en los cultivos y sus alrededores, con el fin de reconocer las plagas, su entorno y efectuar un minucioso análisis para implementar el control más adecuado y seguro (Navarro, 2017).

El objetivo del MIP, es obtener cosechas sanas y nutritivas mediante la integración de técnicas y prácticas que mantengan o reduzcan al mínimo las poblaciones de plagas en los cultivos y disminuyan los costos monetarios para su control, además de que contribuyan a minimizar el riesgo a la salud de las personas, plantas y animales, a partir del respeto y cuidado del medio ambiente haciendo frente a la degradación de la biodiversidad, del suelo y del agua a fin de mitigar el efecto del cambio climático (CNDH, 2019; CEDRSSA; 2020).

Control cultural

El control cultural consiste en la utilización de las prácticas agrícolas comunes, con el propósito de contribuir a prevenir los ataques de las plagas. Algunas de las prácticas agronómicas son: preparación de suelo, fecha de siembra, densidad de siembra,

rotación de cultivos, destrucción de maleza y limpieza de bordes del campo, destrucción de las fuentes de infestación, uso de semillas sanas, así como la asociación de cultivos (Figura 10; Cisneros, 2010).



Figura 10. Uso de cultivos asociados, como estrategia del control cultural de plagas, y que se emplea dentro del Manejo Integrado de Plagas. Fuente: Cañedo *et al.*, 2011.

Control mecánico

Este método de control consiste en el uso de medios mecánicos que excluyen, evitan, disminuyen, eliminan o destruyen los insectos y órganos infestados. Entre las prácticas de este método se encuentran: colectas manuales de insectos, eliminación de plantas dañadas o infestadas para su posterior destrucción, exclusión de los insectos o uso de barreras que imposibiliten el acceso de los insectos dañinos, así como el uso de métodos de labranza (Figura 11; Cañedo *et al.*, 2011).



Figura 11. Estrategias en el control mecánico de plagas. Fuente: <https://hydroenv.com.mx/>

Control físico

El control físico consiste en la utilización de algún agente físico como la temperatura, humedad, insolación, fotoperiodo y radiaciones electromagnéticas, en intensidades que resulten letales para los insectos (Figura 12; Cisneros, 2003).



Figura 12. Acolchado transparente para solarización de suelos utilizado, como estrategia en el control físico de plagas. Fuente: <https://universidadagricola.com/>

Control etológico

El uso del control etológico incluye la utilización de cebos, atrayentes cromáticos, como por ejemplo, ciertos colores que resultan atractivos para algunos insectos, también considera el uso de feromonas para ser utilizadas en trampas y en los cebos que son consumidos por las plagas (Figura 13; Cañedo *et al.*, 2011).



Figura 13. Trampas pegajosas cromáticas y trampas con feromonas atractivas para lepidópteros, como estrategias en el control etológico de plagas. Fuente: Cruz-Esteban *et al.*, 2020.

Control químico

Es el uso de plaguicidas sintéticos o químicos, que se utilizan para disminuir o erradicar plagas y enfermedades, este tipo de estrategias de manejo ha contribuido significativamente a la protección de los cultivos y es una de las estrategias que debe ser utilizada con restricciones y precaución, debido a que tiene una serie de consecuencias en el ambiente y salud humana (Figura 14; Cisneros, 2010).



Figura 14. Aplicación de plaguicidas, mediante el uso de mochila de aspersión motorizada, utilizada como estrategia en el control químico de plagas. Fuente: <https://hydroenv.com.mx/>

Control legal

El control legal consiste en las disposiciones obligatorias que da el gobierno con el objeto de impedir el ingreso al país de plagas o enfermedades, impedir o retardar su propagación o dispersión dentro del país, dificultar su proliferación, determinar su erradicación y limitar su desarrollo mediante la reglamentación de cultivos. También se incluyen aquellas disposiciones que regulan la comercialización y el uso de los plaguicidas. En general son medidas que deben ser observadas por todas las personas de un país o región (Cisneros, 2003).

Control genético

La manipulación genética de las especies vegetales se vislumbra como una de las técnicas biotecnológicas más prometedoras en el MIP, representando la posibilidad de obtener variedades resistentes a patógenos y enfermedades (virus, hongos y bacterias), resistentes a insectos y tolerantes a herbicidas, de manera rápida y precisa (Carrillo & Blanco, 2009).

Este componente del manejo integrado de plagas se puede definir como el uso de aquellas características genéticamente modificables de una especie, raza o variedad de planta que la hacen atacar a, tolerar el ataque de, o influir en el comportamiento de una especie, raza o biotipo de herbívoro que normalmente se alimenta de ella. En otras palabras, la resistencia de plantas a insectos representa la capacidad que tienen las plantas de restringir, retardar o sobreponerse a la infestación por una plaga. Las características genéticas de la planta son modificables por métodos de mejoramiento tradicionales o moleculares y existe una gran variedad de procedimientos y programas que permiten el flujo de genes entre plantas para seleccionar aquellas que sean más resistentes a sus herbívoros. Normalmente estos programas llevan asociadas selecciones por otras características agronómicas deseables como adaptación a cierto tipo de suelos o condiciones ambientales y altos rendimientos (Badii & Garza, 2015).

Control biorracional

Existen productos que son considerados como agrobiológicos, pequeñas empresas han comenzado su elaboración y comercialización, principalmente basados en metabolitos secundarios de hongos entomopatógenos y toxinas de *Bacillus thuringiensis*, o el uso de extractos vegetales; éste tipo de control ha sido considerado también como control biológico, debido a que se considera el uso de derivados de productos biológicos. El mercado potencial para este tipo de productos es muy grande, sin embargo, falta llevar a cabo una labor de educación hacia los pequeños productores, con la finalidad de mostrarles los beneficios que les pueden aportar, en el control de plagas y enfermedades, bajo este esquema. La aplicación del control biorracional es de reciente creación por lo que apenas inicia a utilizarse como tal, dentro del Manejo de plagas de forma sustentable (Carrillo & Blanco, 2009; García-Gutiérrez & González-Maldonado, 2013).

Control biológico de plagas

El control biológico fue concebido a inicios del siglo XIX cuando algunos naturistas de diferentes países reseñaron el importante papel de los organismos entomófagos en la naturaleza y con el empleo de estos controladores biológicos se intenta restablecer el perturbado equilibrio ecológico, mediante la utilización de organismos vivos o sus metabolitos, para eliminar o reducir los daños causados por organismos perjudiciales (Badii, 2006).

La Organización Internacional de Lucha Biológica (OILB) define el control biológico como "*la utilización de organismos vivos, o de sus productos, para evitar o reducir las pérdidas o daños causados por los organismos nocivos*". Desde este punto de vista se incluyen en este concepto no solo los parasitoides, depredadores y patógenos de insectos y ácaros, sino también el de fitófagos y patógenos de malezas, así como feromonas, hormonas juveniles, técnicas autocidas y manipulaciones genéticas (Guédez *et al.*, 2009).

El término "*control biológico*" fue usado por primera vez por H. S. Smith en 1919, para referirse al uso de enemigos naturales (introducidos o manipulados) para el control de insectos plaga (del Bosque & Bernal, 2007).

El año 1889 fue un año histórico para el inicio de la era moderna en la disciplina de control biológico, debido al éxito obtenido con la introducción de la mariquita o catarina *Rodolia cardinales* (Coleoptera: Coccinellidae) de Australia, para el control biológico, de forma natural de la cochinilla acanalada *Icerya purchasi* (Homoptera: Coccidae) que atacaba los cítricos en California, E.U. (Figura15; Zambrano, 2019).

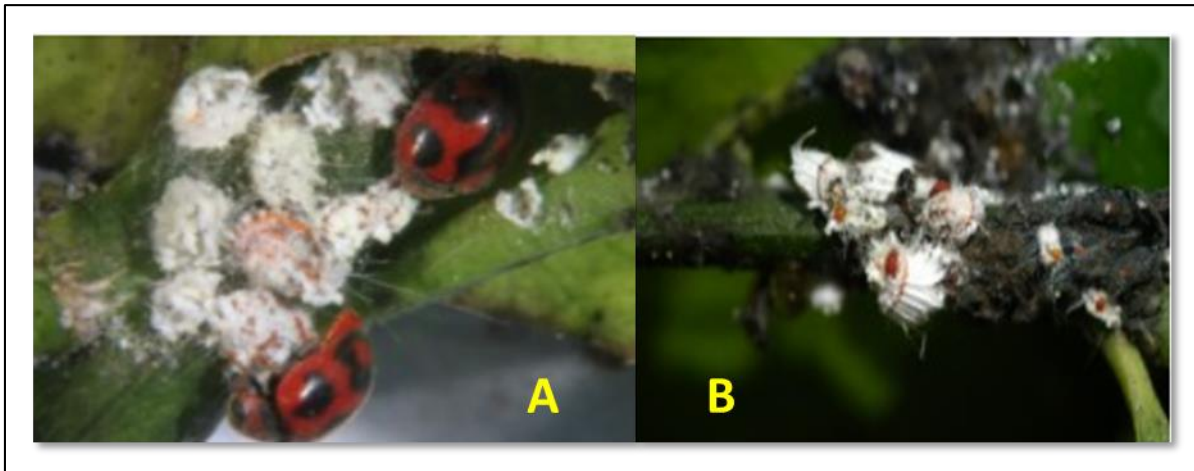


Figura 15. Control de la cochinilla acanalada *Icerya purchasi* (Homoptera: Coccidae). A. Adulto de *Rodolia cardinalis*, alimentándose de cochinilla; B. Larva de *Rodalia cardinalis* sobre la cochinilla. Fuente: <http://gipcitricos.ivia.es/1457.html>

Ventajas y desventajas del control biológico

El control biológico permite controlar la plaga sin dejar residuos tóxicos en el ambiente, a nivel medioambiental es un método seguro que favorece la biodiversidad, es específico. No se presenta ningún efecto perjudicial sobre otras especies que no son consideradas plagas de determinado cultivo (del Bosque & Bernal, 2007).

Dentro de las ventajas que se tienen con el control biológico es que se hay poco o ningún efecto nocivo colateral; casos raros de resistencia; control de largo plazo; elimina por completo o sustancialmente el uso de insecticidas; relación beneficio/costo muy favorable; evita plagas secundarias; no provoca intoxicaciones; y se puede usar como parte del Manejo Integrado de Plagas (MIP) (del Bosque & Bernal, 2007).

Entre las desventajas se tienen, la ignorancia sobre los principios del método; reducido apoyo económico; escaso personal especializado; poca disponibilidad; problemas de uso con umbrales económicos bajos; dificultad para aplicarlo en

complejos de plagas; los agentes de control biológico son susceptibles a los plaguicidas; los enemigos naturales se incrementan con retraso en comparación a las plagas que atacan, por lo cual, no proveen la supresión inmediata que se obtiene con los insecticidas; y los resultados del control biológico no son tan espectaculares en el corto plazo como los insecticidas y por lo mismo, el agricultor tiene temor de perder su cosecha (del Bosque & Bernal, 2007).

Tipos de control biológico

Control biológico clásico: este método consiste en la introducción de enemigos naturales exóticos para control de determinada plaga, se incluye la maleza, en este tipo de control se importan parasitoides o depredadores para colonizar el área a controlar, el objetivo es controlar plagas principalmente exóticas que están eventualmente activas. Para ese caso las liberaciones, de manera general, son inoculativas en donde se hace liberación de pequeñas poblaciones de insectos para el control del insecto plaga, con la finalidad de que se establezcan y reproduzcan (Figura 16; Moraes *et al.*, 2019).



Figura 16. Depredador (*Rodalia cardinalis*) para el control de plagas exóticas en cítricos. Fuente: <https://controlbio.es/es/>

Control biológico natural: se refiere al control biológico que ocurre naturalmente en los diferentes agro-ecosistemas (Figura 8). Este tipo de control se observa cuando el ambiente no es afectado por prácticas culturales erróneas, principalmente con el uso indiscriminado de productos químicos, que afecta tanto a las plagas, como los enemigos naturales disponibles en el medio ambiente (Moraes *et al.*, 2019).



Figura 17. Hemíptero depredando una larva de lepidóptero, representación del control biológico natural. Fuente: <https://www.senasa.gob.pe>

Control biológico aplicado: se trata de liberaciones en masa de parasitoides o depredadores (después de la creación masiva en laboratorio), buscando la reducción de la población de la plaga hasta su nivel de equilibrio (Figura 18; Moraes *et al.*, 2019).



Figura 18. Liberación de *Cotesia flavipes*, en el cultivo de caña de azúcar y adulto de *C. flavipes* parasitando larva de *Diatraea saccharalis*. Fuente: <https://laboratoriosbiocol.com/>

Agentes de control biológico natural

La mayoría de las plagas tienen varios enemigos naturales. Estos enemigos naturales se pueden clasificar en tres grandes grupos: parasitoides, depredadores y patógenos. Entre los insectos existe un tipo especial de parasitismo que acaba con la muerte del hospedero y recibe el nombre particular de parasitoide. Los parasitoides son aquellos insectos cuyo desarrollo tiene lugar sobre o dentro de otro insecto fitófago. Es una relación de parasitismo que sólo se presenta en insectos. El parasitoide se come vivo al insecto plaga, rompe el tegumento y la larva se convierte en pupa y de aquí en adulto. Ejercen un papel muy importante en el control de plagas (Badii, 2006).

Dentro de los principales grupos de insectos se tienen varias especies de *Trichogramma* parasitando huevos de Lepidoptera, Braconidae parasitando áfidos y larvas, moscas Tachinidae parasitando larvas de *Diatraea saccharalis*. Las moscas blancas (*Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*) causantes de severos daños en diversos cultivos ya sea por el daño directo o por transmisión de virus, son controlados por *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae) que prefiere los estados ninfales de las plagas (Figura 19; Badii, 2006).



Figura 19. A. *Trichogramma* parasitando huevos de Lepidoptera. Fuente: cultivandoorganico peru.blogspot.com/; B. *Encarsia formosa* para el control de la mosca blanca (*B. tabaci*). Fuente: <https://agriculturers.com/>

Los entomopatógenos son microorganismos que producen enfermedades a los insectos, siendo el agente causal muy diverso. Penetran en la especie plaga a través del tubo digestivo o del tegumento dando lugar a la expresión de la enfermedad que provoca la muerte del hospedante. Los entomopatógenos son los únicos que no buscan de forma activa a sus presas, a excepción de los nematodos (Badii, 2006).

Entre los géneros más importantes están: *Metarhizium*, *Beauveria*, *Aschersonia*, *Entomophthora*, *Zoophthora*, *Erynia*, *Eryniopsis*, *Akanthomyces*, *Fusarium*, *Hirsutella*, *Hymenostibe*, *Paecilomyces* y *Verticillium*, mientras que dentro de los géneros de importancia o que destacan como los más efectivos son: *Metarhizium*, *Beauveria*, *Paecilomyces*, *Verticillium*, *Rhizopus* y *Fusarium* (Figura 20; Motta-Delgado & Murcia-Ordoñez, 2011).

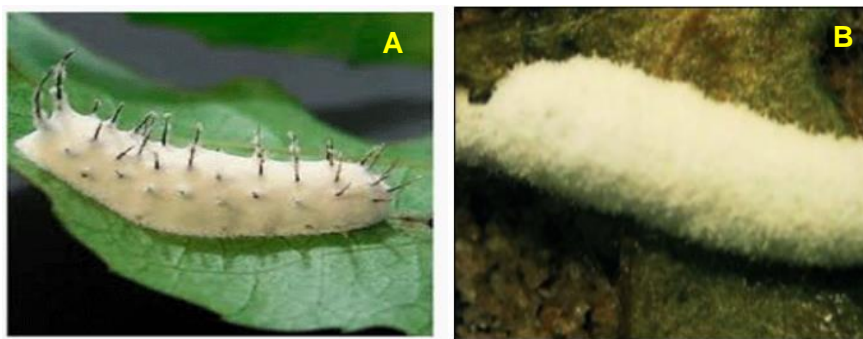


Figura 20. Larvas de lepidopteros afectadas por hongos entomopatógenos. A. *Paecilomyces fumosovirens*. Fuente: controlbio.es/; B. *Beauveria bassiana*. Fuente: <https://www.intagri.com/>

Algunos depredadores se alimentan indistintamente de insectos dañinos y benéficos. Por ejemplo, *Rodalia cardinalis* es un coccinélido que controla la *Icerya purchasi*, una plaga de los cítricos; otros coccinélidos como *Cycloneda sanguinea*, *Hippodamia convergens* controlan áfidos en diferentes cultivos (Figura 21; Badii, 2006).



Figura 21. Coccinélido alimentándose de huevos de pulgones. Fuente: <https://www.gob.pe/senasa>

Hasta el momento solo se conocen tres especies de bacterias con posibilidad de ejercer control sobre insectos. *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus sphaericus*, y *Bacillus popilliae*. Sin embargo, estas especies presentan algunas subespecies y muchas razas que durante su proceso de esporulación producen cristales proteícos con efecto insecticida y/o algunas toxinas con el mismo efecto. Estas bacterias han sido encontradas colonizando insectos de los órdenes Lepidoptera, Diptera, Ortoptera, Hymenoptero y Coleoptera (Badii, 2006).

Estrategia de Control de Plagas en Cultivo *Bt*

Los cultivos transgénicos, biotecnológicos o genéticamente modificados (GM) son el resultado de la aplicación de la tecnología del ADN recombinante en agricultura. Este tipo de organismos se constituyen con la transferencia de genes foráneos (transgenes) de cualquier origen biológico (animal, vegetal, microbiano, viral) al genoma de especies cultivadas de plantas. La bacteria *B. thuringiensis* ha sido la fuente por excelencia de toxinas específicas para el control de insectos, que expresadas en distintas plantas transformadas y cultivadas han dado lugar a lo que se conoce genéricamente como plantas *Bt*. Hasta la fecha, las plantas transgénicas

que expresan variantes de la toxina *Bt* (maíz y algodón, principalmente) han sido las únicas producidas comercialmente (Castañera *et al.*, 2004).

Este tipo de cultivos es la táctica biotecnológica de mayor éxito en el control de insectos fitófagos; la alta expresión de las toxinas *Bt* durante todo o la mayor parte del ciclo en el lugar preciso y desde el primer estadio larvario, confirman los efectos como bioinsecticidas. Sin embargo, existen impactos potenciales que puede ocasionar estos cultivos a gran escala, entre ellos: la resistencia de las plagas por la alta presión de selección, impactos en el medioambiente y afectación directa o indirecta a insectos no blanco (Castañera *et al.*, 2004).

En de los cultivos biotecnológicos resistentes a insectos, se deben de seguir estrategias específicas para el control de plagas, enfocadas en el MIP y el manejo de la resistencia. El uso de refugios es una de las estrategias que se debe utilizar, de forma constante, principalmente para el manejo de la resistencia, y esta estrategia ha sido la más utilizada en todo el mundo. Un refugio es la siembra de un cultivo convencional o no genéticamente modificado, o en su caso que contengan diferente tipo de toxinas de *Bt*, en su estructura molecular, para promover una baja frecuencia del alelo de resistencia en la población plaga con individuos heterocigotos, con la finalidad de que haya cruzamientos entre individuos resistentes y susceptibles y disminuyan las frecuencias de individuos resistentes (Truper, 2014).

Según Saluso (2014), los refugios consisten en fraccionar el lote sembrado con cultivo *Bt* dejando una parte no *Bt*, que constituirá la fuente de larvas susceptibles ya que al no estar expuestas a la proteína *Bt* estas podrán desarrollarse normalmente. Por tanto, al porcentaje de lote destinado para la siembra del genotipo convencional es conocida como “*Refugio*”, y cumple la función de permitir el desarrollo de insectos híbridos susceptibles que pueden ser controlados por la alta dosis de la toxina presente en el cultivo *Bt* (Gonzalez *et al.*, 2020).

A pesar de los beneficios que aporta el uso de refugios; es complicado que los productores acepten realizar la siembra, debido a que debe renunciar a una fracción de cultivo *Bt*, sembrando el cultivo, de forma convencional y por lo tanto expuesto a las plagas que les afecta, lo que implica un costo (Carroll *et al.*, 2013 citado por Gonzalez *et al.*,2020).

En los últimos años se ha comenzado a implementar el Manejo Integrado de Plagas (MIP) de forma constate en los cultivos *Bt*, apoyados por un asesoramiento profesional, pero estas prácticas deben seguir incrementándose ya que aún hay pérdidas y daños, así como la generación de plagas resistentes a las toxinas de *Bt*, por la falta de monitoreos tempranos o por tratamientos efectuados de baja calidad (Gonzalez *et al.*, 2020).

Efectos sobre la Diversidad de Organismos no Blanco en Cultivos *Bt*

Los cultivos GM se utilizan en el mundo desde 1996, incluyendo el uso de cultivos transformados para la resistencia a plagas, es decir cultivos que expresan toxinas Cry insecticidas, por lo que ha sido fuerte la alta presión de selección hacia las plagas blanco a través de más de 20 años de exposición; sin embargo, también se considera que hay efectos sobre los insectos no blanco de forma indirecta o directa, viéndose afectada la diversidad de los agentes de control biológico natural (Hernández, 2019).

México es uno de los ocho países megadiversos y centro de origen y diversidad genética de varias especies, entre ellas algunas con gran importancia para la humanidad, sin embargo, también cuenta con alta diversidad de especies que proveen servicios ecosistémicos en los agroecosistemas o que son de importancia den las relaciones tróficas que favorecen el control de plagas (García & Morales, 2019).

Dentro de los artrópodos que no son blanco de la toxina se encuentran algunos 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 (Hernández, 2012).

Es posible que las variedades transgénicas puedan alterar la biodiversidad, principalmente de los organismos que favorecen el control biológico natural, 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 (Hernández, 2012).

Uno de los casos más estudiados por efecto de las toxinas Cry de Bt en organismos no blanco, es el caso particular de las mariposas y más específicamente la mariposa monarca. La mariposa monarca (*Danaus plexippus*), es un lepidóptero migratorio que se alimenta de plantas asclepias de la familia Apocynaceae, es la mariposa más conocida en América del Norte. Un estudio indicó que el polen del maíz con *Bt* era tóxico para larvas de mariposa monarca criadas en laboratorio. En un estudio posterior se recogieron asclepias cubiertas de polen que crecían cerca de campos de maíz con *Bt*. Se comprobó que la proporción de la mortandad de larvas de mariposa monarca alimentadas con plantas recogidas en esos campos era mucho mayor que las que se alimentaban con plantas libres de polen (FAO, 2021).

Otro aspecto importante que debe tenerse en cuenta es que el algodoncillo (*Asclepias curassavica*) es una maleza y que además es una planta venenosa para el ganado, por lo general los agricultores intentan eliminarla de las áreas de siembra mediante rotaciones, arado, rastreo y uso de herbicidas, por lo que el número de plantas cerca de los maizales es, generalmente, bajo. Por estas razones, a pesar de que se demostró claramente la toxicidad del polen *Bt* a las larvas de las mariposas

monarca, hay acuerdo general entre los investigadores que la probabilidad de exposición es pequeña y el impacto sobre las mariposas monarcas en general es relativamente bajo. A pesar de ello, deben continuarse las investigaciones para ayudar a disipar las preocupaciones de que este tipo de insectos estén amenazados por el maíz *Bt* y para determinar las mejores alternativas para minimizar los efectos negativos (Sánchez-Cuevas, 2003).

Existen reportes más recientes que documentan las afectaciones que sufren especies de artrópodos que son benéficas para el campo y que se exponen a las toxinas Cry del maíz resistente a insectos porque se alimentan directamente de este cultivo, por ingestión o contacto de las toxinas en el suelo o porque se alimentan de una presa contaminada como los áfidos. En este estudio se observó la disminución de dos especies de escarabajos que fueron susceptibles a la toxina del *Bt* encontrada en el suelo en su etapa larvaria. Otras pruebas en el laboratorio confirmaron que la población de estos escarabajos disminuyó en un 38% cuando se alimentaron con áfidos que crecieron sobre maíz *Bt* a comparación con el grupo control que fue alimentado por áfidos crecidos en maíz convencional (García & Morales, 2019).

En el año 2009 se muestra con pruebas de laboratorio que la toxina Cry1Ab del *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) producida por el maíz transgénico aumenta la mortalidad de las larvas de catarina (*Adalia bipunctata*) (Schmidt *et al.*, 2009).

México es el tercer exportador de miel a nivel mundial; 40% de la miel nacional se obtiene de Yucatán, Campeche y Quintana Roo, y el 98% de la miel de la Península se exporta a la Unión Europea (Claridades Agropecuarias, 2010). Alrededor de 43 mil apicultores de origen indígena viven de esta actividad y se tiene el registro de 1.9 millones de colmenas (García & Morales, 2019). Los cultivos transgénicos pueden afectar la polinización de las abejas de manera directa o indirecta. De manera directa porque el polen puede expresar las proteínas *Bt*, que tienen propiedades

insecticidas. Dado que 24% del contenido del polen expresa las toxinas *Bt* (Red por una América Libre de Transgénicos, 2016).

Por parte de Hernández (2012) se reportó que la 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 o convencional, 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 más 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*.

Como cualquier tecnología de control de insectos las plantas transgénicas que expresan la toxina de *Bt* pudieran presentar un riesgo para la comunidad de artrópodos, sin embargo; en el mediano plazo las observaciones hechas no han arrojado resultados que indiquen un posible efecto negativo los cultivos *Bt* sobre la diversidad y abundancia en campo de artrópodos (fitófagos, depredadores, parasitoides, saprófagos) asociados al cultivo de maíz y algodón *Bt*. En este sentido la gran mayoría de los estudios sobre artrópodos no blanco, han estado enfocados al estudio de la diversidad y abundancia de los niveles tróficos a gran escala, evaluando toda la diversidad del agroecosistema maíz en conjunto, principalmente en campo y unos pocos en laboratorio y/o en combinación (Hernández, 2012; Hernández, 2015; Grimaldo, 2019, Hernández, 2019; González, 2019; Villatoro, 2020; Gómez, 2020; Romero, 2021, Rendón, 2021; Tafoya, 2021).).

CONCLUSIÓN

Es evidente el avance en la adopción de los cultivos transgénicos principalmente para el control de plagas inséctiles con la bacteria *Bacillus thuringiensis*. La tecnología Bt es un componente vital de la agricultura sustentable y sostenible, debido a que no presenta efectos negativos en la diversidad y abundancia de organismos no blanco que participan en las cadenas tróficas conservando el control biológico natural dentro del agrosistema.

LITERATURA CONSULTADA

- Agro-Bio (Asociación de Biotecnología Vegetal Agrícola). (2021). Cultivos GM. Obtenido de AGRO-BIO Asociación de Biotecnología Agrícola: <https://www.agrobio.org/cultivos-geneticamente-modificados/>
- ArgenBIO (Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología). (2019). Las plantas transgénicas. *EI_Cuaderno_26*. https://www.porquebiotecnologia.com.ar/Cuadernos/EI_Cuaderno_26.pdf
- Badii, M. H. (2006). Control biológico una forma sustentable de control de plagas. *Daena: International Journal of Good Conscience*. 1(1). [http://www.spentamexico.org/v1-n1/1\(1\)%2082-89.pdf](http://www.spentamexico.org/v1-n1/1(1)%2082-89.pdf)
- Badii, M. H., & Garza A., V. (2015). Resistencia en insectos, plantas y microorganismos. *Cultura Científica y Tecnológica*, (18). <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/460>
- del Bosque, L. R. & Bernal, H. A. (2007) Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico. http://www.ucv.ve/fileadmin/user_upload/facultad_agronomia/Zoologia_Agricola/Manejo_Integrado/Material_Interes/Libro_CB_Aredondo-Rodriguez_2007_Control_Biologico.pdf
- Cantú-Ruiz, A. L., Galván-Quintero, A. O., & Mar-Solís, L. M. (2017). Aplicaciones biotecnológicas en el control biológico. *Artrópodos y Salud*, 7(1), 54-70. http://artropodosysalud.com/Publicaciones/No7-Jun2017/8Biotecnologia_Control_Biologico.pdf
- Cañedo V.; Alfaro A. & Kroschel J. (2011). Manejo integrado de plagas de insectos en hortalizas. Principios y referencias técnicas para la Sierra Central de Perú.

Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima, Perú. 48p.
https://www.researchgate.net/publication/262262604_Manejo_Integrado_de_plagas_de_insectos_en_hortalizas_Principios_y_referencias_tecnicas_para_la_Sierra_Central_de_Peru

Carballo, M.; Cano, E.; Chaput, P.; Fernández, O.; Gonzáles, L.; Gruber, A.K.; Guharay, F.; Hidalgo, E.; Narváez, C.; López P., J. A.; Rizo, C.; Rodríguez, A.; Rodríguez, C.; Salazar, D. (2004). Control Biológico de Plagas. CATIE
https://www.ciaorganico.net/documypublic/525_CONTROL_BIOLOGICO_DE_PLAGAS_AGRICOLAS.pdf

Carrillo R., M. T. & Blanco L., A. (2009). Potencial y algunos de los mecanismos de acción de los hongos entomopatógenos para el control de insectos plaga. *Acta universitaria*, 19(2). <https://www.redalyc.org/pdf/416/41611810005.pdf>

Castañera P.; Ortego F.; Farinós G. P.; Hernández-Crespo P. & De La Poza M. (2004). Métodos de evaluación de los efectos potenciales del cultivo del maíz transgénico en insectos diana y en artrópodos depredadores. *Phytoma* 164: 25-28. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1049998>

Castañet-Martínez, C. E. & Moreno-Reyes, S. (2016). *Bacillus thuringiensis*: características y uso en el control de *Aedes aegypti*. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* 50(3). <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223152661006.pdf>

CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria) (2020). Manejo integrado de plagas, una alternativa ante el uso de plaguicidas. http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/3Manejo_Integrado_Plagas.pdf

Chaparro G., A. (2011). Cultivos transgénicos: entre los riesgos biológicos y los beneficios ambientales y económicos. *Acta Biológica Colombiana* 16(3). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-548X2011000300016

- Chica-Jiménez, A. L. (2020). Diseñar micro empresa productora de insecticida orgánico para cultivos en el cantón el triunfo provincia del Guayas (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Administración).
- ChileBIO. (2012). Aplicaciones de la biotecnología moderna y la ingeniería genética. Obtenido de Biotecnología para una Agricultura sostenible: <https://chilebio.cl/wp-content/uploads/2018/06/ARCHIVADOR.pdf>
- Cisneros, F. H. (1992). El Manejo Integrado de Plagas. Centro Internacional de la Papa. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABL978.pdf
- Cisneros, F. V. (2003). Control de Plagas Agrícolas. http://www.avocadosource.com/books/cisnerosfausto1995/cpa_toc.htm
- Cisneros, F. H. (2010b). Utilización de prácticas culturales en manejo integrado de plagas. <https://hortintl.cals.ncsu.edu/sites/default/files/articles/control-cultural-de-plagas.pdf>
- Claridades Agropecuarias (2010). Situación actual y perspectiva de la apicultura en México. <https://atlasnacionaldelasabejasmx.github.io/atlas/pdfs/ca199-3.pdf>
- CNDH (Comisión Nacional de Derechos Humanos) (2019). *Estudio Sobre la biodiversidad y la biotecnología y su vínculo en pleno goce de los derechos humanos*. <https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/documentos/2019-11/Estudio-Biodiversidad.pdf>
- Cruz-Esteban, S.; Hernández-Ledesma, P.; Malo, E. A. & Rojas, J. C. (2020). Cebos feromonales para la captura de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en cultivos de maíz adyacentes a cultivos de fresas. *Acta zoológica mexicana*, 36. <https://www.redalyc.org/journal/575/57566179011/>
- Duarte, F. C. (2018). El control biológico como mecanismo de rse en la agroexportación peruana: el caso del espárrago. <http://132.248.164.227/congreso/docs/xxiii/docs/15.02.pdf>

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura). (2015). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. <https://www.fao.org/3/i4040s/i4040s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura). (2020). La sanidad vegetal como problema mundial. <http://www.fao.org/3/ca6992es/ca6992es.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura). (2021). Los Organismos Genéticamente Modificados y el medio ambiente. <http://www.fao.org/3/x9602s/x9602s07.htm>
- García-Gutiérrez, C. & González-Maldonado, M. B. (2013). Síntesis sobre el uso de bioinsecticidas y otros agentes de control biológico de plagas en México. *Vedalia*, 14(1), 35-42. <https://hopelchen.tecnm.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r119107.PDF>
- García R. M. & Morales S. J. (2015) La Reforma Constitucional sobre Derechos Humanos 2009-2011, Editorial Porrúa, Universidad Nacional Autónoma de México. Boletín mexicano de derecho comparado, 44(131), 817-840. <https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/documentos/2019-11/Estudio-Biodiversidad.pdf>
- Grimaldo, G. R. (2019). Entomofauna Asociada a Cuatro Variedades DeltaPine de Algodón Genéticamente Modificado. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p 42.
- Gómez, A. C H (2020). Hymenoptera Presente en el Cultivo de Algodón Genéticamente Modificado en San Pedro de las Colonias, Coahuila, México (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p 47.
- Gonzalez, J. M.; Bertoia, L.; Nedilskyj, M.; Torrecilla, M. & Urretabizkaya, N. (2020). Estudio del ciclo vital y nuevas estrategias de manejo con bajo impacto ambiental para el control *Spodoptera frugiperda* Smith en el cultivo de maíz. <http://revistafcaunlz.gramaweb.com.ar/wp-content/uploads/2020/07/Gonzalez-et-al-.pdf>

- González, N. J. (2019). Interacción de la Entomofauna Presente en el Cultivo de Algodón Genéticamente Modificado, Capturados en Trampas de Caída. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p 29.
- Guédez, C.; Castillo, C. & Cañizales, L. M. (2009). Control Biológico: una herramienta para el desarrollo sustentable y sostenible. *ACADEMIA*. VII(13) https://www.researchgate.net/publication/236852483_Control_Biologico_Una_herramienta_para_el_desarrollo_sustentable_y_sostenible
- Gutiérrez, D. F.; Ruiz, R. & Xoconostle, B. (2015). Estado actual de los Cultivos Genéticamente Modificados en México y su contexto internacional. <https://conacyt.mx/cibiogem/images/cibiogem/comunicacion/publicaciones/Estado-actual-de-los-cultivos.pdf>
- Hernández, F. V. (2019.) Diversidad y Composición de Artrópodos Insectos Asociados a Variedades FiberMax de Algodón Genéticamente Modificado con las Toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p 51.
- Hernández, J. A. (2012) Efectividad biológica del maíz genéticamente modificado para control de lepidópteros y su efecto sobre la diversidad de artrópodos no blanco. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila. (Tesis de Maestría).
- Hernández J. A. (2015). Resistencia de maíz genéticamente modificado a plagas y su efecto sobre artrópodos no blanco. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. (Tesis de Doctorado). p. 181.
- ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications). (2016). Situación Mundial de los Cultivos Biotecnológicos/GM Comercializados: 2016. ISAAA Brief No. 52. <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/52/executivesummary/pdf/B52-ExecSum-Spanish.pdf>
- ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications). (2019). Los cultivos transgénicos en el mundo. ArgenBio.

<https://www.argenbio.org/cultivos-transgenicos/12549-los-cultivos-transgenicos-en-el-mundo>

James, C. (2004). Global status of commercialized biotech/GM crops: 2004. *ISAAA briefs*, 32, 1-12.

<https://www.isaaa.org/resources/Publications/briefs/32/download/isaaa-brief-32-2004.pdf>

James, C. (2014). Situación mundial de los cultivos biotecnológicos/GM comercializados. Obtenido de ISAAA Brief No.49:

<https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/49/executivesummary/pdf/b49-execsum-spanish-spain.pdf>

Jiménez M., E.; Sandino D., V. & Valle G., N. (2009). "Métodos de Control de Plagas". UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA, FACULTAD DE AGRONOMÍA. Managua, Nicaragua.

<https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENH10J61me.pdf>

Moraes, J.; Prada, Y.; Padilla, J. C.; Montenegro, S. P.; Fonseca, M. R.; Mosquera, R. A. & Pulido, S. Y. (2019). Control Biológico. Línea de Investigación: Desarrollo Rural. <https://www.researchgate.net/publication/336180263>

Motta-Delgado, P. A. & Murcia-Ordoñez, B. (2011). Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Ambiente & Agua-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6(2).77-90.

Navarro M., D. A. (2017). Manejo Integrado de Plagas. Division de Inocuidad de Alimentos, Direccion General de Sanidad Vegetal y Animal, Ministerio de Agricultura y Ganaderia, El Salvador, Centro America. University of Kentucky. <https://www.ifam.es/wp-content/uploads/2015/05/id181.pdf>

Ochoa, G. & Arrivillaga, J. (2009). *Bacillus thuringiensis*: Avances y perspectivas en el control biológico de *Aedes aegypti*. *Boletín de Malaríología y Salud Ambiental*, 49(2), 181-191.

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482009000200002

- Permingeat, H. & Margarit, E. (2005). Impacto ambiental de los cultivos genéticamente modificados: el caso de maíz *Bt*. *Revista de Investigaciones de la Facultad de ciencias Agrarias-UNR*.
<https://rehip.unr.edu.ar/handle/2133/816>
- Pinos, D. & Hernández, P. (2019). Modo de acción del insecticida biológico *Bacillus thuringiensis*. [higieneambiental.https://higieneambiental.com/productos-biocidas-y-equipos/modo-de-accion-del-insecticida-biologico-bacillus-thuringiensis](https://higieneambiental.com/productos-biocidas-y-equipos/modo-de-accion-del-insecticida-biologico-bacillus-thuringiensis)
- Red por una América Libre de Transgénicos. (2016). *Transgénicos, plaguicidas y el declive de la polinización y la producción melífera*.
http://www.rallt.org/PUBLICACIONES/abejas_web.pdf
- Rendón M. R. (2021). Distribución de Artrópodos entre Estratos Aéreos de la Planta del Cultivo del Algodón (*Gossypium hirsutum* L.) Genéticamente Modificado. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p 48.
- Rocha-Munive, M.G.; Soberón, M.; Castañeda, S.; Niaves, E.; Schinvar, E.; Eguiarte, L. E.; Mota-Sánchez, D.; Rosales-Robles, E.; Nava-Camberos, U.; Martínez-Carrillo, J. L.; Blanco, C. A.; Bravo, A. & Souza. (2018). Evaluación del impacto del algodón genéticamente modificado después de 20 años de cultivo en México. Obtenido de CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) <https://conacyt.mx/cibiogem/images/cibiogem/Fomento-investigacion/sala-exhibicion.virtual/Ar-eval-impac-algodon-GM-20.pdf>
- Romero R., M. I. (2021). Fluctuación de la Diversidad de Artrópodos Durante el Ciclo de Producción del Cultivo de Algodón Bt en Ojinaga, Chihuahua, México. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p 50.
- Saluso A. (2014). Alerta por la aparición temprana de la “oruga cogollera” en maíz. Boletín Entomológico- Informe Especial N° 161 Centro Regional Entre Ríos, INTA. Recuperado de <https://www.forrattec.com.ar/manuales/pdfs/38-20141017144013-pdfEs.pdf>

- Sánchez-Cuevas., M. C. (2003). Biotecnología: Ventajas y desventajas para la agricultura. *Revista UDO Agrícola*, 3(1)1-11.
https://www.researchgate.net/profile/Maria-Sanchez-Cuevas/publication/26495373_Biotechnology_Advantages_and_disadvantages_for_agriculture/links/5942b8660f7e9b6910eadf4d/Biotechnology-Advantages-and-disadvantages-for-agriculture.pdf
- Sauka., D. H. & Benintende., G. B. (2008). *Bacillus thuringiensis*: generalidades. Un acercamiento a su empleo en el biocontrol de insectos lepidópteros que son plagas agrícolas. *Revista Argentina de Microbiología*, vol. 40(2), 124-140.
<https://www.redalyc.org/pdf/2130/213016787013.pdf>
- Schmidt, J.; Braun, C.; Whitehouse, L. & Hilbeck, L. A. (2009). Efectos de los productos transgénicos *Bt* activados (Cry1Ab, Cry3Bb) en estudios inmaduros de la mariquita *Adalia bipunctata* en pruebas de ecotoxicidad de laboratorio. *Archivos de Toxicología y Contaminación Ambiental* 56.
<https://doi.org/10.1007/s00244-008-9191-9>
- Tafoya Z. S. (2021). Diversidad de dípteros saprófagos en el suelo asociados a algodón genéticamente modificado con las toxinas cry de *Bacillus thuringiensis*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p 52.
- Trumper, E. V. (2014). Resistencia de insectos a cultivos transgénicos con propiedades insecticidas. Teoría, estado del arte y desafíos para la República Argentina. *Agriscientia*, 31(2), 109-126.
https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Trumper/publication/270823021_Resistencia_de_insectos_a_cultivos_transgenicos_con_propiedades_insecticidas_Teoria_estado_del_arte_y_desafios_para_la_Republica_Argentina/links/54b6a1af0cf2bd04be323d9b/Resistencia-de-insectos-a-cultivos-transgenicos-con-propiedades-insecticidas-Teoria-estado-del-arte-y-desafios-para-la-Republica-Argentina.pdf
- Villarreal-Delgado, M. F.; Villa-Rodríguez, E. D.; Cira-Chávez, L. A.; Estrada-Alvarado, M. L.; Parra-Cota, F. I. & Santos-Villalobos, S. (2018). El género

Bacillus como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(1), 95-130.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0185-33092018000100095&script=sci_arttex

Villatoro V., A. (2019). Efecto del Maíz Genéticamente Modificado Sobre la Diversidad y Abundancia de Enemigos Naturales no Blanco. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p 52.

Zambrano, P. (2019). Control biológico. Agropedia.
<https://agrotendencia.tv/agropedia/control-biologico/>

Zepeda-Jazo, I. (2018). Manejo sustentable de plagas agrícolas en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 15(1), 99-108.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-54722018000100099&script=sci_arttext