

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO CIENCIAS DEL SUELO



**DIVERSIDAD DE DíPTEROS SAPRÓFAGOS EN EL SUELO
ASOCIADOS A ALGODÓN GENÉTICAMENTE MODIFICADO CON LAS
TOXINAS CRY DE *Bacillus thuringiensis*.**

POR

SERGIO TAFOYA ZARATE

T E S I S

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO CIENCIAS DEL SUELO

DIVERSIDAD DE DíPTEROS SAPRÓFAGOS EN EL SUELO ASOCIADOS A
ALGODÓN GENÉTICAMENTE MODIFICADO CON LAS TOXINAS CRY DE *Bacillus*
thuringiensis.

TESIS

Presentada por

SERGIO TAFOYA ZARATE

y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para
obtener el título profesional de

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

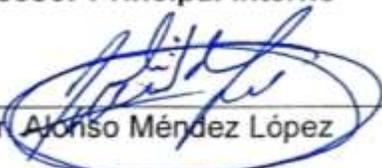
APROBADA



Dr. José de Jesús Rodríguez
Sahagún
Asesor Principal Interno



Dra. Miriam Sánchez Vega
Asesor Principal Externo



Dr. Alonso Méndez López



Dr. José Antonio Hernández
Herrera
Coasesor



Coasesor



M.C. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO CIENCIAS DEL SUELO

DIVERSIDAD DE DíPTEROS SAPRÓFAGOS EN EL SUELO ASOCIADOS A
ALGODÓN GENÉTICAMENTE MODIFICADO CON LAS TOXINAS CRY DE *Bacillus*
thuringiensis.

TESIS

Presentada por

SERGIO TAFOYA ZARATE

Como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Aprobada por el comité de asesoría:



Dr. José de Jesús Rodríguez
Sahagún
Asesor Principal Interno



Dr. Alonso Méndez López
Coasesor



Dra. Miriam Sánchez Vega
Asesor Principal Externo



Dr. José Antonio Hernández
Herrera
Coasesor

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 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 al 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



Sergio Tafuya Zarate

DEDICATORIAS

A **Dios** que me dio la oportunidad de vivir de cumplir mis sueños y metas, dándome la paciencia y fuerza para seguir preparándome y por brindarme una familia maravillosa.

Con mucho cariño a mis padres:

Ernesto Tafoya Ortiz

y

Ma. Soledad Zarate Solorio

Que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo mamá y papá por hacer de mí una persona de bien, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, por su esfuerzo y disponibilidad. Aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén siempre conmigo.

A mis hermanos **Evelin y Adolfo** y a toda mi familia en general por estar siempre conmigo, brindándome su apoyo incondicional y creer en mis capacidades, los quiero mucho.

Dedico este trabajo a cuatro personas queridas que significan todo para mí, **mis Abuelitos**, que siempre me dieron sus consejos para ser una persona exitosa y de bien al igual por sus buenos deseos y oraciones, aunque ellas ya no están en este mundo, sus recuerdos continúan en mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, **a Dios** por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad y finalmente por darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A Ernesto Tafoya Ortiz y Ma. Soledad Zarate Solorio, por ser los principales promotores de mis sueños, por compartir tristezas y alegrías, éxitos y fracasos, por confiar y creer en mí, y por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento a lo largo de esta preparación y por las maravillosas personas que conocí en ella.

A la Dra. Miriam Sánchez Vega por todo su apoyo durante este proceso, quien con su dedicación, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

A mis hermanos **Evelin y Adolfo** por su cariño y apoyo incondicional, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños.

A mi novia **Arantxa** por su apoyo que ha sido incondicional para que logre mis metas, siempre has estado conmigo en todo momento. Este proyecto no fue fácil, pero estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían. Te lo agradezco muchísimo, amor.

A mis primos, amigos y compañeros de la universidad especialmente a **Linda Salome y Luis Fernando** que siempre nos apoyamos y nos aconsejamos para lograr nuestras metas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIAS	V
AGRADECIMIENTOS	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VII
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
RESUMEN.....	XI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general	3
1.1.1. Objetivos específicos.....	3
1.2. Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Origen y formación del suelo	4
2.1.1. Materia orgánica.....	5
2.1.2. Material inorgánico del suelo	6
2.1.3. Importancia del suelo.....	7
2.2. <i>Bacillus thuringensis</i> como patrón de los Organismos Genéticamente Modificados. 7	
2.2.1. Proteínas insecticidas de Bt.....	8
2.2.2. Proteínas Cry1Ab y Cry2Ae.....	8
2.3. <i>Bacillus</i> sp en el control de dípteros	9
2.4. Cultivos Genéticamente Modificados.....	11
2.4.1. Cultivos Bt	12
2.5. Influencia de los cultivos Bt sobre la fauna cercana al suelo.....	14
2.6. Importancia de los organismos que habitan en el suelo.....	16
2.7. Aspectos generales de los organismos del suelo	17
2.8. Grupos de macroorganismos en el suelo.....	17
2.8.1. Lombrices de tierra	17
2.8.2. Hormigas	18
2.8.3. Termitas.....	18
2.8.4. Colémbolos	19
2.8.5. Larvas de moscas.....	19
2.9. Antecedentes y generalidades de los dípteros.....	20

2.9.1. Descripción de la Familia Sphaeroceridae	21
2.10. Descripción de la Familia Stratomyidae	22
2.11. Descripción de la Familia Sciaridae	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1. Ubicación del experimento.....	24
3.2. Establecimiento del cultivo.....	24
3.3. Muestreo de insectos.....	25
3.4. Conservación de insectos.....	26
3.5. Conteo, identificación de insectos y análisis de poblaciones	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1. Composición de la comunidad de dípteros en el cultivo de algodón	28
4.2. Dípteros en el cultivo de algodón.....	31
4.3. Importancia de dípteros saprófagos en el cultivo del algodón.....	39
V. CONCLUSIONES	42
VI. LITERATURA CITADA.....	43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Categoría de la materia orgánica del suelo.....	5
Cuadro 2. Composición de la riqueza y abundancia de dípteros en el cultivo de algodón, para la región de San Pedro, Coahuila, México. Ciclo primavera-verano, 2018.	29
Cuadro 3. Abundancia de dípteros monitoreada en híbridos de algodón GM.....	32
Cuadro 4. Riqueza de familias de dípteros monitoreada en híbridos de algodón GM.....	34
Cuadro 5. Frecuencia de la presencia de familias de dípteros en el cultivo de algodón GM.	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición del suelo.	4
Figura 2. Esquema del espectro de acción conocido de toxinas Bt sobre especies de invertebrados.	9
Figura 3. Clases de modificación genética dependiendo de la procedencia del gen de interés.	12
Figura 4. Localización del experimento en el rancho “El Rincón del buitre”.	24
Figura 5. Trampa de intercepción o caída (Pitfall).	26
Figura 6. Representatividad de las familias de dípteros en porcentaje de individuos colectados.	30
Figura 7. Porcentaje total de dípteros colectados por muestreo en ocho híbridos de algodón Bt.	33
Figura 8. Riqueza y frecuencia de las familias de dípteros en las diferentes variedades DeltaPine de algodón Bt.	37
Figura 9. Riqueza y frecuencia de las familias de dípteros en las diferentes variedades FiberMax de algodón Bt.	39
Figura 10. Riqueza y frecuencia de las familias de dípteros en el testigo de la variedad DeltaPine de algodón Bt.	38

RESUMEN

El algodón genéticamente modificado (GM), con *Bacillus thuringiensis* (Bt) es uno de los cultivos con mayor producción en México, éstos tienen la característica de resistir plagas principalmente del Orden Lepidoptera. Los beneficios económicos de su uso son variables, pero dentro de los más importantes es que se han logrado beneficios medioambientales con una reducción de las aplicaciones de insecticidas químicos y la posterior disminución de las poblaciones de plagas primarias. Sin embargo, durante los últimos 20 años, las instituciones de investigación como las empresas de biotecnología han generado información científica y técnica sobre los efectos del algodón Bt, en el cual es necesario implementar programas de investigación, para que los avances en biotecnología y mejoramiento vegetal puedan desarrollar variedades de algodón adaptadas a las condiciones ambientales particulares de México y para controlar las plagas de insectos de importancia regional principalmente en la región productora de La Comarca Lagunera que es una zona fuertemente algodонера. En el presente estudio se evaluó la diversidad de dípteros saprófagos con la finalidad de conocer cómo interactúan con el algodón transgénico de las líneas FiberMax y DeltaPine y como intervienen o ayudan en la descomposición de la materia orgánica y reciclado de los nutrientes que favorecen la formación del suelo. Se capturaron los insectos mediante trampas de intercepción o de caída (Pitfall) durante el ciclo de producción P-V 2018 establecido en la región de San Pedro, Coahuila, México. Además, se identificó y evaluó la diversidad de familias, por medio de su riqueza y abundancia al igual que la frecuencia de éstas y sus hábitos alimenticios en estadios larvario y adultos.

Se colectaron un total de 199 insectos dentro de 18 familias. Siendo Phoridae la que presentó mayor abundancia (31.14%), seguida de Scaptomyzidae (22.10%) y Muscidae (14.06%). El híbrido que presentó mayor riqueza de familias y abundancia de insectos fue el FM2007 con 11 familias (61.1%,) y una abundancia del 23.62% (n=47) con respecto al resto de los híbridos, superior incluso al híbrido no Bt que es el testigo DP1441 (50% y 14.07%, respectivamente).

Palabras clave: suelo, saprófagos, algodón Bt, dípteros, diversidad de insectos.

I. INTRODUCCIÓN

El suelo tiene importancia en la sostenibilidad de los ecosistemas, donde es un reservorio temporal del ciclo del agua, que filtra y depura este líquido en su recorrido hacia los acuíferos. Conjuntamente el suelo brinda soporte a todos los seres vivos del ecosistema a los que suministra agua y los nutrientes que necesitan para el desarrollo completo de su ciclo (Serrano, 2016).

El suelo es el sostén de los ecosistemas terrestres, mantiene las coberturas vegetales que hacen posible la vida sobre el planeta y es primordial para la producción de alimentos en el mundo (Villarreal & García, 2012).

En el suelo, se encuentra la fauna integrada por invertebrados que representan aproximadamente el 15% de la biomasa del suelo (Eijsackers, 1994), donde los nematodos, anélidos y artrópodos son los grupos más importantes. Entre los invertebrados destacan los ácaros, arañas, colémbolos, coleópteros, himenópteros, dípteros, quilópodos, diplópodos e isópodos, ya sea en estado larvario o adulto, como es el caso de dípteros y coleópteros (Eisenbeis & Wichard, 1987).

Dentro de los organismos en el suelo, destacan los saprófagos, que son organismos que se alimentan de materia orgánica en descomposición, por lo que esta definición incluye diferentes grupos tróficos clasificados de acuerdo al tipo de materia orgánica que degradan. Entre los grupos tróficos saprófagos, se destacan los coprófagos, que son aquellos organismos que degradan materia fecal; los necrófagos, relacionados con cadáveres o tejido muerto de animales; los detritívoros que se alimentan de detritos orgánicos; los fitófagos que lo hacen sobre materia orgánica de origen vegetal (productores), entre otros (Hanski, 1987; Kitching *et al.*, 2005).

Los organismos genéticamente modificados (OGM) son plantas, animales o microorganismos que han sido sometidas a la incorporación o modificación de genes mediante el uso de herramientas de ingeniería genética, con potentes técnicas han modificado los cultivos que han beneficiado en mejorar los rendimientos y resistencia a enfermedades, pero con efectos dañinos al medio ambiente como la aparición de tolerancia a herbicidas e insecticidas y alteración de la biodiversidad, entre otras (Tsatsakis *et al.*, 2017).

En los OGM, se ha usado genes implantados de *Bacillus thuringiensis* (Bt), que es una bacteria del suelo, donde sus proteínas codifican una serie de biotoxinas cristalinas que pueden ser expresadas directamente por las plantas y que causan daño o la muerte a los insectos, que son consideradas plagas de los cultivos (Gus *et al.*, 2021). La bacteria entomopatógena *Bacillus thuringiensis* (Bt), es un bacilo Gram positivo, aerobio facultativo, esporulado, cuyo tamaño oscila entre 1.0 a 1.2 micrómetros de ancho y de 3.0 a 5.0 micrómetros de largo (Porcar & Juárez, 2004), es nativo del suelo y catalogado como cosmopolita (Balaraman, 2005) la cual se ha aislado de ecosistemas como bosques tropicales y templados, zonas desérticas, sabanas, archipiélagos, frutales, suelos agrícolas, arena y cuevas en los cinco continentes (Ruiz *et al.*, 2004).

Es de importancia conocer la presencia de la fauna del suelo y sus posibles afectaciones por la interacción con cultivos genéticamente modificados, con la bacteria *B. thuringiensis*, por lo que el conocimiento de la identificación y clasificación de la biota referente a artrópodos insectiles, que se encuentran en el horizonte del suelo donde se establecen estos cultivos, así como el estudio de los parámetros de diversidad como riqueza y abundancia, dan referencia a los posibles impactos que generen a las características específicas del suelo; además existe especificidad de organismos que son benéficos para la conformación de este recurso natural.

1.1. Objetivo general

Determinar las principales familias de dípteros saprófagos que se encuentran en el horizonte superficial del suelo y su interacción con el cultivo de algodón GM, en la región productora de San Pedro, Estado de Coahuila, México.

1.1.1. Objetivos específicos

- Comparar la riqueza y abundancia de las diferentes familias de dípteros saprófagos que se encuentran en el horizonte superior del suelo y la interacción entre con plantas de algodón GM.
- Determinar la composición específica de los dípteros, en especial de las familias Stratomyidae, Shaeroceridae, Sciaridae, debido a la participación ecológica que tienen estas en el horizonte superior del suelo.
- Evaluar la influencia de las variedades de algodón GM con Bt en relación a la riqueza y abundancia de dípteros saprófagos.

1.2. Hipótesis

La diversidad de los dípteros saprófagos, que se encuentran en el horizonte superficial del suelo e interaccionan con el cultivo de algodón genéticamente modificado, no son afectados por la influencia de las toxinas Cry del Bt presentes en el suelo del cultivo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen y formación del suelo

El suelo está compuesto por minerales, materia orgánica, organismos y microorganismos vegetales y animales, aire y agua. Es una delgada capa que se ha formado muy lentamente a través de los siglos, con la disgregación de las rocas superficiales por la acción del agua, los cambios bruscos de temperatura y el viento. Las plantas y animales que crecen, posteriormente en el suelo son descompuestos por los microorganismos y son transformados en materia orgánica e incorporados como partículas del suelo (FAO, 1996).

El suelo es una composición de sólidos orgánicos e inorgánicos, aire, agua y microorganismos (Figura 1). Todas estas fases influyen entre sí; las relaciones de los sólidos afectan la calidad del aire y del agua, estos dos factores desgastan los sólidos y los microorganismos catalizan muchas de estas reacciones (Bohn *et al.*, 1993).

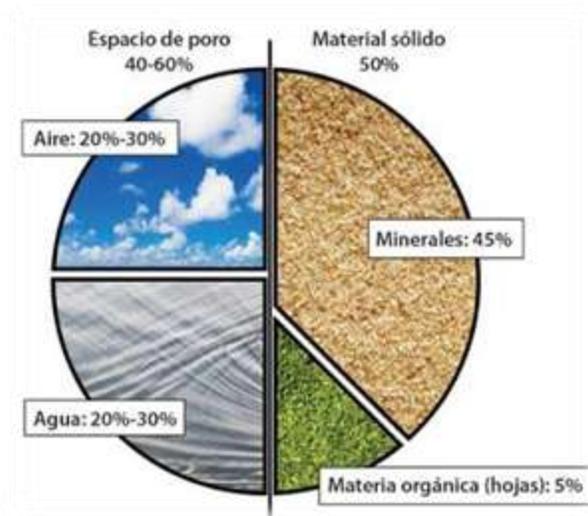


Figura 1. Composición del suelo.

El suelo es un componente esencial del ambiente en el que se desarrolla la vida; es vulnerable, de difícil y larga recuperación ya que tarda desde miles a cientos de miles de años en formarse y de extensión limitada, por lo que se considera un recurso natural no renovable (Silva & Correa, 2009).

2.1.1. Materia orgánica

La materia orgánica es la acumulación de todos los residuos vegetales y animales, así como de las células microbiales depositadas en el suelo y que se encuentran en proceso de descomposición, es importante como fuente de la energía requerida para la actividad y el metabolismo de los microorganismos del suelo y como sustrato para el suministro de nutrientes esenciales para las plantas, el contenido de la materia orgánica en los suelos es variable y depende de los procesos intrínsecos y la interacción con el ambiente y microorganismos (Gamiño & Blanco, 2006).

Cuadro 1. Categoría de la materia orgánica del suelo.

Materia orgánica (%) por el método Walkley-Black	
% M.O.	Categoría
< 0,9	Muy bajo
1,0 – 1,9	Bajo
2,0 – 2,5	Medio
2,6 – 3,5	Alto
> 3,6	Muy alto

Fuente: Rioja, 2007.

La materia orgánica del suelo (MOS) es un parámetro determinado por controles bióticos, como la abundancia, producción y tipos de especies de plantas, producción microbiana y controles ambientales, tales como la temperatura, contenido de agua y la textura del suelo, la dinámica y preservación de la MOS es decisiva porque mejora

la estructura y porosidad del suelo, su fertilidad y, por ende, la producción de los cultivos (Clunes *et al.*, 2014). Se considera cinco categorías de contenido de materia orgánica como se muestra en el Cuadro 1, de acuerdo con Rioja, 2007

2.1.2. Material inorgánico del suelo

Los principales componentes inorgánicos de los materiales parentales del suelo, son los minerales, que se consideran como un sólido natural inorgánico que presenta una estructura interna ordenada y una composición química definida (Tarbuck & Lutgens, 1999). El mineral está compuesto por un arreglo tridimensional de átomos y/o iones que se repite en intervalos regulares, el cual recibe el nombre de cristal; el menor arreglo tridimensional completo de un cristal se conoce como celda unitaria.

Los minerales originales de las rocas se conocen como minerales primarios y cuando éstos se alteran pueden formar otros minerales llamados minerales secundarios. Los primarios son aquellos minerales que se cristalizaron bajo las condiciones de formación de las rocas y que, por lo tanto, son parte de ellas; corresponden a silicatos, aunque también se presentan óxidos, hidróxidos, carbonatos, sulfatos, sulfuros y fosfatos. Constituyen a la mayor parte de las partículas del tamaño de arena y limo entre 0.002 y 2.0 mm (Jaramillo, 2002).

A escala nanométrica, los coloides del suelo están constituidos básicamente por las arcillas y la materia orgánica descompuesta. Estos materiales tienen una enorme importancia como componentes únicos del suelo, siendo responsables de numerosas propiedades, características y procesos que ocurren en los mismos; destacando la retención y lixiviación de nutrientes y contaminantes, que tanto tiene que ver con su grado de fertilidad y degradación (De la Rosa, 2013).

2.1.3. Importancia del suelo

El suelo es el fundamento de los ecosistemas terrestres, sustento no solamente de las coberturas vegetales que hacen posible la vida sobre el planeta, sino base fundamental de la producción de alimentos en el mundo (Villarreal & García, 2012).

Dentro de los beneficios o servicios ecosistémicos que proporciona el suelo, destaca la función o capacidad para producir biomasa, que se encuentra íntimamente asociada con las mayores preocupaciones de nuestro tiempo: seguridad alimentaria, necesidades de agua y energía, balance de carbono y cambio climático (De la Rosa, 2013).

2.2. *Bacillus thuringiensis* como patrón de los Organismos Genéticamente Modificados

La bacteria *B. thuringiensis* es un bacilo Gram positivo que durante su fase de esporulación produce una inclusión paraesporal, conformada por proteínas proteínas Cry y Cyt del inglés crystal y cytolytic, con actividad biológica contra insectos-plaga. Esta proteína *B. thuringiensis* presenta toxicidad contra larvas de los órdenes Lepidoptera, Coleoptera y Diptera, entre otros. Además, es amigable con el medioambiente, razones por las cuales se ha hecho común el uso y desarrollo de productos comerciales y plantas transgénicas a base de toxinas Cry en el sector agrícola (Portela-Dussán *et al.*, 2013).

2.2.1. Proteínas insecticidas de Bt

B. thuringiensis en su fase vegetativa la bacteria produce las proteínas llamadas Vip (del inglés vegetative insecticidal proteins). En el control de plagas, las principales toxinas insecticidas utilizadas son las proteínas formadoras de poro Cry y Vip por su alta especificidad de acción. Las proteínas citolíticas Cyt ha sido poco estudiadas, aunque se utilizan en el control de dípteros (Pinos & Hernández, 2019).

2.2.2 Proteínas Cry1Ab y Cry2Ae

La proteína insecticida Cry1Ab de 617 aminoácidos y un peso molecular de 69 kDa, codificada por el gen cry1Ab derivado de la bacteria *B. thuringiensis* subsp. *berliner* (Bt), es efectiva para el control de insectos lepidópteros como los insectos del algodón como gusano bellotero (*Helicoverpa zea*) y gusano tabacalero (*Heliothis virescens*) (Cerón *et al.*, 2017; Herrera, 2017).

La proteína insecticida Cry2Ae de 631 aminoácidos y un peso molecular de 71 kDa, codificada por el gen cry2Ae derivado de la bacteria *B. thuringiensis* subsp. *dakota* (Bt), esta proteína es efectiva para el control de insectos lepidópteros gusano bellotero (*Helicoverpa zea*), gusano tabacalero (*Heliothis virescens*) y gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) (Cerón *et al.*, 2017; Herrera, 2017).

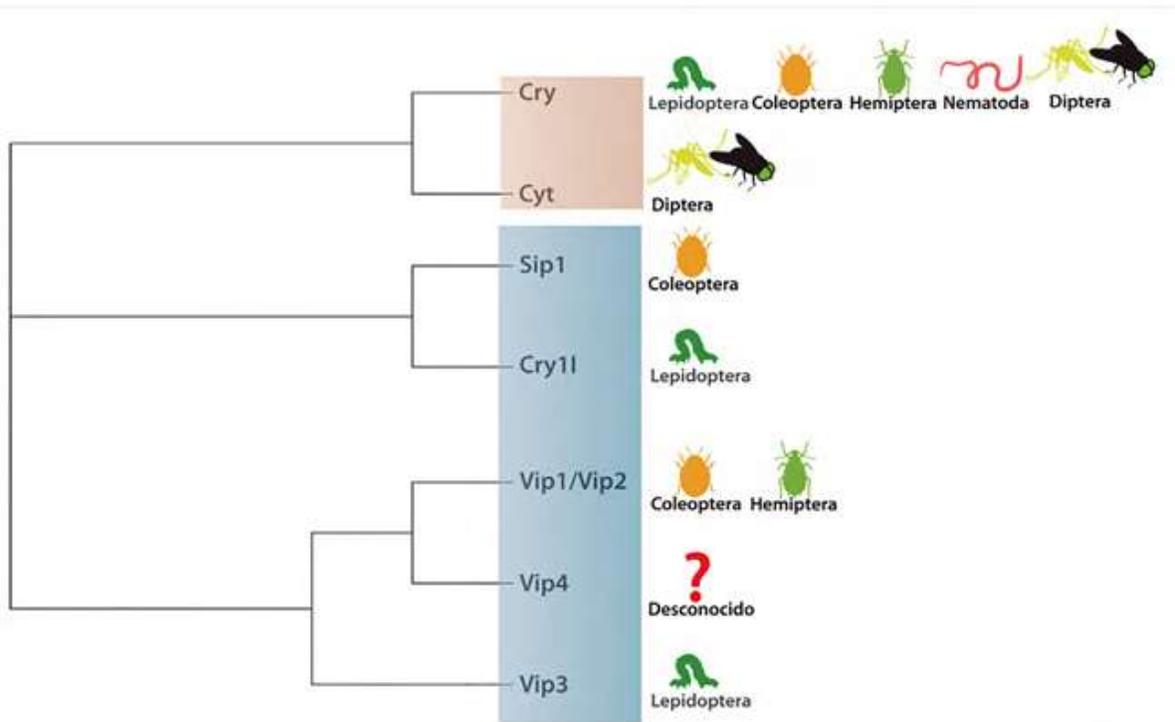


Figura 2. Esquema del espectro de acción conocido de toxinas Bt sobre especies de invertebrados.

2.3. *Bacillus* sp en el control de dípteros

La subespecie *israelensis* de *B. thuringiensis* (Bti) fue descubierta en 1976 a partir de mosquitos de una poza del desierto del Negev en Israel (Goldberg & Margalit, 1977). Bti muestra una elevada actividad insecticida sobre larvas de dípteros, en particular de mosquitos (Culicidae) y moscas negras (Simuliidae); entre los mosquitos, es activo sobre los tres géneros más importantes: *Aedes*, *Anopheles* y *Culex*, en orden de susceptibilidad (Charles & Nielsen-LeRoux, 2000). El rango de concentración letal 50 (CL₅₀) sobre larvas del cuarto estadio de muchas especies de mosquitos es de 10-13 ng·ml⁻¹ (Federici *et al.*, 2003).

El éxito experimentado con la cepa Bti estimuló el desarrollo de programas de búsqueda de nuevas bacterias y cepas de *B. thuringiensis* con propiedades

mosquitocidas. Hasta la fecha, se han descubierto numerosos aislados activos, aunque su efectividad nunca ha superado a Bti (Federici *et al.*, 2003). Un aspecto común en la mayoría de aislados mosquitocidas encontrados muestran propiedades citolíticas sobre cultivos celulares, ya que producen en mayor o menor medida, proteínas Cyt (Güerchicoff *et al.*, 2001).

De las subespecies en las que se ha hallado algún aislado mosquitocida es muy amplia: *mogi* (Roh *et al.*, 2009); *aizawai* (Ito *et al.*, 2006a); *entomocidus* (Ito *et al.*, 2006b); *sotto* (Ohgushi *et al.*, 2003); *darmstadiensis*, *kyushuensis*, *leesis*, *thompsoni*, *malaysiensis*, *canadensis* (Güerchicoff *et al.*, 2001; Ragni *et al.*, 1996); *higo* (Saitoh *et al.*, 2000; Hwang *et al.*, 1998); *jegathesan* (Btjeg) (Seleena *et al.*, 1995); *medellin* (Btmed) (Orduz *et al.*, 1992); *fukuokaensis* (Yu *et al.*, 1991); *morrisoni* (Gill *et al.*, 1987).

Otras especies bacterianas para las que se han descrito cepas mosquitocidas son: *Bacillus sphaericus* (Meyer & Neide) (Bs), que produce de las toxinas Bin y Mtx (Charles & Nielsen-LeRoux, 2000; Singer, 1974); *Brevibacillus laterosporus* (Laubagh) (Orlova *et al.*, 1998); y *Clostridium bifermentans* (Cbm) (de Barjac *et al.*, 1990), que produce proteínas de la familia Cry, Cry16 y Cry17 (Barloy *et al.*, 1998).

Las toxinas Cry interactúan con receptores específicos ubicados en la superficie de la célula huésped y son activadas por las proteasas del huésped después de la unión del receptor, lo que resulta en la formación de una estructura oligomérica previa a los poros que es competente para la inserción. En contraste, las toxinas Cyt interactúan directamente con los lípidos de la membrana y se insertan en la membrana. La evidencia reciente sugiere que Cyt sinergiza o supera la resistencia a las proteínas Cry mosquitocidas al funcionar como un receptor unido a la membrana Cry (Bravo *et al.*, 2007).

2.4. Cultivos Genéticamente Modificados

El primer cultivo GM fue registrado oficialmente en 1996; el tomate FLAVR-SAVR fue comercializado de forma oficial, este producto fue diseñado para retrasar la maduración del tomate al reducir considerablemente la síntesis de la enzima poligaracturonasa en el fruto de tomates en maduración, a través de la introducción de una copia en orientación reversa del gen que codifica para dicha enzima (Bravo *et al.*, 2007).

Los OGM, y en particular los cultivos GM, son especies vegetales que han sido sometidas a la incorporación o modificación de genes mediante el uso de herramientas de ingeniería genética. La manipulación genética persigue diferentes objetivos, entre ellos se destacan la alteración de los niveles o patrones de expresión de genes endógenos específicos, aumentándolos o disminuyéndolos; el cambio de las propiedades biológicas de las proteínas que ellos codifican o la introducción de nuevas propiedades o acciones biológicas, las cuales conferirán una capacidad adicional al equipo genético del organismo en cuestión (Figura 3; Halford & Shewry, 2000).

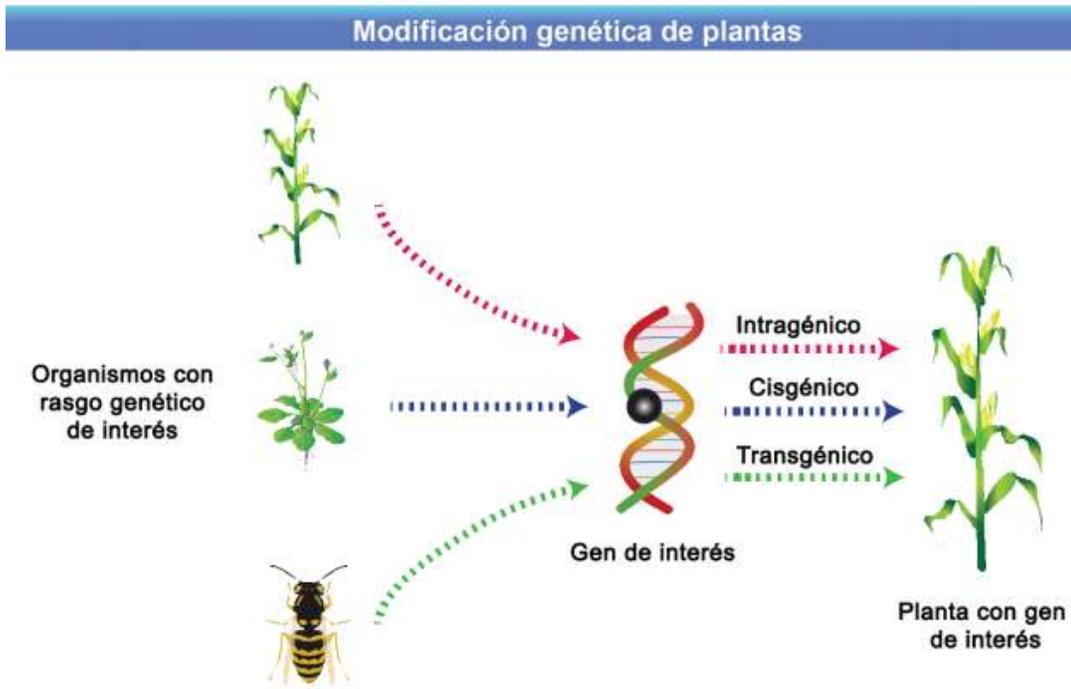


Figura 3. Clases de modificación genética dependiendo de la procedencia del gen de interés.

2.4.1. Cultivos Bt

Una herramienta de control biológico la constituye el uso de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt), en cultivos genéticamente modificados GM, que expresan toxinas de esta bacteria. Los cultivos Bt son cultivos modificados mediante ingeniería genética para brindar protección frente a ciertas plagas a través de la expresión, en sus tejidos, de proteínas insecticidas denominadas proteínas Bt, las cuales provienen de esta bacteria que viene del suelo.

Cuando los insectos ingieren el tejido vegetal con proteínas Bt, la toxina (*delta* endotoxina) es activada, se une a receptores específicos de las células intestinales formando poros en la membrana. Estos interrumpen el proceso digestivo del insecto

provocando la muerte de la larva. Los insectos tienen un intestino medio alcalino, que favorece la solubilización del cristal y su procesamiento.

Las proteínas Cry se adhieren al epitelio intestinal del insecto de forma cooperativa, de manera que ocho proteínas forman un anillo, creando un poro en el intestino. El contenido alcalino del intestino se vierte a la hemolinfa del insecto, causando un daño irreversible; por tanto, el insecto muere debido al cambio brusco de pH en su hemolinfa y por una infección generalizada al reproducirse la bacteria Bt y otras bacterias de su flora intestinal (Gutiérrez *et al.*, 2015).

Los cultivos resistentes a insectos o cultivos Bt, se encuentran el maíz, el algodón y la soya, los cuales se producen en diversos países. En México el cultivo que se tiene permitido y que se produce en mayor escala es el algodón (CIBIOGEM, 2019). En 2003, seis países (Argentina, Brasil, Canadá, China, Estados Unidos y Sudáfrica), cuatro cultivos (maíz, soja, colza y algodón) y dos características (resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas) representaban el 99% de la superficie mundial plantada de cultivos transgénicos.

Esos mismos cultivos y características son el centro de la mayoría de las investigaciones sobre cultivos transgénicos que se están realizando en los sectores público y privado de los países desarrollados y en desarrollo. Una de las principales limitaciones con que se enfrentan los países en desarrollo para adoptar y adaptar las innovaciones biotecnológicas realizadas en otras partes es su falta de capacidad nacional en materia de investigación agrícola (Raney, 2004).

Los primeros cultivos Bt expresaban sólo una proteína y la tendencia, hoy en día, es apilar genes para ampliar el espectro de control y contribuir a retrasar la selección de resistencia (CIBIOGEM, 2019).

La adopción de variedades Bt en las distintas regiones de México ha dependido del grado de la infestación de plagas y las consiguientes pérdidas económicas. Una fácil adaptación fue la Comarca Lagunera, región que comprende partes de los estados de Coahuila y Durango, y es la más gravemente afectada por las orugas de la cápsula (Raney, 2004).

Mientras que en otras regiones aldoneras de México se padecen plagas de dichas orugas y otras plagas no susceptibles al Bt, por lo que deben emplearse métodos químicos, por lo tanto, la adopción del Bt es baja en estas regiones. El algodón Bt no se cultiva en los estados sureños de Chiapas y Yucatán, donde existen especies silvestres de *Gossypium hirsutum*, un pariente nativo del algodón (Traxler *et al.*, 2003).

El algodón genéticamente modificado ha traído beneficios económicos y ambientales en las regiones en donde se ha utilizado, en México, de las 110,018.54 hectáreas de algodón biotecnológico, tan solo 681.04 hectáreas (3%) corresponden a tecnología tolerante a herbicidas y 106,337.5 hectáreas (97%) en materiales resistencia al ataque de insectos lepidópteros (ISAAA, 2017).

De acuerdo con cifras del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2017), durante el ciclo 2016 se sembraron 104,586.69 ha de algodón, destacando los Estados de Chihuahua y Baja California.

2.5. Influencia de los cultivos Bt sobre la fauna cercana al suelo

La liberación al suelo de proteínas Bt a partir de las plantas transformadas puede ocurrir de dos formas. La primera de ellas tiene que ver con la degradación y descomposición de material vegetal en el suelo por los organismos, que llevaría a la liberación gradual de proteínas hacia el mismo (Zwahlen *et al.*, 2003). La otra forma

de incorporación de proteínas al suelo tiene que ver con el proceso de exudación radicular de una serie de compuestos que le sirve a la planta para muchos procesos como lo es la defensa, comunicación con microorganismos, solubilización de metales entre otros (Walker *et al.*, 2003).

La permanencia de la proteína Bt en el suelo parece depender de una serie de factores entre los que se destacan la composición física del suelo, la actividad microbiológica del mismo y factores abióticos como temperatura y lluvias. Se ha observado que la proteína Cry1Ab en el suelo por períodos largos de 180 a 350 días, posteriores a la liberación por exudación y a la deposición del material vegetal sobre suelo reconstituido de material vegetal derivado de plantas de maíz GM en suelos cubiertos de nieve presenta una vida media de 35 a 45 días y hasta 200 días desde la incorporación de las plantas al suelo (Saxena *et al.*, 2002; Zwahlen, 2003).

Otros estudios han reportado que la vida media de las proteínas Cry puede durar 1.5 días (Sims & Berberich, 1996), mientras que también se estima que las proteínas Bt tienen una rápida degradación en muestras de suelo obtenidas de campos cultivados con algodón Bt (Herman *et al.*, 2001; Head *et al.*, 2002). Margarit *et al.* (2008) detectaron bajos niveles de proteína Bt en muestras de suelo cultivados tanto con maíces transgénicos como no transgénicos, asignando el origen de la misma al *Bacillus thuringiensis* (Bt), habitante común del suelo más que al cultivo transgénico.

La prolongada persistencia de la proteína Cry, se debe a la capacidad de las mismas de adsorberse sobre partículas con superficies activas como los ácidos húmicos y arcillas (Saxena *et al.*, 2002)

Las afectaciones a los microorganismos del suelo se dan por el uso indiscriminado de los herbicidas usados para controlar las malezas, sustancias como el glifosato y las

proteínas con función insecticida proveniente de *B. thuringiensis* (Toxinas Bt) identificadas como Cry. De acuerdo al estudio de Saxena & Stotzky (2001), la proteína Cry1Ab en exudados de las raíces y la biomasa del maíz Bt no parece ser tóxico para las lombrices de tierra, nematodos, protozoos, bacterias y hongos.

Las proteínas Cry se agrupan en cuatro clases iniciales 1, 2, 3 y 4 en función de su toxicidad a ordenes específicos de insectos. La proteína Cry1 es toxica para lepidópteros, Cry2 es toxicas para lepidópteros y dípteros, Cry3 con toxicidad para coleópteros y Cry4 para dípteros (OECD, 2007).

2.6. Importancia de los organismos que habitan en el suelo

Los organismos que habitan el suelo desempeñan papel importante ya que contribuyen al mejoramiento de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Su presencia o ausencia sirve como indicador de la calidad y salud del suelo (Coral, 1998).

Un suelo naturalmente sano y fértil es aquel en el que los organismos edáficos van liberando nutrientes inorgánicos, a partir de las reservas orgánicas, con velocidad suficiente para mantener un desarrollo y crecimiento rápido de las plantas (Wild, 1992).

Los cultivos genéticamente modificados se han investigado sobre los efectos en la estructura, función y diversidad microbiana del suelo y las comunidades de la rizosfera que tiene un papel clave en los entornos subterráneos, de acuerdo con Turrini *et al.* (2015), en cuanto a efectos directos e indirectos, las plantas han sido modificadas para expresar un gen de resistencia a fitopatógenos o fitoparásitos o una característica de beneficio para los consumidores y la industria de alimentos.

2.7. Aspectos generales de los organismos del suelo

Los organismos del suelo forman una comunidad organizada compuesta por productores, consumidores, depredadores y descomponedores de la materia orgánica. El crecimiento, la duración del ciclo de vida y la actividad que desarrollan estos organismos dependen del tipo de suelo, del alimento existente (materia orgánica) y de las condiciones climáticas (Schaller, 1968). La disponibilidad de alimento es el factor principal que va a determinar la abundancia de los organismos y por tanto su presencia en un determinado ecosistema.

Los artrópodos edáficos forman parte de las cadenas y redes tróficas que varían en complejidad, de acuerdo con las condiciones abióticas y bióticas del suelo, variaciones climáticas, estado de desarrollo y grado de alteración del ecosistema. Aunque algunos artrópodos del suelo participan como forrajeros, la mayor parte de ellos pertenecen a la cadena del ciclo de los detritívoros y están involucrados en la descomposición de la materia orgánica, en la regulación de las actividades microbianas y parcialmente, en los ciclos nutritivos (Coleman *et al.*, 2004; Wardle, 2002).

2.8. Grupos de macroorganismos en el suelo

2.8.1. Lombrices de tierra

Las lombrices de tierra se sientan en un grupo taxonómico llamado anélidos (Clase: Oligochaeta), o invertebrados segmentados (Haplotaxida: Lumbricidae). Se alimentan cerca de la superficie consumiendo únicamente residuos vegetales en ligero estado de descomposición, y otras se nutren de material orgánico descompuesto y distribuido en los horizontes minerales del suelo (IGAC, 1995).

Son importantes porque contribuyen a la formación de humus, ayudan a la incorporación de materia orgánica y sus excrementos mejoran las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo. Con su actividad aérea, estimulan la presencia y metabolismo de las poblaciones microbianas, lo que incrementa el nivel de nutrientes disponibles para las plantas (Gómez *et al.*, 2002).

2.8.2. Hormigas

Las hormigas, pertenecen al Phylum Arthropoda, son insectos del grupo de los himenópteros (Formicidae), su establecimiento en un sitio depende de la disponibilidad de alimento, contenido de humedad del suelo, naturaleza física del sustrato e intensidad del viento (Lobry & Conacher, 1990). Son insectos sociales muy activos, su presencia y actividad favorecen las características físicas y químicas del suelo, facilitando la entrada de agua y de aire en los poros mediante la construcción de galerías hasta seis metros bajo la superficie del suelo (IGAC, 1995)

2.8.3. Termitas

Son insectos sociales que presentan gran variedad de formas e integran parte de un grupo taxonómico al que pertenecen las cucarachas llamado Blattodea (Isoptera: Termopsidae). Se diferencian entre ellas por sus costumbres alimenticias y tipo de madriguera que construyen. Sus principales fuentes de alimento consisten en material vegetal vivo y/o muerto, restos orgánicos en diferentes estados de descomposición, estiércol, suelo, hongos cultivados y en algunas ocasiones líquenes (IGAC, 1995). Algunas especies que consumen madera viven en galerías excavadas en troncos o árboles caídos (Burges & Raw, 1971).

2.8.4. Colémbolos

Después de los ácaros, son los animales más abundantes del suelo, son un grupo de artrópodos hexápodos (Clase: Collembola). Se encuentran en la hojarasca, madera o sobre la vegetación. Las especies que habitan el suelo son consumidoras de materia orgánica, hongos, esporas de hongos, bacterias y estiércol (Borrer *et al.*, 1989).

Ayudan a la evolución de partículas orgánicas y facilitan el incremento y la distribución de los microorganismos. Tienen un papel importante en la comunidad de organismos del suelo, al servir como alimento de los depredadores (IGAC, 1995).

2.8.5. Larvas de moscas

Las moscas forman parte del grupo taxonómico Diptera, es uno de los órdenes de insectos más diversos y cumplen distintas funciones en los ecosistemas, proporcionando servicios conocidos como ecosistémicos. Los hay predadores, polinizadores, parasitoides, fitófagos, detritívoros, parásitos, hematófagos, saprófagos, fungívoros, entre otros.

Además de las características mencionadas, muchos dípteros son vectores de numerosas enfermedades: parasitarias, bacterianas y víricas, que pueden afectar tanto a personas como a animales. Por otro lado, algunos dípteros pueden ser utilizados como indicadores biológicos, brindando así, un gran respaldo a la medicina forense (Budai y Canepa, 2018).

Son un grupo de organismos considerado como indicador biológico, debido al lugar donde estos se establecen o el medio que se encuentren, la mayoría de las larvas de

dípteros son animales saprófagos por lo que su nutrición depende de los residuos de otros organismos o seres vivos, ya sean residuos vegetales o animales, se alimentan de cadáveres de animales fallecidos, de restos de hojas muertas o de heces, es decir que son necrófagas y coprófagas (Juste, 2018). Juegan un papel importante en la descomposición y reciclaje de la materia orgánica del suelo por su actividad; además, sus cuerpos son ricos en proteínas, materiales rápidamente degradables (IGAC, 1995).

2.9. Antecedentes y generalidades de los dípteros

El orden de insectos Diptera es uno de los más ricos en especies, contribuyendo de 10-15% de especies animales conocidas. Se estima que se han descrito unas 150,000 especies de dípteros (Akbarzadeh *et al.*, 2012). La alimentación de estos insectos, no solamente es variada entre las especies sino también entre los adultos y sus formas juveniles. Ciertos dípteros proporcionan beneficios a la humanidad por varias razones algunas especies son polinizadoras, otras atacan algunos insectos que son destructivos a ciertos cultivos o que afectan la salud, otras más conforman plagas frutícolas y agrícolas y al final, pero no menos importantes son las especies que degradan la materia orgánica, constituyéndose en limpiadores naturales (Méndez, 1999); algunas de las familias de dípteros revisten especial interés desde un punto de vista económico por su utilidad agrícola, veterinaria, médica o forense.

En el sentido agronómico, algunas tienen interés porque comprenden especies que constituyen plagas de los cultivos, o por formar parte de la fauna auxiliar que controlan las especies plaga, depredadoras o parasitoides (Vega-Barranco, 2003).

Los dípteros pueden ser fitófagos, carnívoros, parásitos, saprófagos o una combinación de estas formas de alimentación y comparativamente no constituyen un grupo muy dañino en la agricultura. En aquellas especies agrícolamente importantes

el causante del daño es la larva. Su desarrollo es holometábolo (con estados de huevo, larva, pupa y adulto) (Zaviezo *et al.*, 2003).

Los dípteros constituyen una parte importante de la biodiversidad, siendo uno de los grupos de organismos más diversos de la Tierra, debido no solo a su abundancia sino a que presentan una gran variedad de formas de vida. Dentro de los dípteros encontramos la subespecie Calytratae con el 12% de la diversidad de dípteros superiores, constituye una fracción muy importante de la biodiversidad de insectos (Kutty *et al.*, 2010).

Una gran parte de estos insectos presentan gran importancia económica, bien sea por su importante papel en la descomposición de la materia orgánica, por actuar como fauna útil en el control de plagas o por su papel como agentes polinizadores tanto en agrosistemas como hábitats naturales. Por otro lado, algunos grupos, especialmente aquellos con hábitos hematófagos, son importantes vectores de diversos agentes infecciosos en el ámbito médico veterinario (Borrer *et al.*, 1976).

2.9.1. Descripción de la Familia Sphaeroceridae

Los Sphaeroceridae son moscas acaliptradas que se caracterizan por el tamaño pequeño generalmente menor a 5.0 mm de longitud, cuerpo robusto de coloración negra a marrón y, principalmente, por el primer tarso de las patas posteriores más corto y grueso que los restantes. Pueden ser ápteros, alados o braquípteros. En las especies aladas, la venación es característica con dos quiebres costales y venas M y CuA1 con frecuencia no totalmente desarrolladas (Marshall & Buck, 2010).

Son cosmopolitas y presentes en una gran variedad de hábitats terrestres, algunos de ellos ligados a actividades humanas mientras que otros altamente especializados,

desarrollándose en nichos con condiciones extremas como capas profundas de detritos vegetales, madrigueras, nidos de vertebrados, algas en descomposición y en altas montañas con bajas temperaturas; llegando a tener una amplia tolerancia ecológica, además, cumplen un papel importante en la naturaleza como aceleradores del proceso de putrefacción y reciclaje de nutrientes (Roháček *et al.*, 2001); de allí su asociación con el proceso de descomposición cadavérica (Camacho, 2005; Martínez *et al.*, 2007; Arnaldos *et al.*, 2014), de estiércol, de hongos y de material vegetal (Bergeron *et al.*, 2015).

2.10. Descripción de la Familia Stratiomyidae

La familia Stratiomyidae incluye 12 subfamilias (Parhadrestriinae, Chiromyzinae, Beridinae, Sarginae, Raphiocerinae, Clitelariinae, Chrysochlorinae, Hermetiinae, Stratiomyinae, Antissinae, Nematelinae y Pachygastrinae) con más de 2 650 especies repartidas en 375 géneros (Woodley, 2001).

Las larvas son asociadas normalmente a materia orgánica vegetal o animal en descomposición (Pujol-Luz & Galinkin, 2004), presentan una gran diversidad de formas y tamaños, pudiendo ser terrestres, acuáticas o semiacuáticas, y diferenciándose por variaciones en la coloración y la quetotaxia (McFadden, 1967). *Hermetia illucens* es una especie de la Familia Stratiomyidae que puede ser identificada por la combinación de las siguientes características: cabeza comprimida cuyo largo supera su anchura, quetotaxia dorsal y ventral de la capsula cefálica, de los tres segmentos torácicos y de los ocho segmentos abdominales, presencia del parche esternal en el sexto segmento abdominal y morfología de los espiráculos anteriores y posteriores (Rozkošný, 1982).

2.11. Descripción de la Familia Sciaridae

Algunas especies son plagas en invernaderos donde se alimentan de plántulas y en cultivos de hongos. Mosquitas pequeñas, 3-17 mm de longitud. Cuerpo con una estructura uniforme, color mayormente negro. Los ojos se juntan arriba de las antenas formando un puente, ocelos presentes, antenas largas y delgadas, flagelo de 14 segmentos. Alas con una celda cerrada en la mitad basal, vena M bifurcada en forma de U y abarcando la mitad apical del ala. Tibias con una o dos espinas apicales. Generalmente las larvas se alimentan de materia vegetal en descomposición, habitan bajo la corteza y en suelos ricos en materia orgánica. Pocas especies se alimentan de tejido de plantas vivas, raíces y tallos; también se alimentan de hongos. Los adultos tienen vidas cortas y raramente se alimentan de néctar de flores u otras sustancias azucaradas (Zumbado & Azofeifa, 2018).

Se ha estudiado la acción beneficiosa de algunas especies de sciaridas. Así en el estudio realizado por Naito *et al.* (1988) en cultivo de caña de azúcar en Sapporo (Japón), reveló que las larvas de *Phyxia scabiei* (Hopkins) se alimentaban de los esclerocios de *Rhizoctonia solani* (Kuhn), agente causante de la destrucción radicular y posterior marchitamiento de las plantas. Demostrando así la labor de esta sciarida al reducir la densidad de esclerocio de *R. solani* en el suelo y los daños de este patógeno en la caña de azúcar.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

La ubicación del proyecto se estableció en el rancho el Rincón del Buitre de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro UAAAN, en la localidad El Retiro, municipio de San Pedro, en el Estado de Coahuila de Zaragoza, México. Se localiza en las coordenadas 25°49' 53.88" Latitud Norte y 103°07' 04.13" Longitud W, con una altitud de 1,103 m.



Figura 4. Localización del experimento en el rancho El Rincón del buitre.

3.2. Establecimiento del cultivo

La siembra se realizó en el ciclo primavera-verano en el 2018, el cultivo se estableció en el mes de mayo, fuera de las fechas de siembra permitidas por el Comité Estatal

de Sanidad Vegetal y por la NOM-026-FITO-1995¹; NOM-026-SAG/FITO-2014²; SENASICA, 2016), la fecha fue desplazada debido a que se necesitaba que no hubiera influencia del control de plagas en el resto de las parcelas de algodón en la región; no se aplicaron insecticidas al cultivo . El manejo de nutrición, riegos y control de maleza se siguió con base en lo recomendado por la región. Además que un técnico del Comité Estatal de Sanidad Vegetal en el estado de Coahuila (CESAVECO) perteneciente a la Junta Local de Sanidad Vegetal (JLSV) en la Región Lagunera de Coahuila³, dio seguimiento al experimento como apoyo en la supervisión del manejo del cultivo el Ing. Jaime Chávez Márquez.

Se estableció con un diseño experimental de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones y siete tratamientos, considerados éstos a los híbridos de algodón GM de las líneas FiberMax y DeltaPine, seis Bt (DP0912, DP1321, DP1558, FM2007, FM1830, FM2334) y uno con solo el gen de tolerancia a glifosato (DP1441) la cual se consideró como testigo. La separación entre tratamientos o calles del experimento fueron de 1.5 m y surcos de 6.0 metros de largo, cada tratamiento se sembró en tres surcos y como unidad experimental se consideró el surco central, para la colecta y toma de datos.

3.3. Muestreo de insectos

Las colectas de insectos se realizaron con trampas de intercepción o de caída (Pitfall), que son usadas para atrapar invertebrados marchantes o rastreros de la superficie del suelo, se estableció una trampa por unidad experimental en el centro del surco. Las trampas se diseñaron con ayuda de una botella cilíndrica con capacidad de 500 ml de plástico semirrígido y transparente, con medidas de 200 mm de diámetro, 90 mm de

¹ <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/fito/fito026.pdf>;

² <https://www.gob.mx/senasica/documentos/nom-026-fito-1995>

³ <https://www.cesaverecoahuila.org.mx/regin-lagunera>

boca y 145 mm de altura, a la cual se le cortó el cono y se colocó en forma invertida (Figura 5).

Se establecieron tres fechas de muestreo a partir de la etapa de floración y desarrollo de cápsulas: 28 de junio, 19 de julio, 04 de agosto del 2018, las trampas se recogieron cada 15 días y se cambiaban por una nueva con su respectiva etiqueta, se le colocó 30 mL de anticongelante y 15 mL de alcohol al 70%, para facilitar la conservación de los insectos en campo.



Figura 5. Trampa de intercepción o caída (Pitfall).

3.4. Conservación de insectos

Las trampas recolectadas se trasladaron a las instalaciones de la Departamento de Parasitología UAAAN en Saltillo, Coahuila, donde se limpiaron de impurezas y residuos inorgánicos, como material vegetal, reptiles y piedras; se separaron los insectos por trampa y se colocaron en frascos con alcohol al 70%.

3.5. Conteo, identificación de insectos y análisis de poblaciones

Los insectos fueron identificados por el personal del Departamento de Parasitología, con apoyo de expertos en identificación y de claves taxonómicas (Borror & White, 1970), por comparación en la página <https://bugguide.net/node/view/15740> del Departamento de Entomología de la Universidad Estatal de Iowa, EUA.

Posteriormente se contabilizaron por número de insectos (n = número de individuos), por Orden y Familia. Del total de insectos identificados, solo se seleccionaron los insectos del Orden Diptera, y se dio mayor importancia a los saprófagos. La abundancia de los insectos se consideró en su totalidad, por híbrido de algodón y muestreo, por lo que se realizaron graficas de fluctuación a través del tiempo del total de dípteros que interaccionaron en el cultivo y de las familias de importancia saprófaga.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Composición de la comunidad de dípteros en el cultivo de algodón

Los monitoreos de la entomofauna para el estudio de los dípteros saprófagos en el cultivo de algodón GM, se encontró una abundancia de 199 dípteros recolectados con una riqueza total de 18 familias, dentro de seis híbridos de algodón GM FiberMax, DeltaPine y un híbrido convencional

Las familias con más individuos fueron: Phoridae (n=62; 31.14%), seguido de Scaptocidae (n=44; 22.10%) y Muscidae (n=28;14.06%); mientras que las familias Calliphoridae, Dolichopodidae, Otitidae, Pinpunculidae y Sarcophagidae tuvieron el menor número de individuos (n=1; 0.50%) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición de la riqueza y abundancia de dípteros en el cultivo de algodón, para la región de San Pedro, Coahuila, México. Ciclo primavera-verano, 2018.

Orden	Familia	Abundancia		Muestreos		
		Individuos (n)	Porcentaje (%)	1	2	3
Diptera	Agromyzidae	4	2.00	1	1	2
	Calliphoridae	1	0.50	1	0	0
	Chloropidae	4	2.00	0	2	2
	Dolichopodidae	1	0.50	1	0	0
	Drosophilidae	11	5.51	0	0	11
	Ephydridae	2	1.00	1	0	1
	Heleomyzidae	4	2.01	4	0	0
	Muscidae	28	14.06	3	6	19
	Oestridae	2	1.00	0	0	2
	Otitidae	1	0.50	0	1	0
	Phoridae	62	31.14	26	33	3
	Pipunculidae	1	0.50	0	0	1
	Sarcophagidae	1	0.50	1	0	0
	Scaptopsidae	44	22.10	19	2	23
	Sciaridae	6	3.00	3	2	1
	Sphaeroceridae	13	6.52	9	4	0
	Stratomyidae	5	4.00	0	0	5
	Ulidiidae	9	4.50	1	0	8
Total:	18	199	100	70	51	78

En los resultados totales obtenidos de la riqueza y abundancia de dípteros en el cultivo de algodón GM, la composición de las familias recolectadas en las trampas de caída, con mayor porcentaje fue la Phoridae con (31.14%; Figura 6), comparado con lo encontrado en algunos estudios realizados en México con trampas NTP-80 (necrotrampa permanente, modelo 1980) enterradas en el suelo (Morón & Terrón, 1984; Deloya *et al.*, 1987), se menciona que la gran proporción de Phoridae en las necrotrampas también es un patrón recurrente en los estudios mencionados y en el realizado por Hernández-Ortiz y Dzul-Cauich (2008) al igual que en los estudios de Remedios *et al.*, (2012). Las larvas de esta familia se desarrollan típicamente en materia orgánica en descomposición, ya sea de origen animal o vegetal y algunas especies están estrechamente asociadas a cadáveres (Byrd & Castner, 2001; Battán-Horestein *et al.*, 2010).

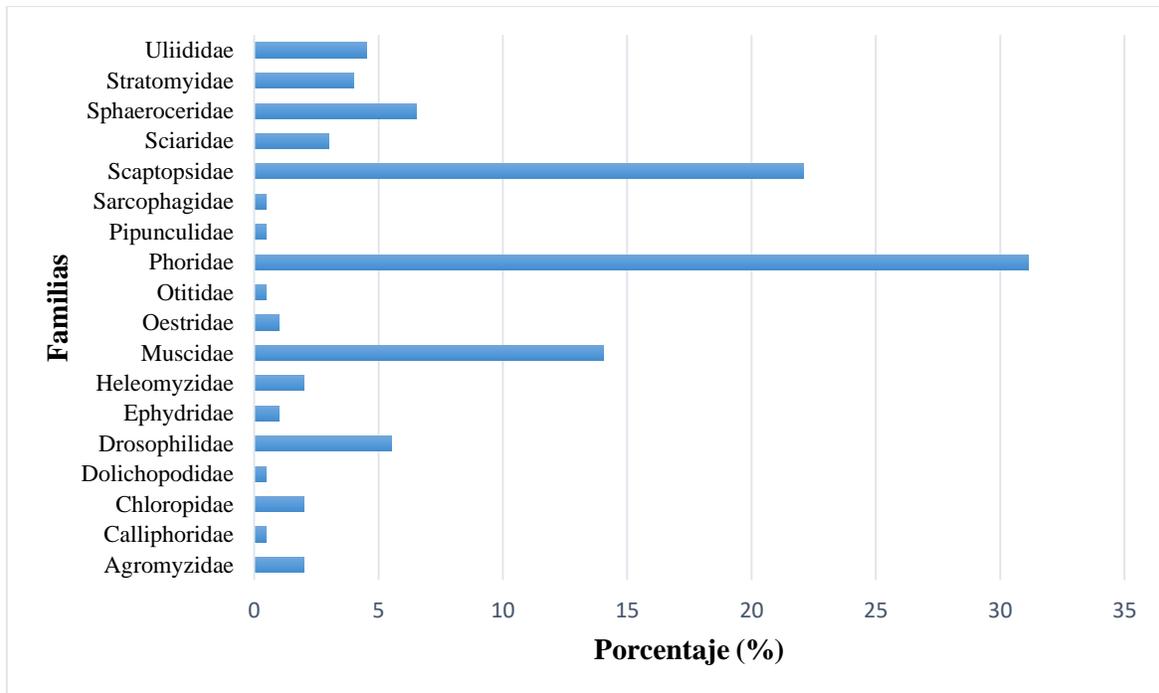


Figura 6. Representatividad de las familias de dípteros en porcentaje de individuos colectados.

Por otra parte, los dípteros *Calliphoridae* y *Sarcophagidae*, típicamente coprófagos y necrófagos, presentaron abundancias muy bajas al igual que los resultados de Remedios *et al.* (2012). Es probable que el método de captura empleado en este estudio, la trampa de caída no sea apropiado para evaluar esto tipo de dípteros, ya que permite fácilmente el escape de los individuos. El estudio realizado por Morón y Terrón (1984) con necrotrampas enterradas en el suelo también reveló bajas abundancias relativas de estas familias.

En el caso de las trampas de caída (Pitfall), es probable que el líquido que se colocó dentro de la trampa que fue anticongelante y alcohol al 70%, así como el tiempo en que duro la trampa en el campo, sumándole a esto las condiciones ambientales que se presentaron en la zona como temperatura y humedad relativa alta a causa de lluvias, probablemente causaron la descomposición de los insectos o materia orgánica de procedencia animal o vegetal que haya caído a las trampas y con ello pudo ser un

atrayente para los dípteros presentados en este estudio, más que por influencia de cultivo Bt.

Algunos estudios sobre coleópteros necrófagos han demostrado que trozos de animales en descomposición como hígado vacuno, vísceras de pollo o trozos de pescado, son menos atractivos para estos insectos, que las carcasas de cuerpos enteros (Ratcliffe 1996; Rintoul *et al.*, 2005); el mismo efecto podría ocurrir para los dípteros. De hecho, algunas especies de dípteros califóridos acuden a oviponer en mayor abundancia a grandes cadáveres que a carcasas de pequeños animales (Battán-Horenstein *et al.*, 2005, Battán-Horenstein *et al.*, 2007).

4.2. Dípteros en el cultivo de algodón

El análisis en cuanto a la abundancia de individuos por híbrido de algodón, generó que los valores más altos se presentaron en los materiales FM2007 y el DP0912 con un porcentaje de 23.62% y 22.11%, respectivamente, estos valores fueron más altos incluso que la media obtenida por todos los tratamientos ($n= 28.42$; 14.29%); mientras que los valores más bajos se encontraron en los híbridos DP1321 y FM2334 con un porcentaje de 9.55% y 6.03%, correspondientemente. Para el caso del testigo este presentó valores alrededor de la media con un porcentaje de 14.07% ($n=23$) (Cuadro 3), los valores obtenidos en abundancia, no presentaron diferencias estadísticas significativas.

Cuadro 3. Abundancia de dípteros monitoreada en híbridos de algodón GM.

Híbrido	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Total (n)	Porcentaje (%)
DP0912*	4	11	29	44	22.11
DP1321*	6	9	4	19	9.55
DP1558*	18	8	2	28	14.07
FM2007*	2	14	31	47	23.62
FM1830	9	4	8	21	10.55
FM2334	8	3	1	12	6.03
DP1441*	23	2	3	28	14.07
Total	70	51	78		
Porcentaje (%)	35.18	25.63	39.20	199	100

*Híbrido de algodón donde hubo presencia de dípteros saprófagos.

La mayor abundancia de insectos se colectó en el último muestreo con 39.20%, con respecto al resto de los muestreos, esto puede deberse a que el cultivo se encontraba ya maduro dentro de las últimas etapas de producción; es decir, probablemente mayor cantidad de materia orgánica acumulada en el estrato superior del suelo (Figura 7).

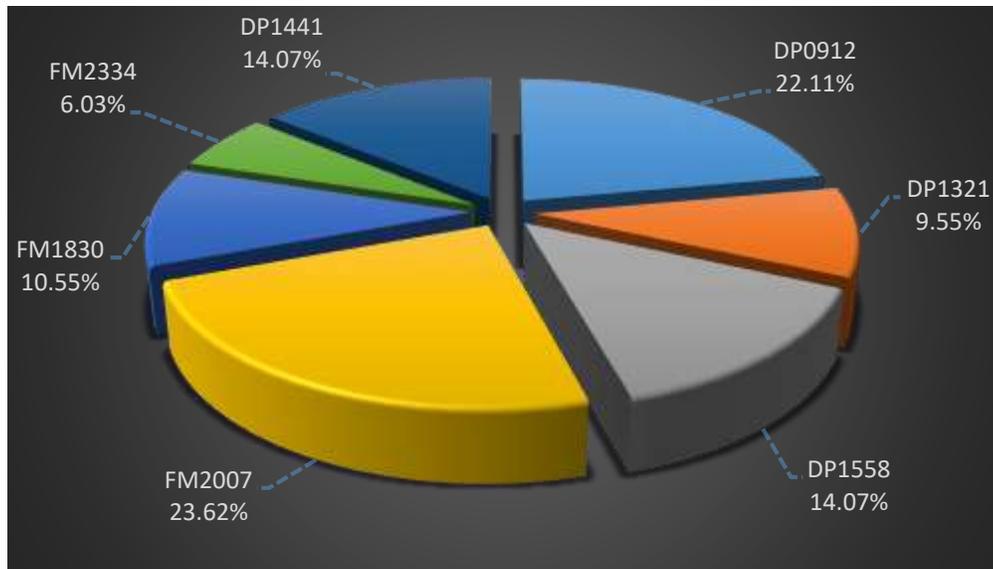


Figura 7. Porcentaje total de dípteros colectados por muestreo en siete híbridos de algodón Bt.

La riqueza de familias presentes en cada uno de los híbridos, tuvo la misma tendencia que los valores de abundancia, por lo que los híbridos FM2007 (61.1%), DP0912 (50%) y el testigo DP1441 (50%), presentaron los porcentajes más altos; en el caso del híbrido DP1558 éste obtuvo la menor riqueza de familias de dípteros (22.2%) esta variedad es nueva en la región, siendo esta la primera vez que se establece en el Rancho, por lo que el comportamiento muestreado de la entomofauna, probablemente se debe a que los organismos que interaccionan con el cultivo, no se encuentran adaptados a las características que este híbrido tiene en la zona.

En las variedades FM1830 y FM2334 se encontró una presencia similar de dípteros con un 33.3% (Cuadro 4), esto puede deberse a que son una variedad de algodón con la tecnología GLT es decir que contiene la inserción para la expresión de las proteínas Cry1Ab de la bacteria *B. thuringiensis* subsp. *berliner* y Cry2Ae de la subsp. *dakota*, respectivamente, así como la inserción para la expresión de PAT/bar derivado de la bacteria *Streptomyces hygroscopicus*. La combinación de estos eventos en el algodón GLT provee protección contra daños de insectos lepidópteros y tolerancia a los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio (Herrera, 2017).

Cuadro 4. Riqueza de familias de dípteros monitoreada en híbridos de algodón GM.

Hibrido	Riqueza de familias	Porcentaje* (%)
DP0912	9	50.0
DP1321	5	27.8
DP1441	9	50.0
DP1558	4	22.2
FM1830	6	33.3
FM2007	11	61.1
FM2334	6	33.3
Promedio	7.14	39.68

*El porcentaje se obtuvo con base en el total de familias presentes en todo el experimento (18)

En lo que respecta a la frecuencia en la que presentaron las familias en cada híbrido, se encontró que las familias Muscidae, Phoridae y Scaptocidae, fueron las que se presentaron con mayor frecuencia en los híbridos de algodón GM, sin embargo, en cada material la respuesta fue diferente para cada familia (Cuadro 5).

Cuadro 5. Frecuencia de la presencia de familias de dípteros en el cultivo de algodón GM.

Familia	Número de individuos	Frecuencia	Hábitos alimenticios	
			Larva	Adulto
Agromyzidae	3	0.03	Fitófagos	Polinizador
Calliphoridae	1	0.01	Necrofagos	Polinizador y carroñeros
Chloropidae	3	0.03	Fitófagos, parásitas, depredadores, saprófagos y cleptoparásitas	Polinizador
Dolichopodidae	1	0.01	Fitófagos	Predador
Drosophilidae	6	0.07	Carpófagos	Carpófagos
Ephydriidae	2	0.02	Depredadoras, Saprófaga y Fitófagos	Fitófagos (Algas filamentosas y diatomeas).
Heleomyzidae	1	0.01	Fungívora y Saprófagos	Fitófagos y Saprófagos
Muscidae	19	0.21	Saprófagos, Coprófagos, Depredadoras y Fitófagos.	Hematófagos, Carroñeros
Oestridae	2	0.02	Endoparásitos	Parásitos
Otitidae	2	0.02	Fitófagos	Fitófagos
Phoridae	23	0.25	Saprófagos, herbívoras, carroñeras, fungívoras, depredadoras, parásitas, kleptoparásitas y parasitoides.	Polinizador, Parasitoide
Pipunculidae	1	0.01	Fitófagos	Parasitoide
Sarcophagidae	3	0.03	Parásitos, coprófagos, necrófagos y predadores.	Parasitoide y Carroñeros
Scatopsidae	11	0.12	Fitófagos	Polinizadores y Hematófagos

Sciaridae	4	0.04	Saprófagas, Micófagosa y Fitófagas.	Polinizadores
Sphaeroceridae	5	0.05	Saprófagas, Fitófagos, Coprófagas y Carroñeros.	Coprófagas, Saprófagas y Carroñeros.
Stratomyidae	2	0.02	Saprófagas	Polinizadores
Ulidiidae	3	0.03	Saprófagas	Carroñeros y Fitófagos

Información relacionada al hábito alimenticio, con base en la revisión de varios autores: Zumbado & Azofeifa, 2018; Frana, 1998; Gómez-Gómez *et al.*, 2007; Disney, 1994.

En los híbridos DeltaPine que son GM con tecnología Bt, fue fácil apreciar que las familias predominantes, fueron: Phoridae y Muscidae, con mayor abundancia en cuanto al número de individuos (Figura 8); sin embargo esta misma tendencia no es posible apreciarla en el híbrido DP1441 (Figura 9), que fungió como testigo, es muy notorio observar que la familia Muscidae, no está representada, es decir, que no se monitorearon e identificaron individuos pertenecientes a esta familia, además en este material fue posible observar alta riqueza de familias comparada con DP1558 y DP1321, pero a diferencia de la DP0912 la distribución en cuanto a número de especímenes, fue más equitativa.

Estos resultados sugieren que puede existir alguna prevalencia de insectos dípteros con hábitos específicos en un tipo de híbrido con respecto a otro, se requieren estudios más detallados para determinar si la afinidad de estos insectos es a causa de las toxinas Cry contenidas en cada material.

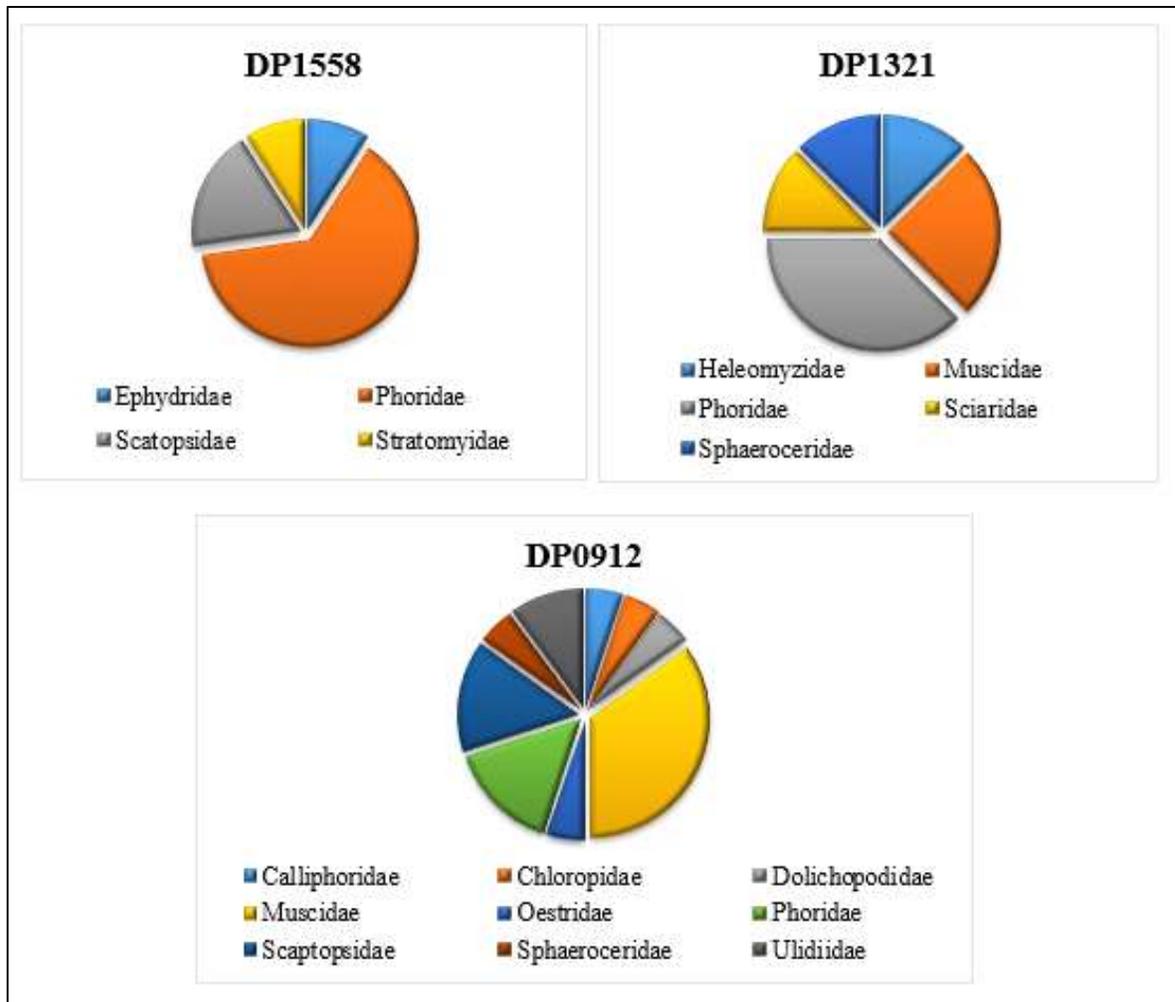


Figura 8. Riqueza y frecuencia de las familias de dípteros en los híbridos de algodón GM, de la línea comercial DeltaPine.

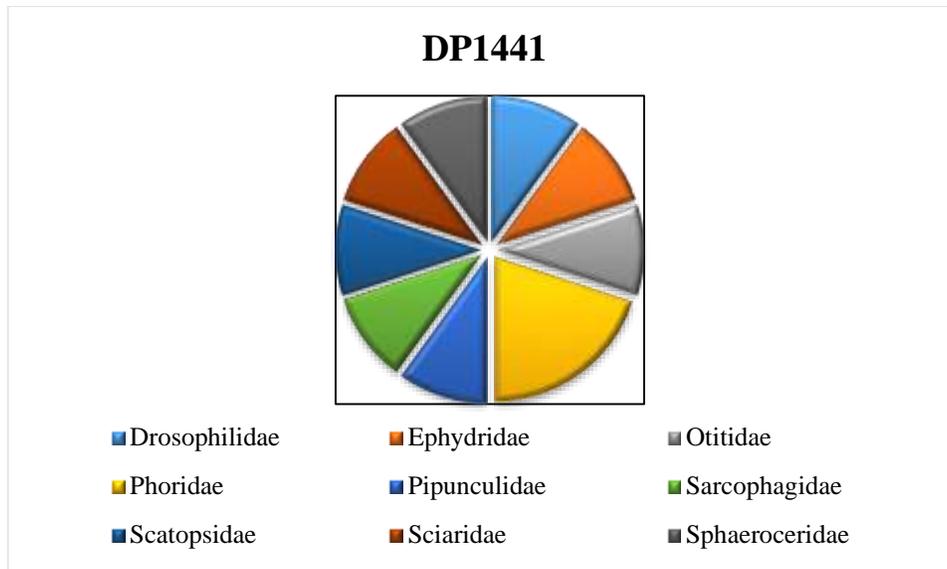


Figura 9. Riqueza y frecuencia de las familias de dípteros en el híbrido DP1441 de algodón GM con tolerancia a Glifosato de la línea comercial DeltaPine, considerado como testigo.

En cuanto a la presencia de las familias saprófagas de interés de este trabajo y que fueron encontradas en las variedades de la línea comercial FiberMax, se tiene que el híbrido FM2007, fue el que presentó las tres familias: Stratomyidae, Sphaeroceridae y Sciaridae; mientras que los que no presentaron ningún individuo de las tres familias fue el híbrido FM1830 (Figuras 10). Sin embargo, es notorio apreciar que hubo mayor diversidad de familias de dípteros en los materiales FiberMax, con respecto a los DeltaPine, probablemente afinidad, por las características agronómicas intrínsecas que poseen estos materiales de forma independiente.

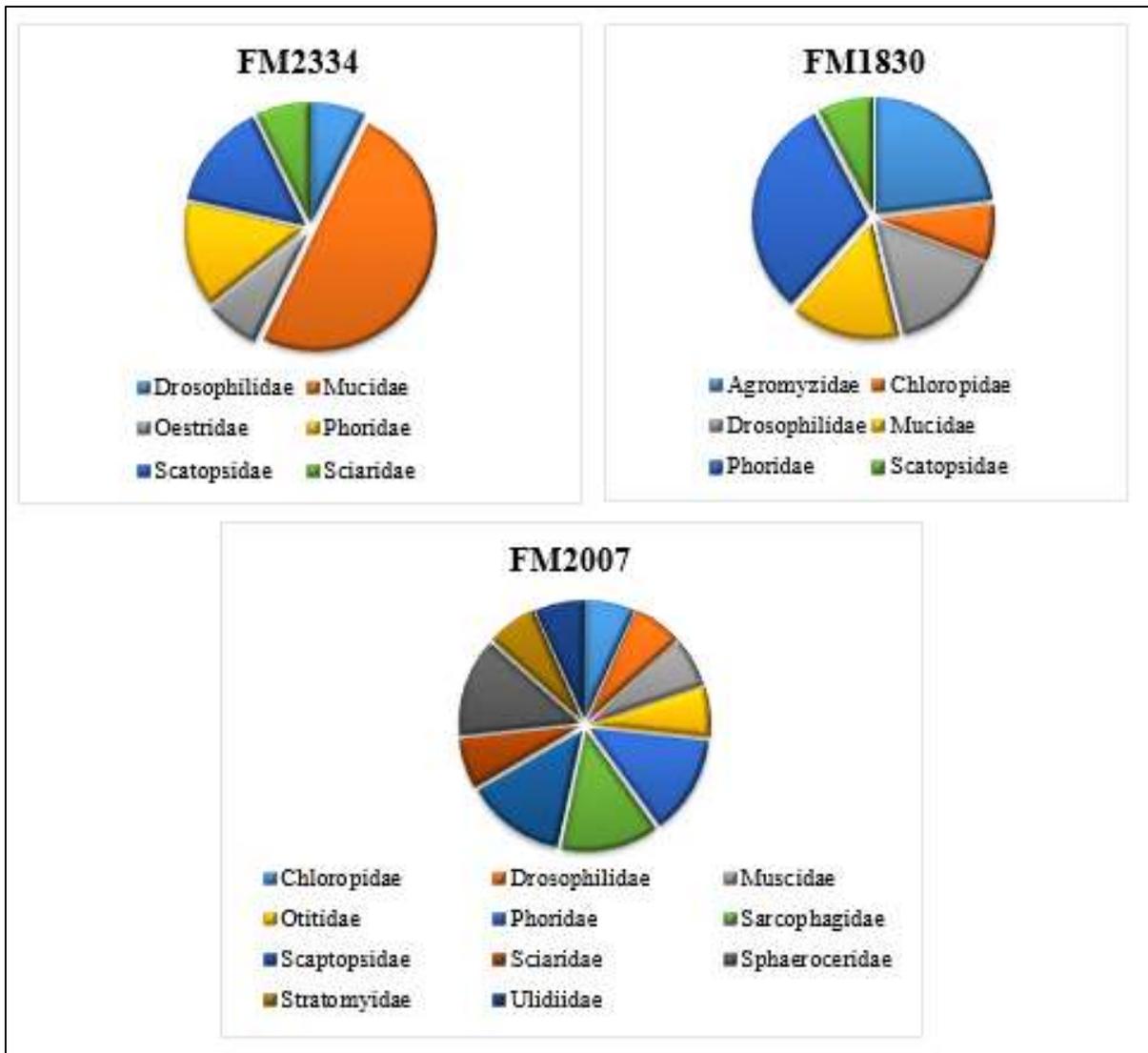


Figura 10. Riqueza y frecuencia de las familias de dípteros en los híbridos de algodón GM de la línea comercial FiberMax.

4.3. Importancia de dípteros saprófagos en el cultivo del algodón

Dentro de las familias de importancia saprófaga de los dípteros que se muestrearon en el cultivo de algodón GM, se encontró Sphaeroceridae, Stratomyidae y Sciaridae los objetivos de esta investigación están relacionados con la importancia de dichas familias debido a que son organismo que favorecen la estructura de los suelos agrícolas y resaltar la importancia de los saprófagos. El total de individuos encontrados

fueron 199 (Cuadro 2), de los cuales el 13.52% corresponde a estas tres familias; el híbrido en el que hubo mayor abundancia de este tipo de insectos y que presentó las tres familias fue el FM2007 (Cuadro 3 y Figura 10).

La abundancia y riqueza de especies de la comunidad de dípteros saprófagos estuvieron dominadas por la familia Sphaeroceridae (Figura 6), Carrejo y González (1992) mencionan que posiblemente es debido a que todas sus especies están asociadas a materia orgánica vegetal y animal en descomposición. Muñiz (2001) encontró en su investigación, que la Familia de Stratomyidae se relaciona con cadáveres, en este sentido, es necesario indicar que las trampas de caída (Pitfall) instaladas en el experimento de algodón permanecieron en campo durante 15 días, entre colecta y colecta, lo que pudo haber favorecido la atracción de estos insectos debido a la descomposición de algunos artrópodos o vertebrados pequeños como ranas o sapos que quedaron atrapados en dichas trampas.

Otros autores, como Hernández y Dzul (2008), han encontrado tres familias del orden Diptera capturadas en el suelo, particularmente representadas por Drosophilidae, Phoridae y Sphaeroceridae, las cuales incluyeron al 99.3% del total de capturas; las familias moderadamente representadas apenas constituyen el 0.6% Empididae, Muscidae, Sciaridae y Sarcophagidae; el porcentaje de individuos por familia observados en el presente estudio tiene la misma tendencia con los resultados ya mencionados siendo el 43.17% en las familias Drosophilidae, Phoridae y Sphaeroceridae y el 18.56% para los resultados presentados en las familias Empididae, Muscidae, Sciaridae y Sarcophagidae (Cuadro 2), lo cual indica que, tanto la época del año como los métodos de muestreo utilizados y las variedades de algodón Bt son determinantes para estimar la diversidad de dípteros en este tipo de estudios.

En la familia Muscidae encontramos un 14.06% total de captura siendo un valor moderadamente alto (Cuadro 2). De acuerdo con la evaluación cinética de los dípteros

como indicadores de la evolución del proceso de compostaje, Morales y Peláez (2010) encontraron que *Drosophila* sp. presenta un efecto trascendente sobre el proceso de compostaje de la materia orgánica en los suelos; de esta forma, se puede considerar a *Drosophila* sp. en estadio de larva, como indicador de la presencia de enterobacterias, que favorecen la descomposición.

Dada la importancia de la entomofauna necrófaga y en especial la coprófaga, se posee un gran interés ecológico y económico ya que, como se ha mencionado anteriormente, la acción de fragmentación y enterramiento de los restos orgánicos favorece el desarrollo de los microorganismos y de las hifas micelianas que participan en la desintegración de los mismos, según lo determinan Lussenhop *et al.* (1980); además se es necesario profundizar más en el estudio de estos insectos, sobre todo de órdenes y familias de forma específica y en interacciones con otros artrópodos u organismos, para tener un conocimiento cualitativo y cuantitativo de la riqueza de dípteros en algodón GM y su importancia como tal, cabe destacar que la descomposición de esta materia orgánica adquiere una especial relevancia en el ciclo de nutrientes, teniendo una acción directa en la fertilidad del suelo y considerar la permanencia y efectos de las toxinas Cry de Bt que pudieran llegar a persistir, a través del tiempo y espacio.

V. CONCLUSIONES

Se encontró que 18 familias del Orden Diptera interaccionan en el cultivo de algodón genéticamente modificado con una abundancia total de 199 individuos, siendo Phoridae la que presento mayor abundancia $n=62$; 31.14%, seguida de Scaptopocidae $n=44$; 22.10%) y Muscidae $n=28$;14.06%, estas tres familias presentaron también mayor frecuencia entre los híbridos de algodón GM.

La composición específica de las familias de importancia saprófaga que se encontraron fueron Sphaeroceridae, Stratomyidae y Sciaridae, hubieron: Chloropidae, Ephydriidae, Muscidae, Phoridae, Ulidiidae, Heleomyzidae Sphaeroceridae, siendo familias de gran importancia debido a que son organismo de interés ecológico y económico que favorecen la estructura de los suelos agrícolas y proporcionan servicios ecosistémicos.

El híbrido que presento mayor riqueza de familias y abundancia de insectos fue el FM2007 con 11 familias (61.1%,) y una abundancia del 23.62% ($n=47$) con respecto al resto de los híbridos, superior incluso al híbrido no Bt (DP1441, con 50% de riqueza en cuanto al número de familias y 14.07%, con respecto a la abundancia de individuos.

VI. LITERATURA CITADA

- Akbarzadeh, K., Rafinejad, J., Nozari, J., Rassi, Y., Sedaghat, M. M., & Hosseini, M. (2012). A modified trap for adult sampling of medically important flies (Insecta: Diptera). *Journal of arthropod-borne diseases*, 6(2), 119.
- Arnaldos, M. I., Ubero-Pascal, N., García, R., Carles-Tolrá, M., Presa, J. J., & García, M. D. (2014). The first report of *Telomerina flavipes* (Meigen, 1830) (Diptera, Sphaeroceridae) in a forensic case, with redescription of its pupa. *Forensic Science International*, 242, e22-e30.
- Balaraman, K. (2005). Occurrence and diversity of mosquitocidal strains of *Bacillus thuringiensis*. *Journal of vector borne diseases*, 42(3), 81.
- Barloy, F., Lecadet, M.M. & Delecluse, A., (1998). Distribution of clostridial cry-like genes among *Bacillus thuringiensis* and *Clostridium* strains. *Curret Microbiology*. 36, 232- 237.
- Barranco-Vega P. (2003), Dípteros de interés agronómico. Agromícidos plaga de cultivos hortícolas intensivos. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, nº 33 (2003): 293 – 307.
- Battán-Horenstein, M., A. X. Linhares, B. Rosso & M. D. García. (2010). Decomposition and dipteran succession in pig carrion in central Argentina: ecological aspects and their importance in forensic science. *Medical and Veterinary Entomology*, 24: 16-25.
- Battán-Horenstein, M., M. I. Arnaldós, B. Rosso & M. D. García. (2005). Estudio preliminar de la comunidad sarcosaprófaga en Córdoba (Argentina): aplicación a la entomología forense. *Anales de Biología*, 27: 191-201.
- Battán-Horestein, M., A. X. Linhares, B. Rosso & M. D. García. (2007). Species composition and seasonal succession of saprophagous calliphorids in a rural area of Córdoba, Argentina. *Biological Research*, 40: 163-171.
- Bergeron, M.; Marshall, S.; Swann, J. (2015). A review of the New World Coproica (Diptera: Sphaeroceridae) with a description of 8 new species. *Zootaxa* 3953 (1): 1-157.
- Borror, D. J. & White, R. E. (1970). Una guía de campo para los insectos: América al norte de México (Vol. 19). Houghton Mifflin Harcourt.
- Borror, D. J., D.M. DeLong, & C.A. Triplehorn. (1976). *Introduction to the study of insects* (4th ed.). Holt, Rinehart and Winston, New York.

- Borror, F.; Triplehorn, C. H. & Johnson, N. (1989). An introduction to the study of insect, Saunders College Publishing. Philadelphia. 875 p.
- Bravo, A., Gill, S. S. & Soberon, M. (2007). Modo de acción de las toxinas *Bacillus thuringiensis* Cry y Cyt y su potencial para el control de insectos. *Toxicon*, 49 (4), 423-435.
- Budai, N., & Canepa, M. E. (2018). Los dípteros: ¿Para qué estudiarlos, qué importancia tienen?
- Burges, A. & Raw, F. (1971). *Biología del Suelo*. Ediciones Omega, Barcelona. 576 p.
- Byrd J. H. & J. L. Castner. (2001). Insects of Forensic Importance, pp. 43-75. In: J. H. Byrd & J. L. Castner (Eds.). *Forensic Entomology: The utility of arthropods in legal investigations*. CRC Press, Boca Raton. Florida
- Camacho, G. (2005). Sucesión de la entomofauna cadavérica y ciclo vital de *Calliphora vicina* (Diptera: Calliphoridae) como primera especie colonizadora, utilizando cerdo blanco (*Sus scrofa*) en Bogotá. *Revista Colombiana de Entomología* 31 (2): 189-197
- Carrejo, N. & R. González (1992). *Introducción al conocimiento de los Diptera*. Universidad del Valle. Serie Investigaciones. Colombia. 197 pp.
- Cerón S., J. A.; Velásquez, L. F. & Rojas T., Danithza. (2017). Proteínas CRY con actividad tóxica hacia algunos insectos lepidópteros y coleópteros. *Revista Colombiana de Biotecnología*, pp 56-57. <https://www.redalyc.org/pdf/776/77653191011.pdf>
- Charles, J. F. & Nielsen-LeRoux, C., (2000). Mosquitocidal bacterial toxins: diversity, mode of action and resistance phenomena. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 95, 201-206.
- CIBIOGEM. (2019). Repositorio de información científica sobre proteínas Bt en cultivos. junio 29, 2019, de gob.mx Sitio web: conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/sistema-nacional-de-informacion/documentos-y-actividades-en-bioseguridad/repositorio-proteina-bt
- Clunes, J.; Navarro, J. & Pinochet, D. (2014). Variación temporal del contenido de materia orgánica en dos suelos volcánicos bajo diferentes manejos agrícolas. *Independencia Valdivia, Chile. Revista Agro Sur*. 42 (3).
- Coleman, D. C., Mac Callaham D. & Crossley, Jr., (2004). *Fundamentals of Soil Ecology* 2nd ed. USA: Elsevier Academic Press.
- Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato, A. C. (2002). Informe técnico de los resultados obtenidos en las campañas fitosanitarias. Guanajuato, México, s/p.

- Coral, D. M. (1998). Impacto de las prácticas agrícolas sobre la macrofauna del suelo en la cuenca alta del lago Guamués, Pasto, Colombia. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. 73 p.
- Daniel Pinos D. & Patricia Hernández P. (2019). Modo de acción de las proteínas insecticidas de *Bacillus thuringiensis*. 26-11-2019, de higieneambiental.com
Sitio web: <https://higieneambiental.com/productos-biocidas-y-equipos/modo-de-accion-del-insecticida-biologico-bacillus-thuringiensis>
- de Barjac, H., Sebald, M., Charles, J. F., Cheong, W. H., & Lee, H. L., (1990). *Clostridium bifermentans* serovar malaysia, a new anaerobic bacterium pathogen to mosquito and blackfly larvae. Comptes rendus de l'Academie des sciences. Serie III, 310: 383-387.
- De la Rosa, D. (2013). Una agricultura a la medida de cada suelo: desde el conocimiento científico y la experiencia práctica a los sistemas de ayuda a la decisión. Acto de recepción como Académico Numerario.
- Deloya, C., G. Ruiz-Lizarraga & M. A. Morón. (1987). Análisis de la entomofauna necrófila en la región de Jojutla, Morelos, México. Folia Entomológica Mexicana, 73: 157-171
- Disney, R. H. L. (1994) Scuttle Flies: The Phoridae. Chapman & Hall, London.467pp
- Eijsackers, H. (1994). Ecotoxicology of soil organisms: Seeking the way in a pitch dark labyrinth. Ecotoxicology of Soil Organisms, 3.
- Eisenbeis, G., & Wichard, R. (1987). Ant lions (Myrmeleonidae). Atlas on the biology of soil arthropods. Springer, Berlin, 278-283.
- Federici, B. A., Park, H. W., Bideshi, D. K., Wirth, M. C. & Johnson, J. J., (2003). Recombinant bacteria for mosquito control. Journal of Experimental Biology, 206: 3877-3885.
- Frana, J. (1998). Relevamiento de artrópodos presentes en un cultivo de maíz en siembra convencional y con riego suplementario. INTA EEA Rafaela. Informe Técnico 228.
- Gamiño, M. D. L. R., & Blanco, J. L. (2006). Caracterización de unidades biofísicas a partir de indicadores ambientales en Milpa Alta, Centro de México. Investigaciones Geográficas (Mx), (60), 46-61.
- Gill, S. S., Hornung, J. M., Ibarra, J. E., Singh, G. J. & Federici, B. A., (1987). Cytolytic activity and immunological similarity of the *Bacillus thuringiensis* subsp. israelensis and *Bacillus thuringiensis* subsp. morrisoni isolate PG-14 toxins. Applied and environmental microbiology. 53: 1251-1256.

- Goldberg L. J. & J. Margalit. (1977). A Bacterial Spore Demonstrating Rapid Larvicidal Activity Against *Anopheles sergentii*, *Uranotaenia unguiculata*, *Culex univittatus*, *Aedes aegypti* and *Culex pipiens*, *Mosquito News* 37:355-358.
- Gómez, E. D.; Gómez, J.; Sánchez de P, M; Rranda, J. Cc. & Bonilla, G. R. (2002). El suelo: Lombricompostaje, establecimiento y derivados. Cuadernos ambientales No. 4. Universidad Nacional de Colombia 'Sede Palmira. 20 p.
- Gómez-Gómez, A., Martín-Vega, D., Botías-Talamantes, C., Baz-Ramos, A., & Díaz-Aranda, L. M. (2007). La Entomología Forense en España: pasado, presente y perspectivas de futuro. *Cuadernos de medicina forense*, (47), 21-31.
- Güerchicoff, A., Delecluse, A. & Rubinstein, C. P. (2001). The *Bacillus thuringiensis* cyt genes for hemolytic endotoxins constitute a gene family. *Applied and environmental microbiology*, 67: 1090-1096.
- Gus, J., Ye, R., Xu, Y., Yin, Y., Li, S., & Chen, H. (2021). A historical overview of analysis systems for *Bacillus thuringiensis* (Bt) Cry proteins. *Microchemical Journal*, 106137.
- Gutiérrez, F., Ruiz, R., & Xoconostle, B. (2015). Estado actual de los cultivos genéticamente modificados en México y su contexto internacional. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, Centro de investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Recuperado en, 29.
- Halford, N. G. & Shewry, P. R. (2000). Cultivos modificados genéticamente: metodología, beneficios, regulación y preocupaciones públicas. *British Medical Bulletin*, 56 (1): 62-73.
- Hanski, I. (1987). Nutritional ecology of dung-and carrion-feeding insects. Nutritional ecology of insects, mites, spiders, and related invertebrates 837– 884. *EnIn*: F. Slansky & J. G. Rodriguez (eds.), Nutritional ecology of insects, mites, spiders, and related invertebrates. JohnWiley & Sons, USA.
- Head, G., Surber, J. B.; Watson, J. A.; Martin, J. W. & Duan, J. J. (2002). No Detection of Cry1Ac Protein in Soil After Multiple Years of Transgenic Bt Cotton (Bollgard) Use. *Environmental Entomology*, 31: 30-36.
- Herman, R. A.; Evans, S. L.; Shanahan, D. M.; Mihaliak, C. A.; Bormett, G. A.; Young, D. L. & Bueher, J. (2001). Rapid degradation of Cry1F delta-endotoxin in soil. *Environmental Entomology*, 30: 642-644.
- Hernández-Ortiz, V. & J. F. Dzul-Cauich. (2008). Moscas (Insecta: Diptera), pp: 95-105. In: R. H. Manson, V. Hernández-Ortiz, S. Gallina & K. Mehlrether (Eds.). Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz: biodiversidad, manejo y conservación. Instituto de Ecología, A.C. (INECOL) e Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), México. 95-105.

- Herrera, J.L. (2017). Agenda Técnica Agrícola de Baja California (Algodón). Campo Experimental Valle de Mexicali. Centro de Investigación Regional Noroeste. SAGARPA-INIFAP.
- Hinrich L. Bohn.; Brian. Lester McNealN.; George. A. O'Connor & Mario. Sánchez Orozco. (1993). Química de Suelos. México: Limusa.
- Hwang, S. H., Saitoh, H., Mizuki, E., Higuchi, K., & Ohba, M., (1998). A novel class of mosquitocidal delta-endotoxin, Cry19B, encoded by a *Bacillus thuringiensis* serovar higo gene. Systematic and applied microbiology, 21: 179-184.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 1995. Suelos de Colombia. Origen, evolución, clasificación "distribución y uso. Santafé de Bogotá. 632 p.
- Irene J., I. (2018). La importancia de las moscas. Consultado el 30 de junio del 2019. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/la-importancia-de-las-moscas-155.html>
- ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications). (2017). La adopción de cultivos modificados mediante biotecnología genera más sostenibilidad y oportunidades socioeconómicas para los agricultores y ciudadanos de todo el mundo. <https://www.isaaa.org/>
- Ito, T., Bando, H. & Asano, S. (2006a). Activation process of the mosquitocidal deltaendotoxin Cry39A produced by *Bacillus thuringiensis* subsp. aizawai BUN1-14 and binding property to *Anopheles stephensi* BBMV. Journal of invertebrate pathology, 93: 29-35.
- Ito, T., Ikeya, T., Sahara, K., Bando, H. & Asano, S. (2006b). Cloning and expression of two crystal protein genes, cry30Ba1 and cry44Aa1, obtained from a highly mosquitocidal strain, *Bacillus thuringiensis* subsp. entomocidus INA288. Applied and environmental microbiology. 72: 5673-5676.
- Jaramillo, D. F. (2002). Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia.
- Kitching R. L., D. Bickel & S. Boulter. (2005). Guild analyses of Dipteran assemblages: a rationale and investigation of seasonality and stratification in selected rainforest faunas, pp. 388–415. En: Yeates, D. K., B. M. Wiegmann (eds.) The evolutionary biology of flies. Columbia University Press, New York.
- Kutty, N. S., T. Pape, B. M. Wiegmann & R. Meier. (2010). Molecular phylogeny of the Calyptratae (Diptera: Cyclorrhapha) with an emphasis on the superfamily Oestroidea and the position of Mystacinobiidae and McAlpine's fly. Systematic Entomology 35: 614 – 635.

- Lobry de Bruyn., L. and Conacher A. (1990). The role of termites and ants in soil modification: a review. *Australian Journal Soil Research*. 28: 55-93.
- Lussenhop, J., Kumar, R., Wiclow, D. T. & Elloyd. J. E. (1980). Insect effects on bacteria and fungi in cattle dung. *Oikos* 34: 54-58
- Margarit, E., Reggiardo, M. I., & Permingeat, H. R. (2008). Bt protein rhizosecreted from transgenic maize does not accumulate in soil. *Electronic Journal of Biotechnology*, 11(2), 20-29.
- Marshall, S. A. & Buck, M. (2010). Sphaeroceridae (small dung flies). pp. 1165-1187. En: Brown, B.V.; Borkent, A.; Cumming, J. M.; Wood, D. M.; Woodley, N. E.; Zumbado, M. (Eds.). *Manual of Central America Diptera, Volume 2*. NRC Research Press. 728 p.
- Martínez, E., Duque, P., & Wolff, M. (2007). Succession pattern of carrion-feeding insects in Paramo, Colombia. *Forensic Science International*, 166(2-3), 182-189.
- McFadden, M. W. (1967). Soldier fly larvae in America North of Mexico. *Proceedings of the United States National Museum*. 121(3569):1-72.
- Méndez E. (1999). *Insectos y otros artrópodos de importancia médica y veterinaria*. Instituto conmemorativo gorgas de estudios de la salud. Panamá: 24 pp.
- Mercola, J. (2013). Los Cultivos Transgénicos y las Prácticas Agrícolas Insostenibles Están Destruyendo el Suelo del Planeta y el Suministro Alimenticio. 30 de junio del 2019, de MERCOLA Tome Control de su Salud Sitio web: <https://espanol.mercola.com/boletin-de-salud/cultivos-transgenicos-afectan-la-fertilidad-del-suelo.aspx>
- Morales M., G. E., & Peláez Jaramillo, C. A. (2010). Kinetic evaluation of diptera as indicators of the evolution of composting process. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17), 13-28.
- Morón, M. A. & R. Terrón. (1984). Distribución altitudinal y estacional de los insectos necrófilos en la Sierra Norte de Hidalgo, México. *Acta Zoológica Mexicana* (n.s.), 3: 1-47.
- Muñiz V., R. (2001). Restos de insectos antiguos recuperados en la cueva " La Chagüera" del Estado de Morelos, México. *Acta zoológica mexicana*, (83), 115-125.
- Naito, S., Makino, S., & Sugimoto, T. (1988). *Pnyxia scabiei* (Hopkins) feeding on sclerotia of *Rhizoctonia solani* Kühn and its population changes in sugarbeet root rot field. *Japanese Journal of Phytopathology*, 54(1), 52-59.

- OECD (2007), "Consensus Document on Safety Information on Transgenic Plants Expressing *Bacillus thuringiensis* - Derived Insect Control Protein", OECD Papers, Vol. 7/11. DOI: http://dx.doi.org/10.1787/oecd_papers-v7-art35-en
- Ohgushi, A., Wasano, N., Shisa, N., Saitoh, H., Mizuki, E., Maeda, M. & Ohba, M., (2003). Characterization of a mosquitocidal *Bacillus thuringiensis* serovar sotto strain isolated from Okinawa, Japan. *Journal of applied microbiology*, 95: 982-989.
- Orduz, S., Rojas, W., Correa, M. M., Montoya, A. E. & de Barjac, H., (1992). A new serotype of *Bacillus thuringiensis* from Colombia toxic to mosquito larvae. *Journal of Invertebrate Pathology*, 59: 99-103.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Ecología y Enseñanza Rural, Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas 1996. Citado en: <http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s00.htm#TopOfPage> (28-06-2019).
- Orlova, M. V., Smirnova, T. A., Ganushkina, L. A., Yacubovich, V. Y., & Azizbekian, R. R. (1998). Insecticidal activity of *Bacillus laterosporus*. *Applied and Environmental Microbiology*, 64, 2723-2725.
- Porcar, M. M., & Juarez, V. (2004). Aislamiento y establecimiento de una colección de *Bacillus thuringiensis*. Capítulo 6. Bravo, A. y J. Cerón. (eds.). *Bacillus thuringiensis* en el control biológico. Universidad Nacional de Colombia, Ed. Buena Semilla, Bogotá, 151-176.
- Portela-Dussán, D. D., Chaparro-Giraldo, A. & López-Pazos, S. A. (2013). *Bacillus thuringiensis* biotecnología en la agricultura. *Novaa* , 11 (20),: 87-96.
- Pujol-Luz, J. R. & Galinkin, J. (2004). Um novo gênero de Pachygastrinae (Diptera: Stratiomyidae) do Brasil. *Neotropical Entomology*, 33:35-38.
- Ragni, A., Thiery, I., & Delecluse, A., (1996). Characterization of six highly mosquitocidal *Bacillus thuringiensis* strains that do not belong to H-14 serotype. *Current microbiology*, 32: 48-54.
- Raney, T. (2004). El estado mundial de la agricultura y la alimentación.
- Raney, T. (2004). El estado mundial de la agricultura y la alimentación.
- Ratcliffe, B. C. (1996). The carrion beetles (Coleoptera: Silphidae) of Nebraska. *University of Nebraska State Museum Bulletin* 13: 100 pp
- Remedios, M., Martínez, M., & González-Vainer, P. (2012). Estudio preliminar de los dípteros asociados a cebos de estiércol y carroña en un bosque serrano de Sierra de Minas, Uruguay. *Acta zoológica mexicana*, 28(2): 378-390.

- Rintoul, D. A., L. M. Krueger, C. Woodard & J. E. Throne. (2005). Carrion Beetles (Coleoptera: Silphidae) of the Konza Prairie Biological Station. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 78: 124-133.
- Rioja, M. (2007). Anexo a estudio climático. (En línea). ES. Consultado el 12 de oct. 2015. Formato PDF. <https://upcommons.upc>.
- Roh, J. Y., Liu, Q., Lee, D. W., Tao, X., Wang, Y., Shim, H. J., Choi, J. Y., Seo, J. B., Ohba, M., Mizuki, E., & Je, Y. H., (2009). *Bacillus thuringiensis* serovar mogi (flagellar serotype 3a3b3d), a novel serogroup with a mosquitocidal activity. *Journal of invertebrate pathology*, 102, 266-268.
- Roháček, J.; Marshall, S. A.; Norrbom, A. L.; Buck, M.; Quiros, D. I.; Smith, I. (2001). World catalog of Sphaeroceridae (Diptera) Slezské zemské muzeum, Opava. 414 p.
- Rozkošný, R. (1982). A biosystematic study of the European Stratiomyidae (Diptera). Vol. 1. The Hague, Boston, London: Dr. W. Junk. Ed. I-VIII, 1- 401.
- Ruiz, I., Ibañez, I., Carnero, A., & Caballero, P. (2004). Aislamiento y caracterización de nuevas cepas de *Bacillus thuringiensis* procedentes de muestras de tierra de Canarias. *Bol. San. Veg. Plagas*, 30: 703-712.
- Saitoh, H., Hwang, S. H., Park, Y. S., Higuchi, K., Mizuki, E., & Ohba, M., (2000). Cloning and characterization of a *Bacillus thuringiensis* serovar higo gene encoding a novel class of the delta-endotoxin protein, Cry27A, specifically active on the *Anopheles* mosquito. *Systematic and applied microbiology*, 23(1), 25-30.
- Saitoh, H., Hwang, S. H., Park, Y. S., Higuchi, K., Mizuki, E., & Ohba, M. (2000). Cloning and characterization of a *Bacillus thuringiensis* serovar higo gene encoding a novel class of the delta-endotoxin protein, Cry27A, specifically active on the *Anopheles* mosquito. *Systematic and applied microbiology*, 23(1), 25-30.
- Saxena, D., & Stotzky, G. (2001). *Bacillus thuringiensis* (Bt) toxin released from root exudates and biomass of Bt corn has no apparent effect on earthworms, nematodes, protozoa, bacteria, and fungi in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(9), 1225-1230.
- Saxena, D.; Flores, S. & Stotzky, G. (2002). Vertical movement in soil of insecticidal Cry1Ab protein from *Bacillus thuringiensis*. *Soil Biology and Biochemistry*, 34: 111-120.
- Schaller, F. (1968). *Animales del suelo* (Vol. 144). Annual Arbor: Prensa de la Universidad de Michigan.
- Seleena, P., Lee, H. L. & Lecadet, M. M., (1995). A new serovar of *Bacillus thuringiensis* possessing 28a28c flagellar antigenic structure: *Bacillus thuringiensis* serovar

- jegathesan, selectively toxic against mosquito larvae. Journal of the American Mosquito Control Association, 11: 471-473.
- Serrano, R. E. (2016). La Agricultura de Conservación, herramienta para potenciar el papel del suelo como sumidero de CO₂ atmosférico y defender a los suelos agrícolas de la erosión. Agricultura de conservación: AC, (33): 90-97.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). (2016). Programa de trabajo contra plagas reglamentadas del algodónero a operar con recursos del componente de sanidad vegetal del programa de sanidad e inocuidad agroalimentaria 2016 en el estado de Coahuila. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177277/PT_PR_Algodonero_Coahuila_2016.pdf.
- SIAP (2017). Anuario estadístico de producción. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/agricultura/>
- Silva, S. & Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la normativa y posibilidades de la regulación económica. Semestre económico 12 (23): 13 – 34.
- Sims, S. R. & Berberich, S. A. (1996). *Bacillus thuringiensis* Cry1A protein levels in raw and processed seed of transgenic cotton: Determination using insect bioassay and ELISA. Journal of economic entomology, 89: 247-251.
- Singer, S., (1974). Entomogenous bacilli against mosquito larvae. Developments in industrial Microbiology, 15: 187-194.
- Tarback, E. & F. Lutgens. (1999). Ciencias de la tierra: Una introducción a la Geología Física. 6ª. Ed. Prentice Hall Iberia S. R. L. Madrid. 572 p
- Traxler, G., Godoy-Ávila, S., Falck-Zepeda, J. y Espinoza-Arellano, J. (2003). Transgenic cotton in México: economic and environmental impacts.
- Tsatsakis, A. M., Nawaz, M. A., Kouretas, D., Balias, G., Savolainen, K., Tutelyan, V. A., ... & Chung, G. (2017). Environmental impacts of genetically modified plants: a review. Environmental research, 156, 818-833.
- Villarreal, J. Name., & B. Garcia, R. (2012). Monitoreo de cambios en la fertilidad de suelos por medio de análisis de laboratorio. Alajuela-Costa Rica. Vol. 23. Consultado el 12 de octubre. 2015. Formato PDF. Disponible en: <http://www.redalyc.org>.
- Walker, T. S.; Bais, H. P.; Grotewold, E. & Vivanco, J. M. (2003). Root exudation and rhizosphere biology. Plant physiology, 132: 44-51

- Wardle, D. A. (2002). Communities and ecosystems: linking the aboveground and belowground components (Vol. 34). Princeton University Press.
- Wichard, W. (1987). Atlas on the Biology of Soil Arthropods. Springer.
- Wild, A. (1992). Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Versión Española de P. Urbano Terrón y C. Rojo Fernández. Mundi-Madrid. España, 1045p.
- Woodley, N. E., & Thompson, F. C. (2001). A world catalog of the Stratiomyidae (Insecta: Diptera) (Vol. 11). North American Dipterists' Society.
- Yu, Y.M., Ohba, M. & Gill, S.S., (1991). Characterization of mosquitocidal activity of *Bacillus thuringiensis* subsp. fukuokaensis crystal proteins. Applied and Environmental Microbiology Journal. 57, 1075-1081.
- Zaviezo T.; Ramírez P. R.; Püschel O. J. & Pacheco S. R. (2003). Morfología e identificación de insectos. Disponible en: http://www7.uc.cl/sw_educ/agronomia/insectos/html/frauto.html
- Zumbado, M. A. & Azofeifa, D. (2018). Insectos de Importancia Agrícola. Guía Básica de Entomología. Heredia, Costa Rica. Programa Nacional de Agricultura Orgánica (PNAO). 106-204 pp.
- Zwahlen, C.; Hilbeck, A.; Gugerli, P. & Nentwig, W. (2003). Degradation of the Cry1Ab protein within transgenic *Bacillus thuringiensis* corn tissue in the field. Molecular Ecology, 12: 765775.