

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA



Diversidad y Composición de Artrópodos Insectos Asociados a Variedades FiberMax de Algodón Genéticamente Modificado con las Toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis*.

Por:

VALENTÍN HERNÁNDEZ FIGUEROA

TESIS

Presentando por como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo, 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA

Diversidad y Composición de Artrópodos Insectos Asociados a Variedades FiberMax de Algodón Genéticamente Modificado con las Toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis*.

Por:

VALENTÍN HERNÁNDEZ FIGUEROA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO PARASITÓLOGO

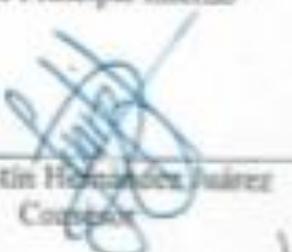
Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe
Asesor Principal Interno



Dra. Miriam Sánchez Vega
Asesor Principal Externo



Dr. Agustín Hernández Juárez
Coasesor



Dr. Mariano Flores Dávila
Coasesor



Dr. Gabriel Ortega Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.

Mayo, 2019

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, *a Dios* por permitirme la vida y oportunidad de cumplir esta gran etapa de mi vida, por iluminarme en el camino correcto; además, de impulsarme en seguir siempre adelante y fortalecer mi voluntad para cumplir mis sueños.

A mis padres por su gran apoyo incondicional y dedicación que me brindaron siempre como los padres más maravillosos, por sus desvelos de cada día, sus preocupaciones de mi bienestar, sus esfuerzos, sus consejos, y valores que me inculcaron.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro mi “*Alma mater*” por brindarme la gran oportunidad de ingresar ya que es una gran institución, por las grandes personas que conocí en ella, por prepararme como un profesional y darme las bases necesarias para enfrentar problemas en el ámbito laboral.

Al Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 105 por darme las bases y conocimientos sobre agronomía y por hacerme ver lo bonito que es el poder trabajar en el campo mexicano y ayudarme a elegir mi carrera universitaria.

A la Dra. Miriam Sánchez Vega por otorgarme su valioso apoyo, por brindarme sus conocimientos y formar parte de este trabajo, por su paciencia y dedicación para esta investigación, sus buenos consejos y por darme ánimos de seguir siempre adelante.

Al Dr. Luis Alberto Aguirre Uribe por concederme el honor de ser el asesor principal y formar parte del presente trabajo.

A mis tías: María del Rayo Hernández, Mireya Hernández, Virginia Hernández por motivarme siempre en seguir adelante independientemente de todas las adversidades; además, de todos sus grandes consejos, sus oraciones, toda su atención, por sus oraciones.

A mis abuelos: por sus grandes consejos, que me motivaron plenamente en seguir luchando por realizar mi proyecto de vida, por su compañía en cada momento, sus buenos deseos y oraciones.

A Olga Karina García García mi *novia* por inspirarme e impulsarme a siempre dar lo mejor de mí en cada momento, por estar conmigo en toda situación, su confianza, por motivarme a cumplir todas mis metas y por brindarme su apoyo incondicional como pareja.

DEDICATORIA

A *Díos* por siempre estar presente en mi vida, iluminando mi camino, dándome la paciencia y las fuerzas para seguir adelante cumpliendo mis metas y propósitos.

A mis padres:

Juan Manuel Hernández Bonilla

y

Josefina Figueroa Hernández

Por haberme dado la gran oportunidad de existir, porque hacen que todo sea posible, por su gran amor que siempre me brindaron, su apoyo incondicional, paciencia, tolerancia y disponibilidad, por acompañarme en este gran camino y por todo su gran esfuerzo para hacerme una persona de bien y sé que seguirán apoyándome. Gracias por todo, los amo.

A mi hermano Juan José Hernández Figueroa por brindarme su apoyo incondicional, por ser mi gran motor para seguir adelante y hacerme poner lo mejor de mí para que se sienta orgulloso de mí y así también ayudarme a ser un gran ejemplo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.1.1. Objetivos específicos	2
1.2. Hipótesis.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes del cultivo del algodón	3
2.1.1. Importancia económica del algodón a nivel mundial	3
2.1.2. Importancia del cultivo a nivel nacional	4
2.2. El algodón Bt, como alternativa a la producción a nivel mundial.....	5
2.3. <i>Bacillus thuringiensis</i> como modelo de los Organismos Genéticamente Modificados	6
2.4. Mecanismos y modo de acción del Bt en OGM y las toxinas Cry	7
2.4.1. Cristales paranosporales.....	8
2.5. Comportamiento de insectos blanco y no blanco relacionados a la resistencia al Bt	8
2.6. Diversidad de especies	9
2.6.1. Métodos para medir diversidad de especies	9
2.6.2. Tipos de diversidad.....	10
2.6.2.1. Medición de la diversidad alfa	11
2.7. Muestreos de diversidad.....	12
2.7.1. Tipos de muestreos	13
2.7.1.1. Muestreo directo	13
2.7.1.2. Muestreo indirecto.....	14

2.8.	Características de los principales órdenes de la Clase Insecta relacionados al algodón	14
2.8.1.	Coleoptera	14
2.8.2.	Neuroptera.....	15
2.8.3.	Diptera.....	15
2.8.4.	Hemiptera.....	16
2.8.5.	Hymenoptera	16
2.8.6.	Lepidoptera.....	17
2.9.	Acción de los cultivos Bt y su efecto en la diversidad de insectos.....	17
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1.	Ubicación del experimento.....	19
3.2.	Establecimiento del cultivo	19
3.2.1.	Descripción de variedades.....	19
3.3.	Muestreo de insectos.....	20
3.4.	Conservación de insectos	21
3.5.	Conteo e identificación de insectos	21
3.6.	Análisis de diversidad	21
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1.	Composición de la comunidad de insectos en el cultivo de algodón	23
4.2.	Abundancia de insectos por variedad	26
4.3.	Comportamiento de la diversidad de artrópodos insectos durante el ciclo de producción del algodón	27
4.4.	Diversidad de insectos	29
4.5.	Índices de diversidad.....	32
4.5.1.	Análisis de similitud entre variedades de algodón para los artrópodos insectos colectados.....	33
V.	CONCLUSIONES	34
VI.	LITERATURA CITADA	35

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Asociación entre los principales tipos de cristales de <i>Bacillus thuringiensis</i> , proteínas Cry y su espectro de actividad insecticida.	8
Cuadro 2. Características de las variedades FiberMax establecidas en San Pedro de las Colonias, Coahuila, México, 2017.....	20
Cuadro 3. Composición de la riqueza y abundancia de artrópodos insectos en el cultivo de algodón, para la región de San Pedro de la Colonias, Coahuila, México. Ciclo primavera-verano, 2017.	24
Cuadro 4. Composición y abundancia de artrópodos insectos en seis variedades de algodón FiberMax. Ciclo P-V, para la región de San Pedro de las Colonias, Coahuila, México, 2017.	27
Cuadro 5. Abundancia de artrópodos insectos colectados en seis variedades de algodón FiberMax en cuatro muestreos durante el ciclo de producción 2017. San Pedro de las Colonias, Coahuila, México.	29
Cuadro 6. Gremio de insectos capturados en seis variedades de algodón FiberMax. San Pedro de las Colonias, Coahuila, México, 2017.....	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Abundancia de insectos por Orden en el cultivo de algodón. Ciclo de producción P-V 2017. San Pedro de las Colonias, Coahuila, México.	25
Figura 2. Comportamiento de los gremios colectados en la etapa de floración del cultivo del algodón.....	30
Figura 3. Abundancia de gremios por cada variedad.....	31
Figura 4. Porcentaje de similitud de los insectos colectados entre seis variedades de algodón.	33

RESUMEN

El algodón genéticamente modificado (GM), con *Bacillus thuringiensis* (Bt) relacionado al control de plagas es un cultivo de importancia mundial; en México se siembra desde hace más de 20 años, por lo que la influencia en los sistemas agrícolas del norte del país en este periodo ha favorecido que disminuya la aplicación de insecticidas. Son pocos los estudios actuales que se tienen en México con respecto a la influencia de este cultivo en la fluctuación de diversidad de artrópodos insectos, por lo que en el presente trabajo se realizó un estudio de esta diversidad con la finalidad de conocer el efecto sobre agentes de control biológico, plagas primarias, secundarias y otros gremios de insectos que interactúan en el cultivo. Se colectaron insectos para determinar las principales familias de artrópodos y su fluctuación durante el ciclo de producción de cinco variedades de algodón Bt y una convencional, pertenecientes a la línea FiberMax, realizando cuatro colectas en diferentes fechas de la etapa de floración y etapa de capsula; en la región productora de La Comarca Lagunera, en el municipio de San Pedro de las Colonias, Coahuila, México. Además, se identificó y evaluó la diversidad de especies, por medio de su riqueza y abundancia de las diferentes familias colectadas; además de analizar la fluctuación poblacional a través del ciclo de producción del algodón.

Se recolectó un total de 821 insectos dentro de 37 familias agrupadas en 50 especies. Los órdenes Hemiptera, Coleóptera y Diptera presentaron la mayor abundancia de insectos. La variedad de algodón que presentó mayor número de insectos fue FM2334 con 185 insectos, seguida de las variedades FM2007 y FM1830 (177 insectos), FM1740 (103), FM989 (testigo) con 99 insectos y FM1900 (80 insectos) dentro de los cuales se clasificaron 529 insectos depredadores, 279 insectos plaga, 13 parasitoides, 10 polinizadores y 2 polisaprofagos. La riqueza y abundancia de insectos en los agroecosistemas varía dependiendo de sus condiciones ambientales y el manejo agronómico del cultivo.

Palabras clave: Abundancia, Agroecosistema, Algodón, Diversidad, Insectos.

I. INTRODUCCIÓN

La diversidad biológica es un tópico cada vez más importante dentro de las discusiones de sustentabilidad desde que se propuso este concepto y se empezó a tener más conciencia en términos ecológicos sobre la degradación de los ecosistemas; a pesar de ello, la importancia de mantener la diversidad de los agroecosistemas se reconoce desde hace varios años (Magurran, 1989; Neumann y Starlinger, 2001).

La diversidad entomológica en los diferentes ecosistemas y/o agroecosistemas, puede variar dependiendo de sus condiciones ambientales, así como en los componentes bióticos, existen otros factores como la ubicación geográfica y si se es más específico, esta diversidad está altamente influenciada por el manejo que el hombre da a los sistemas (Ortiz y Tinaut, 1993; Wason y Pennings, 2008).

El algodón genéticamente modificado (GM) con *Bacillus thuringiensis* (Bt), relacionado al control de plagas es un cultivo de importancia mundial; en México se siembra desde hace más de 20 años, por lo que la influencia en los sistemas agrícolas del norte del país en este periodo ha favorecido que disminuya la aplicación de insecticidas (Naranjo, 2009; Zhao *et al.*, 2011). Sin embargo son pocos los estudios actuales que se tienen en México con respecto a la influencia de este cultivo en la fluctuación de diversidad de artrópodos insectos, por lo que en el presente trabajo se realizó un monitoreo de esta diversidad con la finalidad de conocer el estatus de agentes de control biológico, plagas primarias y secundarias y otros gremios de insectos que interactúan en el cultivo.

1.1.Objetivo general

Determinar las principales familias de insectos y su fluctuación durante el ciclo de producción de cinco variedades de algodón Bt pertenecientes a la línea FiberMax, en la región productora de San Pedro de las Colonias, Coahuila, México.

1.1.1. Objetivos específicos

- Identificar las principales familias de artrópodos insectos que interaccionan con cinco variedades FiberMax de algodón Bt.
- Contrastar la riqueza y abundancia de las diferentes familias de insectos que interaccionan entre variedades de algodón Bt y convencional.
- Analizar la fluctuación poblacional a través del ciclo productivo del algodón en la región productora de San Pedro de las Colonias, Coahuila, México.
- Evaluar la diversidad y la composición de especies en cinco variedades del cultivo de algodón Bt.

1.2.Hipótesis

Existen diferencias en la diversidad y abundancia en las poblaciones de artrópodos insectos entre variedades de algodón genéticamente modificado con Bt, por lo que el efecto de la presión de selección de las toxinas Cry sobre la entomofauna ha influenciado a través del tiempo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes del cultivo del algodón

El cultivo del algodón y el aprovechamiento de su fibra data de tiempos remotos, excavaciones realizadas en el noroeste de la India (Valle del Indo, Pakistán Oriental), comprobaron la existencia de tallos y productos fabricados de algodón en antiguas tumbas Hindúes, los cuales son de unos 3,000 años A.C., analizados al microscopio, estos restos pertenecen a *Gossypium arboreum* existente aun en la India (Sarmiento, 1978).

La domesticación de estas especies derivó en numerosos cambios en las plantas, que incluyen un hábito anual, insensibilidad al fotoperiodo, floración temprana, cápsulas con mayor tamaño y rendimiento, así como mayor longitud, resistencia y finura de la fibra (Chaudhary *et al.*, 2009).

El algodón es la planta textil de fibra suave más importante del mundo y su cultivo es de los más antiguos. En un principio la palabra algodón significaba un tejido fino. El algodón fue el primer textil en la India. Los primeros escritos del algodón son textos hindúes, himnos que datan 1500 años A.C. y libros religiosos de 800 años A.C. (CONACYT, 2008).

2.1.1. Importancia económica del algodón a nivel mundial

El algodón es la principal planta cultivada para producción de fibra en el mundo, de gran importancia como materia prima para la fabricación de tejidos y prendas de vestir. Como subproducto, una vez removida la fibra, queda la semilla que es utilizada en la industria extractora de aceite comestible, además de ser utilizada en la fabricación de alimentos concentrados para animales. Inclusive, las fibras cortas, que quedan luego de remover la

totalidad de la fibra, son procesadas para obtener productos dietéticos de alto contenido de fibra y algunos usos alimenticios que incluyen forros para embutidos y para mejorar la viscosidad de ciertos productos como pasta dental y helados, entre otros (Silva, 2005).

Las especies más cultivadas en el mundo son *Gossypium hirsutum* L., *G. barbadense* L., *G. arboreum* L. con un crecimiento de casi 3.7 millones de hectáreas en un año, actualmente se siembra algodón en 34 millones de ha. En 130 países, los mayores productores son China, Estados Unidos, India, Pakistan, Uzbekistan, y Brasil, con una producción mundial de 25 millones de toneladas por año en volumen cinco veces mayor que el de todas las fibras naturales. Juntas ocupan un 25% de la superficie agrícola del planeta, según las cifras del comité consultivo internacional del algodón (ICAC, por sus cifras en inglés) (Estopier, 2010).

2.1.2. Importancia del cultivo a nivel nacional

En México el cultivo del algodón va encaminado hacia el consumo de la fibra textil, donde la industria se divide en producción de fibra, de hiladura y fina textil; adicionalmente se obtiene la semilla que se utiliza para la producción de aceite y para consumo forrajero (SAGARPA, 2017).

Se siembran anualmente 210 hectáreas de algodón, con una producción de 872 mil pacas, de las cuales 582 mil se destinan al consumo interno, 29 mil se exportan a otros países generando divisas del orden de los 287 mil millones de pesos, esto sitúa al algodonerero como segundo cultivo agrícola de exportación superado únicamente por el café, por otra parte la producción de semilla asciende a 289 mil toneladas con valor de 159 mil millones de pesos (Estopier, 2010).

El algodón participa con el 0.93% del producto interno bruto (PIB); México fue el decimotercer productor mundial con un volumen de 487 914 toneladas en 2016 y la producción de este cultivo satisface 80% los requerimientos nacionales, el país cubre el 0.74% del total de las importaciones de Estados Unidos (SAGARPA, 2017).

2.2.El algodón Bt, como alternativa a la producción a nivel mundial

Una herramienta de control biológico la constituye el uso de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, una bacteria que vive normalmente en el suelo y que al esporular produce una proteína en grandes cantidades que llega a formar un cristal geométrico. La proteína principal de este cristal se llama delta-endotoxina, también conocida como proteína Cry o Cyt (Trigo *et al.*, 2015).

Esta tecnología es considerada como un instrumento alternativo para modificar y mejorar los cultivos, especialmente de algodón donde las pérdidas por insectos y malezas son altamente significativas. La implementación de los cultivos GM ha traído consigo numerosos beneficios al avance de la agricultura; sin embargo, el desarrollo y comercialización de estos ha sido objeto de un gran debate y de posiciones encontradas (Conner *et al.*, 2003).

Los cultivos comerciales constituyen una fuente importante para la economía del mundo, ya que parte de la base alimentaria de la población descansa en la producción agrícola, situación que requiere la atención por los gobiernos. Uno de los principales factores que se debe controlar para evitar la volatilidad de la producción son los insectos-plaga, pues se estima que la producción agrícola mundial se ve afectada aproximadamente en un 18%;, situación por la cual se considera que anualmente deja pérdidas de miles de millones de dólares (Oerke y Dehne, 2004).

Con la ingeniería genética ha sido posible insertar genes de *Bacillus thuringiensis* var. Kurstaki (Bt) en plantas de algodón (*Gossypium hirsutum* L.), con el fin de producir proteínas que afectan las larvas de lepidópteros y bajar las aplicaciones de insecticidas (Rodríguez *et al.*, 2005).

Entre las especies de importancia económica objetivo a la tecnología Bt, a nivel mundial se destacan el gusano bellotero (*Heliothis virescens* F., 1777), el gusano del algodón (*Helicoverpa zea* Boddie, 1850), el gusano rosado colombiano (*Sacadodes pyralis* Dyar, 1912), el gusano rosado de la India (*Pectinophora gossypiella* Saunders, 1843) y el gusano de las hojas (*Alabama argillacea* Hübner, 1823). Otras especies de lepidópteros como las del complejo *Spodoptera* presentan bajo grado de sensibilidad a la proteína Cry1Ac (Silva, 2005).

2.3. *Bacillus thuringiensis* como modelo de los Organismos Genéticamente Modificados

La bacteria *Bacillus thuringiensis* es un bacilo Gram positivo que durante su fase de esporulación produce una inclusión parasporal, conformada por proteínas Cry con actividad biológica contra insectos-plaga. Gracias a estas proteínas *Bacillus thuringiensis* presenta toxicidad contra larvas de insectos plaga. Además es amigable con el medioambiente, razones por la cual 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).

Las proteínas Cry son el principal factor de virulencia de Bt, las cuales poseen pesos que oscilan entre ~60 y 140 kDa, y que al estar en presencia de un ambiente reductor modifican su estructura, volviéndose altamente tóxicas contra insectos de los órdenes Lepidoptera, Diptera, Coleoptera Hymenoptera, Homoptera (=Hemiptera), Orthoptera y Malofaga (=Phthiraptera) (Morse *et al.*, 2001; Porcar y Juárez-Pérez, 2004).

2.4.Mecanismos y modo de acción del Bt en OGM y las toxinas Cry

Existen diferentes clases de toxinas, que se han clasificado en función del tipo de insecto que controlan, algunas controlan lepidópteros (mariposas), coleópteros (escarabajos), dípteros (mosquitos), himenópteros (hormigas), ácaros, nematodos, gusanos planos y protozoarios. Las proteínas son ingeridas por las larvas de los insectos al alimentarse de la planta; estos insectos tienen un intestino medio alcalino, lo 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. El insecto muere por el cambio brusco de pH en su hemolinfa y por una infección generalizada al reproducirse la bacteria Bt y otras bacterias de su flora intestinal (CONACYT, 2015).

El insecto cuando consume la proteína Cry presenta cese de la ingesta, parálisis del intestino, vómito, diarrea, descompensación osmótica, parálisis total y la muerte (Aronson y Shai, 2001). Para que se lleve a cabo la muerte del insecto, la protoxina debe estar presente en un ambiente reductor que desestabilice sus puentes disulfuros y pueda ser activada, dependiendo de la naturaleza de la proteína Cry se realizará la solubilización y activación de la misma, pues se ha demostrado que las proteínas Cry1 presentan mayor cantidad de aminoácidos básicos por lo cual los cristales se solubilizan a un pH alcalino presente en el intestino medio del insecto; si es una proteína Cry3 existen cuatro puentes salinos intercatenarios que estabilizan el cristal por lo que se puede solubilizar en pH ácidos (pH 5–6), aunque pueden estar activadas naturalmente (Bravo *et al.*, 2007, Vachon *et al.*, 2012).

Sin embargo para que sean activadas no es suficiente con la solubilización, se requiere de la acción de las proteasas presentes en el intestino medio del insecto, escindiendo una sección de aminoácidos en la región N- terminal y en el extremo C- terminal dependiendo de la naturaleza de la proteína Cry, dejando una toxina activa de un peso molecular oscilante de 49 a 70 kDa. (Roh *et al.*, 2007; Vachon *et al.*, 2012).

2.4.1. Cristales paranosporales

Estos cristales pueden presentar distintas morfologías y pueden clasificarse en bipiramidales, cúbicos, cuadrados aplanados, esféricos y otras formas atípicas menos frecuentes, cada cuerpo de inclusión cristalino puede estar constituido por proteínas Cry de una o varias clases que se agrupan entre sí mediante puentes disulfuro. La estabilidad de estas uniones condiciona el pH de solubilización del cristal, particularmente en el caso de los cristales bipiramidales usando estos puentes están distorsionados. Los cristales son solubles a pH mayor de 9.5; mientras que si permanecen en su estado más estable necesitan un pH superior a 12 para lograrlo (Sauka y Benintende, 2008).

Cuadro 1. Asociación entre los principales tipos de cristales de *Bacillus thuringiensis*, proteínas Cry y su espectro de actividad insecticida.

Tipo de cristal	Grupo	Toxicidad
Bipirimidial	Cry1	Lepidópteros
Cubico	Cry2	Lepidópteros y Dípteros
Cuadrado aplanado	Cry3	Coleópteros
Esférico	Cry4A, Cry4B, Cry10 y Cry11	Dípteros

Fuente:(Sauka y Benintende, 2008) <https://www.redalyc.org/html/2130/213016787013/>

2.5.Comportamiento de insectos blanco y no blanco relacionados a la resistencia al Bt

La adquisición de resistencia a las proteínas Cry por los artrópodos blanco es probable debido a la exposición continua a la que están sometidos en los cultivos Bt. Esta presión llevaría a seleccionar aquellos individuos en los cuales se presenten mutaciones (recesivas) que afecten la acción de la toxina (eliminación del sitio de unión de la misma) (De Maagd *et al.*, 2001).

Dentro de los artrópodos que no son blanco de la toxina, se encuentran lepidópteros que pueden ser afectados por la misma, otros insectos herbívoros, polinizadores, predadores y parasitoides (Groot y Dicke, 2002). En el caso de los lepidópteros no blanco, éstos podrían ser afectados por la toxina si consumieran distintos tejidos de las plantas transgénicas. Uno de los casos más conocidos de lepidópteros afectados, fue en larvas de la mariposa monarca (*Danaus plexippus* L.) alimentadas con plantas de *Asclepias curassavica* L. contaminadas con polen derivado de plantas transgénicas de maíz del evento BT11, respecto de larvas alimentadas con polen de las isolíneas no transgénicas; que afectaron con un menor peso y una mayor mortandad (Losey *et al.*, 1999).

2.6.Diversidad de especies

La biodiversidad o diversidad biológica es la variedad de la vida. Este reciente concepto incluye varios niveles de la organización biológica. Abarca a la diversidad de especies de plantas y animales que viven en un sitio, a su variabilidad genética, a los ecosistemas de los cuales forman parte estas especies y a los paisajes o regiones en donde se ubican los ecosistemas. También incluye los procesos ecológicos y evolutivos que se dan a nivel de genes, especies, ecosistemas y paisajes (CONABIO, 2009).

2.6.1. Métodos para medir diversidad de especies

La biodiversidad no depende sólo de la riqueza de especies sino también de la dominancia relativa de cada una de ellas. Las especies, en general, se distribuyen según jerarquías de abundancias, desde algunas especies muy abundantes hasta algunas muy raras. Cuanto mayor es el grado de dominancia de algunas especies y de rareza de las demás, menor es la biodiversidad de la comunidad. Entender el problema de la biodiversidad implica, entonces, discutir el problema de la rareza biológica. La conservación de la biodiversidad es principalmente un problema vinculado al comportamiento ecológico de las especies raras (Aguirre, 2013).

Los estudios sobre medición de biodiversidad se han centrado en la búsqueda de parámetros para caracterizarla como una propiedad emergente de las comunidades ecológicas. Sin embargo, las comunidades no están aisladas en un entorno neutro. En cada unidad geográfica, en cada paisaje, se encuentra un número variable de comunidades. Por ello, para comprender los cambios de la biodiversidad con relación a la estructura del paisaje, se debe entender la separación de los componentes alfa, beta y gamma (Whittaker, 1972).

Esta forma de analizar la biodiversidad resulta muy conveniente en el contexto actual ante la acelerada transformación de los ecosistemas naturales, ya que un simple listado de especies para una región dada no es suficiente. Para monitorear el efecto de los cambios en el ambiente es necesario contar con información de la diversidad biológica en comunidades naturales y modificadas (diversidad alfa) y también de la tasa de cambio en la biodiversidad entre distintas comunidades (diversidad beta), para conocer su contribución al nivel regional (diversidad gamma) y poder diseñar estrategias de conservación y llevar a cabo acciones concretas a escala local. Conviene resaltar la importancia de que la toma de datos se base en un diseño experimental apropiado (Coddington *et al.*, 1991).

2.6.2. Tipos de diversidad

Diversidad alfa: es la riqueza de especies de una comunidad/hábitat/sitio en particular, expresada a través del índice de riqueza de una zona; es decir, es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea. Modo de medir la diversidad alfa: conjunto de especies, grupos taxonómicos y por estratos (Aguirre, 2013; Whittaker, 1972).

Diversidad beta: es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje o mejor expresado en un ecosistema se da entre comunidades; expresa el grado de similitud y disimilitud. Heterogeneidad (diversidad) de hábitats (Aguirre, 2013; Whittaker, 1972).

Diversidad gamma: es la riqueza de especies del conjunto de comunidades que integran un paisaje o ecosistema, es el resultante de la diversidad alfa y beta (Aguirre, 2013; Whittaker, 1972).

2.6.2.1. Medición de la diversidad alfa

Medir la abundancia relativa de cada especie permite identificar aquellas especies que por su escasa representatividad en la comunidad son más sensibles a las perturbaciones ambientales. Además, identificar un cambio en la diversidad, ya sea en el número de especies, en la distribución de la abundancia de las especies o en la dominancia, nos alerta acerca de procesos empobrecedores (Magurran, 1988).

La principal ventaja de los índices es que resumen mucha información en un solo valor y nos permiten hacer comparaciones rápidas y sujetas a comprobación estadística entre la diversidad de distintos hábitats o la diversidad de un mismo hábitat a través del tiempo. Los valores de índices como el de Shannon-Wiener para un conjunto de muestras se distribuyen normalmente, por lo que son susceptibles de analizarse con pruebas paramétricas robustas como los análisis de varianza (Magurran, 1988). Sin embargo, aún y cuando un índice sea aplicado cumpliendo los supuestos del modelo y su variación refleje cambios en la riqueza o estructura de la comunidad, resulta generalmente difícil de interpretar por sí mismo, y sus cambios sólo pueden ser explicados regresando a los datos de riqueza específica y abundancia proporcional de las especies. Por lo tanto, lo más conveniente es presentar valores tanto de la riqueza como de algún índice de la estructura de la comunidad, de tal forma que ambos parámetros sean complementarios en la descripción de la diversidad (Buzas y Hayek, 1996).

Índice de diversidad de Shannon-Wiener: Es el índice más usado, expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra. Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección. Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las

especies de una comunidad están representadas en la muestra. Adquiere valores entre cero cuando hay una sola especie y el logaritmo de S (número de especies o riqueza de especies) cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos. Se puede calcular usando el logaritmo natural (más exacto) o con logaritmo base 10, su valor normal esta entre dos y tres; donde valores inferiores a dos se consideran bajos y superiores a tres son altos (Aguirre, 2013).

Índice de Simpson: los índices de dominancia se basan en parámetros inversos a los conceptos de equidad puesto que toman en cuenta la dominancia de las especies con mayor representatividad, para lo cual el índice más común para utilizar es el de Simpson; éste índice también conocido como el índice de la diversidad de las especies o índice de dominancia, es uno de los parámetros que nos permiten medir la riqueza de organismos. En ecología, es también usado para cuantificar la biodiversidad de un hábitat. Toma un determinado número de especies presentes en el hábitat y su abundancia relativa donde los valores cercanos a cero corresponden a ecosistemas muy diversos o heterogéneos y valores de uno correspondiendo a ecosistemas más homogéneos (Pielou, 1969).

2.7.Muestreos de diversidad

Los insectos constituyen una parte importante de la diversidad biológica, ya que de cada diez seres vivos, más de cinco son insectos, y de cada diez animales al menos siete son insectos (Wilson, 1992; Morrone *et al.*, 1999).

Los dos objetivos más importantes de los muestreos de insectos son la investigación y la docencia. En los muestreos de insectos en campo se utilizan distintas técnicas de recolecta, que pueden proporcionar los hábitos o aspectos conductuales y ecológicos de los especímenes recolectados. La identificación después de realizar los muestreos y recolectas a distintos niveles taxonómicos de los grupos de insectos, es importante, según los objetivos

que se tengan en la investigación al igual que actividades de preservación de dichos especímenes (Steyskal *et al.*, 1986).

2.7.1. Tipos de muestreos

Las técnicas de muestreo son los procedimientos (equipo y modo en que se hace el recuento) utilizados para recoger la información en una unidad de muestreo dada (New, 1998).

La mayoría de las técnicas utilizadas responden a objetivos específicos de cada tipo de estudio; sin embargo, pueden ser divididas de manera muy general en técnicas de colecta directas (activas) y técnicas de colecta indirectas (pasivas) (Luna, 2005).

2.7.1.1. Muestreo directo

Es aquella en la que el colector busca de manera activa a los organismos en su ambiente, en los sitios donde éstos se distribuyen. Esta estrategia es utilizada ampliamente por la mayoría de los colectores, quienes se apoyan de herramientas e instrumentos (Luna, 2005).

Sus ventajas son que permite encontrar especies que escapan a otros métodos de muestreo y que permite establecer una relación directa entre la especie encontrada y su hábitat, sin embargo, no permite cuantificar fácilmente el esfuerzo de muestreo realizado. Además es muy destructivo y no permite un muestreo completo o más específico como por ejemplo, el interior de troncos. Por ello es más adecuado dentro de programas de muestreo destinados a hacer inventarios faunísticos detallados, pero no cuando lo que se pretende es la comparación entre puntos de muestreo (Barbalat, 1995).

La colecta directa en plantas es apoyada frecuentemente por una red de golpeo, en la cual caen insectos que están sujetos a las plantas, ya que muchos de ellos tienen la conducta de dejarse caer cuando se encuentran en peligro. Se procede a golpear la vegetación arbustiva en varias plantas (o las plantas bajo estudio) por periodos cortos de tiempo y se revisa la red; los insectos pequeños y de cuerpo blando pueden ser colectados con el aspirador (succionando) y luego depositarlos (soplando) en un frasco colector (Luna, 2005).

2.7.1.2. Muestreo indirecto

Es aquel en la que se colectan organismos utilizando algún tipo de atrayente y que no implica búsqueda directa en los sustratos donde éstos habitan. Comúnmente este tipo de colecta utiliza trampas con distintos tipos de atrayentes e incluso existen trampas sin atrayente que se consideran como colecta indirecta porque no se buscan activamente a los organismos. El tipo y número de trampas, y el cebo a utilizar también dependen directamente de los objetivos de la investigación (Luna, 2005)

2.8. Características de los principales órdenes de la Clase Insecta relacionados al algodón

2.8.1. Coleoptera

Este Orden de insectos incluye al grupo de animales más numerosos de la tierra. Las especies se han encontrado viviendo en variados hábitats (aéreo, subterráneo, agua dulce), como así mismo explotando diferentes fuentes de alimento (saprófagos, fitófagos, entomófagos). Hay coleópteros de diferentes tamaños, pero la mayoría de ellos se caracteriza por poseer el primer par de alas endurecido (élitros), que a veces están unidos, y con el segundo par de alas plegado bajo ellos. El aparato bucal de larvas y adultos es masticador y poseen holometamorfosis (con presencia de huevos, larvas, pupa y adulto). Las larvas de los

coleópteros pueden ser de diferentes formas y hábitos alimenticios. Para la agricultura son de importancia tanto aquellas especies fitófagas por el daño que provocan, como las especies depredadoras por sus efectos positivos en el control de especies plagas. Las familias que contienen varias especies de insectos plagas son: Curculionidae, Bruchidae, Bostrichidae, Scarabeidae, Meloidae, Elateridae, Cerambycidae, Scolytidae, Chrysomelidae, Dermestidae, Tenebrionidae. Muchos coleópteros son depredadores eficientes para plagas agrícolas, las familias más importantes al respecto son: Carabidae y Coccinellidae. Muchas otras familias tienen un efecto positivo al ser saprófagos y reciclar la materia orgánica (Zaviezo *et al.*, 2003).

2.8.2. Neuroptera

Las especies de Neuroptera se caracterizan por poseer dos pares de amplias alas membranosas, las cuales son reforzadas por una compleja venación reticulada. Son especies depredadoras, tanto en estado larval como adulto. Una sinapomorfia del grupo es la presencia de mandíbulas larvales huecas, que funcionan para succionar fluidos de sus presas. Es un grupo antiguo que surgió en el pérmico tardío, hace aproximadamente 250 millones de años, posiblemente con una diversidad actual menor a la de edades geológicas pasadas (Grimaldi *et al.*, 2005).

2.8.3. Diptera

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). Los dípteros adultos se caracterizan por poseer un par de alas membranosas y el segundo par modificado para el equilibrio (halterios), las antenas son variables y los ojos compuestos ocupan gran parte de la cabeza. El aparato bucal puede ser picador chupador o picador succionador. Las

pupas son coarctadas u obtectas. Las larvas de las especies de importancia agrícola en su mayoría son vermiformes (ápoda, cónicas con la cabeza en el extremo más angosto, con mandíbulas retráctiles en forma de gancho) (Zaviezo *et al.*, 2003).

2.8.4. Hemiptera

Las llamadas chinches, tiene un aparato bucal para perforar y succionar. En su mayoría estos insectos son herbívoros, comedores de las semillas que yacen en el suelo o succionadores de los jugos vegetales de los árboles, arbustos o hierbas sobre las que viven, otros residen sobre otros artrópodos o vertebrados y son entomófagos, aunque algunos son hematófagos y viven como ectoparásitos de vertebrados. Sus coloraciones van desde los tonos opacos hasta los brillantes rojos, negros o naranjas (Cervantes y Pacheco, 2006).

2.8.5. Hymenoptera

Los himenópteros pueden ser divididos informalmente en varios grupos para facilitar discusiones sobre aspectos de su biología y ecología. Tradicionalmente se han usado las divisiones “Symphyta” y Apocrita. Los Symphyta son himenópteros de aspecto más bien primitivo que no poseen la cintura de avispa (sin propodeum), y los Apocrita son las avispas típicas con constricción, formada por una unión firme entre el primer segmento abdominal y el tórax y una constricción marcada entre el primer y segundo segmentos abdominales (Smith, 1995).

2.8.6. Lepidoptera

Los lepidópteros son un grupo de insectos caracterizados por tener dos pares de alas membranosas que, al igual que el cuerpo, están cubiertas por finas escamas. Las piezas bucales están formadas por las maxilas, y normalmente forman un tubo largo, la espiritrompa, que se enrolla bajo la cabeza en reposo. Es característico su ciclo vital en el que sufre una metamorfosis completa: se inicia con el huevo, del que surge una larva de colores diversos, que crece y da lugar a la pupa o crisálida; se produce la metamorfosis y de esa crisálida con el tiempo acaba saliendo una mariposa adulta o imago (González, 2012).

2.9. Acción de los cultivos Bt y su efecto en la diversidad de insectos

Se tiene la hipótesis de que algunos organismos no blanco pueden ser afectados por la exposición a las proteínas Cry del Bt en los cultivos GM (Higgins *et al.*, 2009). Sin embargo, se han realizado estudios como el de Hernández (2012), donde reportó en un estudio realizado en maíz Bt, que esta tecnología ofrece una opción excelente en el control de lepidópteros blanco y no ejercer presión sobre la diversidad de artrópodos no blanco a dicha tecnología, el maíz GM, puede ser contemplado para un manejo integrado de plagas, siguiendo las prácticas agronómicas adecuadas.

La utilización de algodón Bt para el control de ciertos gusanos ha llevado a una reducción dramática a nivel regional de las poblaciones de gusano rosado, el daño al cultivo y el uso de insecticidas; además ha sido fundamental para que tácticas de control más selectivas y con bases biológicas se hayan podido también implementar para el control de *Bemisia tabaci* (Gennadius) y *Lygus hesperus* Knight, dos plagas de mucha importancia en Arizona (Naranjo y Ellsworth, 2010).

En otro estudio se encontró que el cultivo de algodón Bt no influyó en el patrón de distribución agregada de *Bemisia tabaci*, y para *Aphis gossypii*, los índices evaluados mostraron una distribución agregada tanto en el algodón Bt como el convencional, pero las distribuciones de frecuencia apuntaron a la ocurrencia de una distribución agregada solo en el algodón convencional. Esto indica que el algodón Bt ha alterado el patrón normal de dispersión de los áfidos en el cultivo (Rodrigues *et al.*, 2010).

También se ha llegado a mencionar que los cultivos transgénicos no ejercen efecto directo sobre las poblaciones de los insectos benéficos. La disminución de sus poblaciones, ya sea en lotes comerciales sembrados con cultivos Bt como en los convencionales, se atribuye a la merma de presas y de huéspedes a causa de aplicaciones de insecticidas contra insectos plagas no controladas y no objetivo a la tecnología Bt, en los cultivares transformados (De Polanía y Álcara, 2008).

En dos localidades de Culiacán, Sinaloa, México (Oso Viejo y El Camalote) se evaluó el maíz GM y se reportó que no tiene un efecto negativo sobre la abundancia de *Orius insidiosus* Say (Hemiptera: Anthocoridae), *Coleomegilla maculata* (De Geer) (Coleoptera: Coccinellidae), y *Chrysoperla carnea* (Stephens) (Neuroptera: Chrysopidae) (Hernández *et al.*, 2019).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

El proyecto se estableció en el rancho el Rincón del Buitre perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en la localidad del Retiro, municipio de San Pedro (25°49' 53.88" N, 103°07' 04.13" O, elevación de 1103 m) en el Estado de Coahuila de Zaragoza, México, con un ciclo de producción de primavera-verano en el 2017.

3.2. Establecimiento del cultivo

La siembra se realizó del 23 al 27 de marzo, se sembraron cinco variedades de algodón GM de FiberMax (FM1740, FM1830, FM1900, FM2007, FM2334) y una convencional (FM989) que se consideró como testigo y fungió como refugio en el cultivo. Las prácticas de manejo del cultivo se realizaron con base en las normas oficiales para la producción del algodón GM en México (NOM-026-FITO-1995; NOM-026-SAG/FITO-2014), la Campaña fitosanitaria a cargo del Comité Estatal de Sanidad Vegetal en el estado de Coahuila (CESAVECO) y su Junta Local de Sanidad Vegetal (JLSV) en la Región Lagunera de Coahuila, para dar seguimiento al cultivo en campo (SENASICA, 2016).

3.2.1. Descripción de variedades

Las variedades FiberMax establecidas presentan la toxina Cry1Ac para el control de lepidópteros, así como tolerancia a glifosato, con excepción de la variedad FM989 que es convencional (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características de las variedades FiberMax establecidas en San Pedro de las Colonias, Coahuila, México, 2017.

Variedad	Características
FM1740	Alto potencial de rendimiento Paquete de fibra excepcional Tolerante a glifosato Resistente a lepidópteros
FM1830	Excelente potencial de rendimiento Paquete de fibra excepcional Muy buena tolerancia al marchitamiento por <i>Verticillium</i> . Tolerante a glifosato Resistente a lepidópteros
FM1900	Excelente tolerancia a alta humedad Excelente potencial de rendimiento y calidad de la fibra. Buen vigor a principios de temporada. Tolerante a glifosato Resistente a lepidópteros
FM2007	Excelente eficiencia en el uso del agua. Excelente potencial de rendimiento Excelente paquete de fibra Fácil de manejar con tasas bajas de reguladores del crecimiento de las plantas. Excelente índice de tolerancia a la sequía Tolerante a glifosato Resistente a lepidópteros
FM2334	Excelente potencial de rendimiento Calidad de fibra excepcional Alta participación en la ginebra Muy buena tolerancia al marchitamiento por <i>Verticillium</i> . Tolerante a glifosato Resistente a lepidópteros
FM989	Algodón convencional, no presenta toxinas del Bt Tiene buena tolerancia a <i>Verticillium</i> Excelentes cualidades de fibra Responde bien a riegos tempranos Se adapta bien a los diferentes tipos de suelo

Fuente: <https://agriculture.basf.com/us/en/Crop-Protection/FiberMax.html>

3.3.Muestreo de insectos

Las colectas de insectos se realizaron con una red entomológica (38.0 cm de diámetro) por golpe, en las seis variedades de algodón considerados como tratamientos, las cuales estaban establecidas por hectárea como parcela experimental.

Se establecieron cuatro fechas de muestreo a partir de la etapa de floración y desarrollo de cápsulas (21 de julio, 18 de agosto, 22 de septiembre y 07 de octubre), los recorridos dentro de la parcela, se realizaron en forma de zigzag y dentro de cada punto de muestreo se hicieron ocho submuestras con cinco golpes cada uno sobre la vegetación del cultivo, y se homogenizaron a una sola muestra.

3.4.Conservación de insectos

Los insectos de cada uno de los muestreos realizados, se colocó en frascos de un litro de capacidad con alcohol al 70%, y se trasladaron a la UAAAN, para su limpieza (eliminación de restos vegetales y cambio de alcohol) y mantenimiento.

3.5.Conteo e identificación de insectos

Los insectos fueron identificados en el Departamento de Parasitología de la UAAAN, con apoyo de expertos en identificación y de claves taxonómicas (Delvare *et al.*, 2002; Tripplehorn y Johnson, 2005) así como por comparación en la página web <https://bugguide.net> del Departamento de Entomología de la Universidad Estatal de Iowa, EUA., los cuales se contabilizaron por número de insectos (n= número de individuos), por orden y familia.

3.6.Análisis de diversidad

Los insectos se identificaron hasta el nivel taxonómico de Familia, se obtuvo la riqueza de especies, la abundancia de individuos y la frecuencia en cada caso, así mismo se realizaron graficas de fluctuación de especies dentro y entre las variedades de algodón GM monitoreadas a través de los muestreos.

Con ayuda del programa de BioDiversity Pro (McAleece *et al.*, 1997), se realizó el análisis de diversidad de especies, para diferentes índices en los datos que se obtuvieron para los artrópodos insectos encontrados en el ciclo del algodón GM, para 2017.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

El número total de artrópodos insectos colectados fue de 821 con 50 especies distintas, las cuales pertenecientes a un total de 37 familias situadas en seis ordenes, dentro de cinco variedades FiberMax de algodón GM y una convencional, establecidas en la región de San Pedro de las Colonias. Los órdenes con más familias fueron: Diptera y Hemiptera con 27.03% seguido de Hymenoptera (16.22%) (Cuadro 1). Santana-Espinoza *et al.* (2015) indican que Coleoptera, Diptera y Hemiptera son los órdenes que presentan mayor número de familias en las principales zonas productoras de México en algodón GM. Por otro lado Márquez-Hernández *et al.* (2014) encontraron que Hemiptera, Hymenoptera y Coleoptera fueron los que tuvieron mayor número de familias siendo Hymenoptera el orden con mayor riqueza de especies en algodón GM.

Las familias identificadas con mayor diversidad de especies fueron Miridae (Hemiptera) con cuatro especies y una frecuencia de 0.08, seguida de Chrysomelidae (Coleoptera) con tres especies y una frecuencia de 0.06, Coccinellidae (Coleoptera), Melyridae (Coleoptera), Cicadellidae (Hemiptera), Nabidae (Hemiptera), Pentatomidae (Hemiptera), Reduviidae (Hemiptera), Braconidae (Hymenoptera), Noctuidae (Lepidoptera) con dos especies y frecuencia de 0.04, en cada caso (Cuadro 3).

El Orden con mayor abundancia respecto al número de insectos fue Hemiptera con 53% (n= 435), seguido de Coleoptera con 18% (n=146) y Diptera con 11% (n=90). Las familias con mayor abundancia de insectos fueron Anthocoridae (Hemiptera) con 346 individuos (41.14%), seguida de Coccinellidae (Coleoptera) con 89 individuos (10.14%), Chrysopidae (Neuroptera) 69 insectos (8.40%), Noctuidae (Lepidoptera) con 57 insectos (6.94%), Choropidae (Diptera) 55 (6.70%), Miridae (Hemiptera) 41 (4.99%), Chrysomelidae (Coleoptera) 30 (3.56%) y Aphididae (Hemiptera) con 18 insectos (2.19%) (Cuadro 3, Fig.

1). Estos resultados concuerdan con García *et al.* (2017), donde encontraron que los órdenes más abundantes fueron Hemiptera representando el mayor número de individuos con el 50.8% para el cultivo de algodón; seguido de Coleoptera con el 13.8%, Hymenoptera con el 10.2%.

Cuadro 3. Composición de la riqueza y abundancia de artrópodos insectos en el cultivo de algodón, para la región de San Pedro de la Colonias, Coahuila, México. Ciclo primavera-verano, 2017.

Orden	Familia	Frecuencia	Riqueza		Abundancia		
			Especies	Porcentaje	Individuos	Porcentaje	
Coleoptera	Bruchidae	0.02	1	2	3	0.37	
	Chrysomelidae	0.06	3	6	30	3.65	
	Coccinellidae	0.04	2	4	89	10.84	
	Curculionidae	0.02	1	2	22	2.68	
	Melyridae	0.04	2	4	2	0.24	
Diptera	Agromyzidae	0.02	1	2	1	0.12	
	Anthomyiidae	0.02	1	2	2	0.24	
	Cecidomyiidae	0.02	1	2	2	0.24	
	Chloropidae	0.02	1	2	55	6.70	
	Heleomyzidae	0.02	1	2	9	1.10	
	Mucidae	0.02	1	2	1	0.12	
	Otitidae	0.02	1	2	5	0.61	
	Sphaeroceridae	0.02	1	2	2	0.24	
	Syrphidae	0.02	1	2	9	1.10	
Tachinidae	0.02	1	2	4	0.49		
Hemiptera	Alydidae	0.02	1	2	1	0.12	
	Anthocoridae	0.02	1	2	346	42.14	
	Aphididae	0.02	1	2	18	2.19	
	Cicadellidae	0.04	2	4	7	0.85	
	Cixiidae	0.02	1	2	5	0.61	
	Lygaeidae	0.02	1	2	6	0.73	
	Miridae	0.08	4	8	41	4.99	
	Nabidae	0.04	2	4	5	0.61	
	Pentatomidae	0.04	2	4	2	0.24	
Reduviidae	0.04	2	4	4	0.49		
Hymenoptera	Braconidae	0.04	2	4	6	0.73	
	Eucolidae	0.02	1	2	2	0.24	
	Formicidae	0.02	1	2	1	0.12	
	Halictidae	0.02	1	2	1	0.12	
	Platygasteridae	0.02	1	2	1	0.12	
	Pteromalidae	0.02	1	2	1	0.12	
Lepidoptera	Arctiidae	0.02	1	2	2	0.24	
	Gelechiidae	0.02	1	2	1	0.12	
	Hesperidae	0.02	1	2	1	0.12	
	Noctuidae	0.04	2	4	57	6.94	
	Pyralidae	0.02	1	2	8	0.97	
Neuroptera	Chrysopidae	0.02	1	2	69	8.40	
Total:	6	37	1.00	50	100	821	100.00

Pescador-Rubio *et al.* (2002) reportan para bosques de caducifolios (ecosistema natural) que el Orden Coleoptera fue el que presento mayor abundancia de insectos seguido del Orden Lepidoptera. En esta investigación, el algodón (agroecosistema, ecosistema perturbado) no se encontró mucha presencia del orden Lepidoptera, esto es debido a la presencia de las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis* en cinco de las seis variedades evaluadas. Además Flores-Pérez *et al.* (2015) encontraron que en el cultivo de higuera (cultivo industrial) los órdenes Diptera, Hemiptera, Coleoptera, e Hymenoptera tuvieron mayor riqueza de familias.

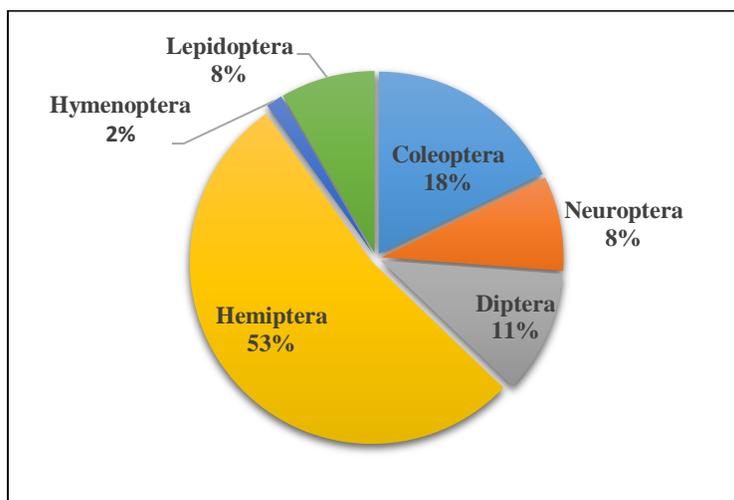


Figura 1. Abundancia de insectos por Orden en el cultivo de algodón. Ciclo de producción P-V 2017. San Pedro de las Colonias, Coahuila, México.

Las familias de insectos que tuvieron menor abundancia de individuos fueron Heleomyzidae y Syrphidae del orden Diptera con nueve insectos representado por 1.10% seguido por la Familia Pyralidae (Lepidoptera) con ocho insectos lo que representa el 0.97%, Cicadellidae (Hemiptera) con siete insectos representado por 0.85% (Cuadro 3), para el caso de esta Familia.

Méndez-López *et al.* (2018) mencionan que los Cicadellidae son un grupo de insectos de gran importancia como plagas, debido a que ocasionan daños en las plantas que varían desde alteraciones fisiológicas necrosis y hasta infecciones por virus y otros patógenos, causados por sus hábitos de alimentación y oviposición.

Otras de las familias en este estudio que se presentaron en el cultivo del algodón fueron: Lygaeidae (Hemiptera) y Braconidae (Hymenoptera) con seis insectos representado por 0.73% cada una, Otitidae (Diptera), Cixiidae, Nabidae del orden Hemiptera con cinco insectos (0.61% por cada Familia), el resto de las familias tuvieron un porcentaje menor al 0.50% de representatividad de uno a cuatro insectos (Cuadro 3); sin embargo, Quinlan (1978) menciona que la Familia Eucolidae tiene importancia económica por ser parásitos de los dípteros, principalmente para hospederos que atacan cultivos de grano. Por otra parte Dhurua y Gujar (2011) menciona que *Pectinophora gossypiella* (Gelechiidae) es una de las plagas más destructivas del cultivo del algodón, debido a los daños que ha ocasionado, por ello se implementaron los cultivos GM; para la región de la Laguna; además, que esta especie se encuentra erradicada (NOM-026-SAG/FITO-2014).

4.2. Abundancia de insectos por variedad

La composición insectil de las variedades de algodón analizadas no es completamente homogénea, excepto para los órdenes (Fig. 1) los cuales fueron los mismos para las seis variedades de algodón en estudio; sin embargo, para familias y especies varía de una variedad a otra. Se encontró que la variedad FM1830 fue la que presentó mayor diversidad de familias con 24 de las 50 totales, seguida de FM1740 con 17 familias, el resto de las variedades presentaron de 11 a 13 familias; dentro de este mismo contexto, la mayor riqueza de especies por variedad se obtuvo en FM1830 con 29 especies y FM2007 con 24 especies (Cuadro 4). En este sentido Santana-Espinoza *et al.* (2015) compararon la diversidad de insectos presentes en las principales zonas productoras de algodón GM (Coahuila, Sonora, Baja California, Chihuahua y Durango) y encontraron que existen diferencias y similitudes en diversidad de insectos tanto en familias, especies y número de insectos, lo que indica que no existe un patrón definido en la interacción del algodón GM con las regiones productoras y la diversidad entomofaunística en México.

La mayor abundancia de artrópodos insectos dentro de las seis variedades, es decir el mayor número de insectos colectados con respecto al total fueron: 185 individuos en la variedad

FM2334 y 177 individuos en las variedades FM1830 y FM2007 cada una, mientras que la variedad FM1900 fue la que menos abundancia tuvo con 80 individuos (Cuadro 4). En este sentido García *et al.* (2017) mencionan que la alta abundancia y riqueza reportada en el cultivo de algodón, tanto convencional, como genéticamente modificado proporcionan condiciones que favorecen al establecimiento de artrópodos insectos, teniendo en cuenta que las variaciones que se producen están influenciadas por la etapa del desarrollo fenológico del cultivo así como su microclima presente en cada variedad.

Cuadro 4. Composición y abundancia de artrópodos insectos en seis variedades de algodón FiberMax. Ciclo P-V, para la región de San Pedro de las Colonias, Coahuila, México, 2017.

Variedad	Orden	Familia	Especies	Individuos
FM1740	6	17	20	103
FM1830	6	24	29	177
FM1900	6	13	16	80
FM2007	6	14	24	177
FM2334	6	14	22	185
FM989	6	11	16	99

4.3. Comportamiento de la diversidad de artrópodos insectos durante el ciclo de producción del algodón

Durante el desarrollo del cultivo de algodón, se realizaron cuatro colectas en la etapa de floración del cultivo. La colecta uno fue la que presentó mayor abundancia de insectos con un total de 392 individuos, con un rango de insectos colectados de 15 a 113; las variedades que presentaron mayor número de insectos en esta colecta fueron: FM2334, FM2007, FM1830 (Cuadro 5). Este comportamiento encontrado en los artrópodos puede deberse a que los insectos probablemente eran atraídos por la disponibilidad de alimento, pues el cultivo iniciaba con la etapa de floración. Por otro lado, posterior a ese muestreo el número de individuos colectados bajó en un 65.8%, en la colecta dos, esto probablemente al manejo que se le da al cultivo con respecto al control de algunas plagas no blanco a la tecnología del Bt, como el picudo del algodón y a la llegada de *Bemisia tabaci*. En el caso del picudo, en la

región de la Laguna en Coahuila por medio del Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Coahuila, tienen una campaña de erradicación de esta plaga (NOM-026-SAG/FITO-2014), por lo que se llevó a cabo para la supresión del picudo del algodón, mediante aspersiones aéreas y/o terrestres del insecticida malathion (formulación ultra bajo volumen), a una dosis de $1.0 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$, lo que disminuyó la cantidad de artrópodos insectos en el cultivo (SENASICA, 2016). Esto se mantuvo constante durante el periodo de floración y para la colecta cuatro se apreció un incremento del 5.9% de insectos colectados, con respecto a la colecta tres, esto debido a que disminuyeron las aplicaciones conforme el cultivo se acercaba a su madurez fisiológica.

Por otro lado la presencia de *Bemisia tabaci* Gennadius, no se reportó dentro del análisis de diversidad de especies de este trabajo debido a que es una especie que en un corto periodo de tiempo pueden presentarse muchos individuos, esto es por que coexisten generaciones traslapadas y diferentes estados de desarrollo de la misma; además pueden ser resistentes o tolerantes a las medidas de control, lo que hace más difícil su control y virtualmente imposible su erradicación, las poblaciones son muy numerosas, cada hembra pone entre 28 y 534 huevos dependiendo normalmente de la temperatura de la planta huésped (Cuellar y Morales, 2006); por tal motivo y debido a que los individuos capturados de esta especie eran muy abundantes no se contabilizaron, solo se llegó a la identificación de la especie presente, mediante características de pupa y/o exubias. Secker *et al.* (1998) indican que *B. tabaci* es una especie considerada como plaga cosmopolita debido a que tiene un gran número de plantas huésped e infesta un amplia gama de cultivos por todo el mundo, siendo el algodón uno de los más importantes, donde el aumento de la resistencia del insecto a los plaguicidas es uno de los factores más importantes en la severidad de esta plaga de arribo, lo que incrementa el número de individuos de forma exponencial.

Cuadro 5. Abundancia de artrópodos insectos colectados en seis variedades de algodón FiberMax en cuatro muestreos durante el ciclo de producción 2017. San Pedro de las Colonias, Coahuila, México.

Variedad	Numero de colecta				Total	%
	1	2	3	4		
FM1740	57	16	17	13	103	12.55
FM1830	81	28	54	14	177	21.56
FM1900	15	29	21	15	80	9.74
FM2007	83	11	13	70	177	21.56
FM2334	113	12	27	33	185	22.53
FM989	43	38	11	7	99	12.06
Total: 6	392	134	143	152	821	100

%; porcentaje respecto al total de los insectos colectados por variedad.

4.4. Diversidad de insectos

Las poblaciones se caracterizan por ser grupos funcionales que incluyen a todas las especies que coexisten en un medio e interactúan, es así como los insectos son agrupados por su funcionalidad, destacando que cada grupo cumple un rol especial en los ecosistemas y agroecosistemas, en este sentido, los gremios identificados para los insectos que interactúan con el cultivo del algodón fueron categorizados en depredadores, plagas, parasitoides, polinizadores y polisaprófagos; de los cuales, los depredadores presentaron el mayor número de individuos con 526 especímenes, lo que representa el 63.37 %, este gremio es uno de los de mayor importancia en el ámbito de agronomía como método de control biológico natural, manteniendo a las plagas en supresión, ya que mantienen una tendencia inferior en cuanto al número de individuos con 219 especímenes capturados (33.61%), esto indica que las poblaciones de estos dos gremios se encuentran en equilibrio, ya que reaccionan al incremento y decremento de sus poblaciones, durante el desarrollo del cultivo (Fig. 2). La participación de cada uno de los individuos y en su conjunto poblaciones es importante para que funcione un sistema, al respecto Schuh (1986) menciona que las comunidades de artrópodos se van desarrollando en el tiempo a través de la interacción entre las diferentes especies, con lo cual se da lugar a su organización en niveles tróficos, donde resalta la participación de los gremios, según su función.

La diversidad de individuos para otros gremios es baja, los parasitoides con un 1.57% de representación, polinizadores con un 1.20% y polisaprófagos con 0.24%, estos resultados puede deberse a que el método de muestreo probablemente no fue el más adecuado para la captura de estos gremios (Cuadro 6). Además, Peferoen (1997) indica que las modificaciones en un hábitat por cambios climáticos y las prácticas de manejo del cultivo como son las aplicaciones de insecticidas en cada agroecosistema, alteren la diversidad y pueden tener gran impacto en los procesos ecosistémicos.

Cuadro 6. Gremio de insectos capturados en seis variedades de algodón FiberMax. San Pedro de las Colonias, Coahuila, México, 2017.

Gremio	Variedad						Total de individuos	%
	FM1740	FM1830	FM1900	FM2007	FM2334	FM989		
Depredadores	63	111	60	130	127	35	526	63.37
Parasitoides	2	5	0	1	4	1	13	1.57
Plagas	37	60	19	45	55	63	279	33.61
Polinizadores	1	3	1	1	4	0	10	1.20
Polisaprófagos	0	1	1	0	0	0	2	0.24
Total	103	180	81	177	190	99	830	100.00

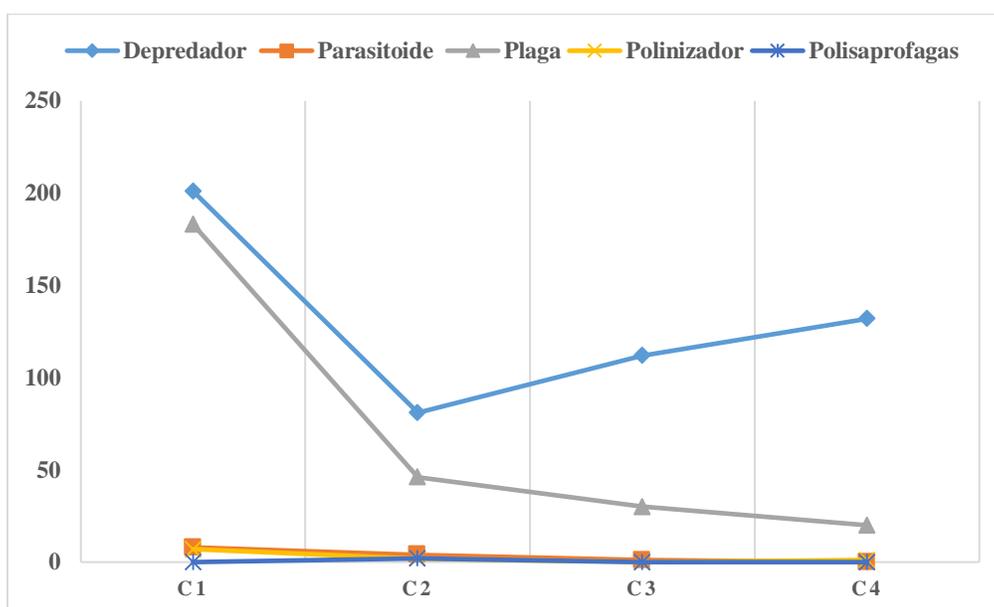


Figura 2. Comportamiento de los gremios colectados en la etapa de floración del cultivo del algodón

En cada una de las variedades se mantuvo dominante el gremio de los depredadores, con excepción del testigo (FM0989), donde las plagas fue el gremio que predominó, posiblemente por la ausencia de la toxina de Bt, siendo *Spodoptera exigua* (n=40; datos de especies no reportados) la especie más abundante, seguida de *Anthonomus grandis* (n=10; datos de especies no reportados), esta última como se mencionó anteriormente es una de las plagas para la zona con mayor problema en el cultivo y que se pretende erradicar (Cuadro 6, Fig. 3). McGaughey (1985) menciona que el desarrollo de resistencia en lepidópteros es considerada la mayor amenaza para el uso efectivo y prolongado de las toxinas Cry de *Bacillus thuringiensis*; en este sentido, Ferré y Van Rie (2002) reportan que en el laboratorio se han obtenido varias colonias resistentes de distintas especies de insectos por los productos comerciales formulados a base de Bt y por ende es probable que en el algodón con la tecnología de Bt también se pueda presentar presión de selección en las colonias de lepidópteros, afortunadamente no son muchos los casos de resistencia al Bt en los campos de cultivos GM; en este sentido Whalon *et al.* (1998) mencionan que es de gran importancia evitar que esto ocurra en algún futuro proponiendo estrategias para evitar y o retrasar que aparezcan insectos resistentes haciendo rotación de variedades que expresen transgenes Bt diferentes, la expresión de más de un gen en la planta, el uso de refugios con plantas convencionales que no sean transformadas siendo esta la estrategia más utilizada.

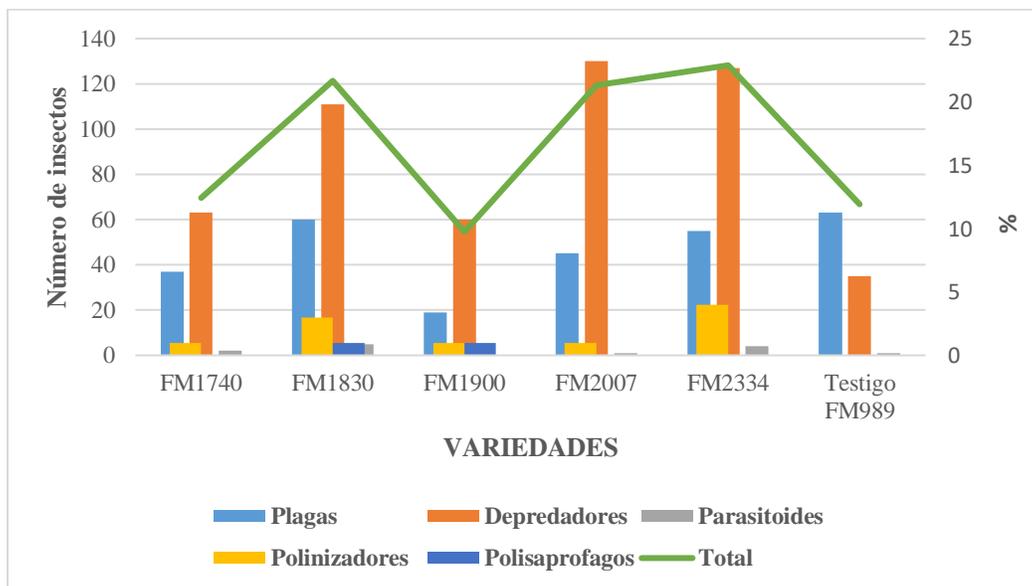


Figura 3. Abundancia de gremios por cada variedad

Hernández (2012) encontró que en maíz GM con la tecnología Bt, existe un excelente control sobre las poblaciones de gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* en la zona de Díaz Ordaz, Tamaulipas, además se obtuvo como resultado un cultivo sano ya que con dicha tecnología reduce la infestación de esta plaga y por ende la defoliación del cultivo. En este mismo sentido, también se indica que el maíz GM con la tecnología Bt brinda una mejor oportunidad de para el establecimiento de esta tecnología ya que existe efectos negativos sobre la abundancia de artrópodos no blanco, además ayuda a reducir los insumos de productos químicos. Por lo tanto esta tecnología puede contribuir a preservar la biodiversidad del agroecosistema en relación a otras opciones de manejo de plagas (Hernández, 2015)

Flores *et al.* (2016) mencionan que el maíz Bt puede ser una herramienta de manejo para prevenir el daño del barrenador de la caña de azúcar en el maíz ya que presentó menor efecto en el cultivo, debido a que encontraron pocos barrenadores en comparación con maíz convencional que presentó mayor daño por dicha plaga.

4.5. Índices de diversidad

Los valores del índice de diversidad de Shannon-Wiener para las diferentes variedades variaron de 0.78 al 1.04 (FM2007 $H' = 0.78$, FM2334 $H' = 0.79$, FM1900, FM989 con $H' = 0.84$, FM1830 $H' = 1.01$ y FM1740 $H' = 1.04$) lo que indica que hubo poca variación de la diversidad con un promedio de 0.88. Magurran (1988) menciona que este índice expresa la uniformidad de todas las especies de una muestra, seleccionando cada individuo de forma al azar teniendo a todas las especies representadas en la muestra. Donde valores inferiores de 1.5 indican baja diversidad, de 1.6 a 3.0 diversidad media y arriba de 3.1 expresa alta diversidad.

Los valores del índice de Simpson fluctúan de 0.14 a 0.33 lo que implica que en las seis variedades FiberMax localizar un individuo de la misma especie entre muestreos y variedades es baja, debido a que Simpson (1949) mide la probabilidad de que dos individuos

de la población extraídos al azar sean de la misma especie donde valores altos indican dominancia de alguna especie.

4.5.1. Análisis de similitud entre variedades de algodón para los artrópodos insectos colectados

En cuanto al análisis de similitud con base al coeficiente de Jaccard, aplicado a la composición de insectos colectados en las seis variedades de algodón FiberMax, indica que la variedad considerada como refugio y/o testigo, cuenta con diversidad de artrópodos insectos diferente al resto de las variedades, además fue la que presentó el menor número de insectos colectados, esto puede deberse a la característica biotecnológica con la que cuentan las variedades (resistencia a insectos por toxinas Bt) (Fig. 4). Aproximadamente al 50% de similitud se agruparon cuatro de las seis variedades (FM1830, FM1900, FM2334 y FM1740), por lo que la interferencia de los insectos en estas variedades es muy parecido, Baev y Penev (1995) mencionan que los índices de similitud expresan el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies presentes en ellas, por lo que son una medida inversa de la diversidad beta, que se refiere al cambio de especies entre dos muestras.

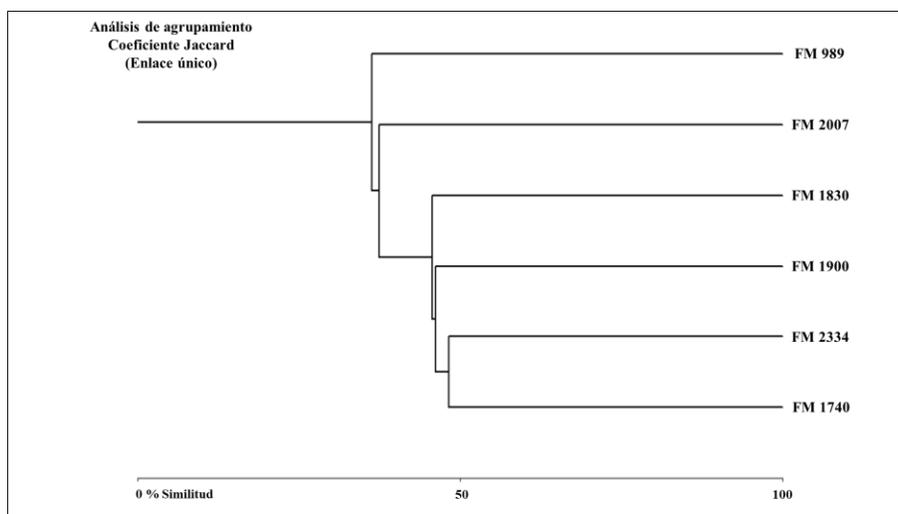


Figura 4. Porcentaje de similitud de los insectos colectados entre seis variedades de algodón.

V. CONCLUSIONES

En este estudio se capturaron 821 especímenes, agrupados dentro de 37 familias y 50 especies pertenecientes a seis órdenes de insectos asociados al cultivo del algodón en San Pedro de las Colonias, Coahuila México. Siendo Hemiptera, Diptera y Coleóptera, los órdenes más representativos.

Las familias más abundantes fueron Anthocoridae (Hemiptera), Coccinellidae (Coleoptera), Chrysopidae (Neuroptera), Noctuidae (Lepidoptera), Choropidae (Diptera), Miridae (Hemiptera), Chrysomelidae (Coleoptera) y Aphididae (Hemiptera).

El comportamiento de los insectos dentro de las variedades FiberMax con Bt fue muy similares en riqueza y abundancia teniendo poca variación en cuanto al número de familias y especies; el mismo resultado se obtuvo con el análisis de los índices de diversidad (Shannon-Wiener, Simpson y Jaccard).

VI. LITERATURA CITADA

- Aguirre M., Z. (2013). Guía de métodos para medir la biodiversidad. Disponible en: <https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/guia-para-medicic3b3n-de-la-biodiversidad-octubre-7-2011.pdf>
- Aronson, A. I. & Shai, Y. (2001). Why *Bacillus thuringiensis* insecticidal toxins are so effective: unique features of their mode of action. FEMS (Federation of European Microbiological Societies) Microbiology Letters, 195(1): 1-8.
- Baev, P. V., & Penev, L. D. (1995). BIODIV Version 5.1. Program for calculating biological diversity parameters, similarity, niche overlap and cluster analysis. Pensoft Publishers Sofia-Moscow, 55 pp.
- Barbalat, S. (1995). Efficacité comparée de quelques méthodes de piégeage sur certains Coléoptères saprophages ou xylophages et influence de l'anthophilie sur le résultat des captures. Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles, 118: 39-52.
- Bravo, A.; Gill, S. S. & Soberon, M. (2007). Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. Toxicon, 49(4): 423-435.
- Buzas, M. A. & Hayek, L. A. C. (1996). Biodiversity resolution: an integrated approach. Biodiversity Letters, 40-43.
- Cervantes P., L. & Pacheco R., I. (2006). Biología y descripción de los estadios ninfales de *Clolula maculatus* Distant (Hemiptera: Heteroptera: Lygaeoidea: Rhyparochromidae: Myodochini). Acta zoológica mexicana, 22(3): 67-73.
- Chaudhary, B.; Flagel, L.; Stupar, R. M.; Udall, J. A.; Verma, N.; Springer, N. M. & Wendel, J. F. (2009). Reciprocal silencing, transcriptional bias and functional divergence of homeologs in polyploid cotton (*Gossypium*). Genetics, 182(2): 503-517.
- Coddington, J. A.; Griswold, C. E.; Silva, D.; Peñaranda, E. & Larcher, S. F. (1991). Designing and testing sampling protocols to estimate biodiversity in tropical ecosystems. In: The Unity of Evolutionary Biology: Proceedings of the fourth

- international congress of systematic and evolutionary biology. Vol. 2. (Revisado el 11 de Noviembre 2018). Disponible en: https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/4389/Coddington_et_al_Des_TestS_AMPProt91.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2009). Biodiversidad Mexicana. Disponible en: https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/pdf/Que_es.pdf
- Conner, A. J.; Glare, T. R. & Nap, J. P. (2003). The release of genetically modified crops into the environment: Part II. Overview of ecological risk assessment. *The Plant Journal*, 33(1): 19-46.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2008). Algodón. (Revisado el 13 de octubre 2018). Disponible en: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/algodon>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2015). Estado actual de los cultivos genéticamente modificados en México y su contexto internacional. Disponible en: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/comunicacion/publicaciones/Estado-actual-de-los-cultivos.pdf>
- Cuellar, M. E. & Morales, F. J. (2006). La mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) como plaga y vectora de virus en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Colombiana de Entomología*, 32(1): 1-9.
- De Maagd, R. A.; Bravo, A. & Crickmore, N. (2001). How *Bacillus thuringiensis* has evolved specific toxins to colonize the insect world. *Trends in Genetics*, 17(4): 193-199.
- De Polanía, I. Z. & Alcaráz, G. A. (2008). Análisis del efecto de dos cultivares transgénicos, algodón y maíz, sobre la principal fauna benéfica en el Espinal (Tolima). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 11(1), 133-142.
- Delvare, G.; Aberlenc, H. P.; Michel, B. & Figueroa, A. (2002). Los insectos de África y de América Tropical: Claves para la identificación de las principales familias. Montpellier, Francia, CIRAD, 259.

- Dhurua, S. & Gujar, G. T. (2011). Field-evolved resistance to Bt toxin Cry1Ac in the pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (Lepidoptera: Gelechiidae), from India. *Pest management science*, 67(8): 898-903.
- Estopier F., A. (2010). Análisis de los costos de producción y cosecha del cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L.) utilizando la variedad transgenica 448B, en el ejido Luchana, Municipio de San Pedro, Coahuila. (Tesis de Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Ferré, J. & Van Rie, J. (2002). Biochemistry and genetics of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annual Review of Entomology*, 47(1): 501-533.
- Flores-Pérez, L. R.; Calyecac-Cortero, H. G.; Goytia-Jiménez, M. A. & Miranda-Rangel, A. (2015). Entomofauna asociada a la higuierilla *Ricinus communis* L. en el Estado de México. *Entomología Mexicana* 2: 358-364.
- Flores, M.; Hernández-Juárez, A.; Aguirre, L. A.; Cerna, E.; Landeros, J.; Frías, G. A. & Ochoa, Y. (2016). Susceptibility of Genetically Modified Maize Hybrids to Sugarcane Borer, *Diatraea saccharalis* (F.), at Sinaloa, Mexico. *Southwestern Entomologist*, 41(4), 991-999.
- García G., L.; Oyola V., Y.; Fernández H, C.; Pérez G., K. & Correa A., E. (2017). Diversidad de artrópodos asociados al algodón Bt y convencional (*Gossypium hirsutum* L.) en Colombia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8 (Mayo-Junio) (Revisada el 25 de marzo de 2019) Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263152088022>
- González F., J. (2012). Los lepidópteros. *asturnatura.com* (en línea). 359. Disponible en: <https://www.asturnatura.com/articulos/lepidopteros-mariposas/inicio.php>
- Grimaldi, D.; Engel, M. S. & Engel, M. S. (2005). *Evolution of the Insects*. Cambridge University Press.
- Groot, A. T. & Dicke, M. (2002). Insect-resistant transgenic plants in a multi-trophic context. *The Plant Journal*, 31(4): 387-406.

- Hernández, J., A. (2012). Efectividad biológica del maíz genéticamente modificado para control de lepidópteros y su efecto sobre la diversidad de artrópodos no blanco. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p 121.
- Hernández, J., A. (2015). Resistencia de maíz genéticamente modificado a plagas y su efecto sobre artrópodos no blanco. (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. p 198.
- Hernández-Juárez, A.; Aguirre L., A.; Cerna, C. E.; Flores, D. M., Frías, G. A., Landeros, J., & Ochoa, Y. M. (2019). Abundance of non-target predators in genetically modified corn. *Florida Entomologist*, 102(1), 96-100.
- Higgins, L. S., J. Babcock, P. Neese, R. J Layton, D. J. Moellenbeck and N. Storer. (2009). Three-year field monitoring of Cry1F, event DAS-01507-1, maize hybrids for Nontarget arthropod effects. *Environmental Entomology*. 38(1): 281-92.
- Losey, J. E.; Rayor, L. S. & Carter, M. E. (1999). Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature*, 399(6733): 214.
- Luna, J. M. (2005). Técnicas de colecta y preservación de insectos. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 37: 385-408. (Revisado el 03 de febrero del 2019). Disponible en: <http://sea-entomologia.org/PDF/GeneraInsectorum/GE-0056.pdf>
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey, 179 p.
- Magurran, A. E. 1989. *Diversidad Ecológica y su medición*. Ediciones Vedral. Barcelona, 200 p.
- Márquez-Hernández, C.; Santana, S.; Ávila, V.; García, J. L.; Preciado, P. & Moreno, A. (2014). Entomofaunistic diversity in a transgenic cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Agroecosystem in Coahuila, Mexico. *Southwestern entomologist*, 39(2): 317-327.
- McAlece, N.; Gage, J. D. G.; Lamshead, P. J. D. & Paterson. G. L. J. (1997). *BioDiversity Professional Statistics Analysis Software*. Jointly developed by Scottish Association for Marine Science and Natural History Museum. London.

- McGaughey, W. H. (1985). Insect resistance to the biological insecticide *Bacillus thuringiensis*. *Science*, 229(4709): 193-195.
- Méndez-López, A.; Córdova-Téllez, L.; Sánchez-Vega, M.; Salazar-Torres, J. C. & García-Martínez, O. (2018). Diversidad y abundancia de chicharritas en *Jatropha curcas* L., en Mazatepec, Morelos, México. *Southwestern Entomologist*, 43(3): 733-742.
- Morrone, J. J.; Espinosa, D.; Fortino, A. D. & Posadas, P. (1999). El arca de la biodiversidad. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 87 p.
- Morse, R. J.; Yamamoto, T. & Stroud, R. M. (2001). Structure of Cry2Aa suggests an unexpected receptor binding epitope. *Structure*, 9(5): 409-417.
- Naranjo, S. E. (2009). Impacts of Bt crops on non-target invertebrates and insecticide use patterns. *CAB Reviews Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources*, 11: 1-11.
- Naranjo, S. E. & Ellsworth, P. C. (2010). Fourteen years of Bt cotton advances IPM in Arizona. *Southwestern Entomologist*, 35(3), 437-445.
- Neumann, M. & Starlinger, F. (2001). The significance of different indices for stand structure and diversity in forests. *Forest Ecology and Management*, 145(2): 91-106.
- New, T. R. (1998). Invertebrate surveys for conservation. Oxford University Press.
- Oerke, E. C. & Dehne, H. W. (2004). Safeguarding production losses in major crops and the role of crop protection. *Crop Protection*, 23(4): 275-285.
- Ortiz S., F. J. & Tinaut, A. (1993). Composition and latitudinal variation of the fauna of potential pollinators of almond, *Prunus dulcis* (Mill.), in the province of Granada (South of Spain). *Boletín de Sanidad Vegetal. Plagas (España)*.
- Peferoen, M. (1997). Progress and prospects for field use of Bt genes in crops. *Trends in Biotechnology*, 15(5): 173-177.
- Pescador-Rubio A.; Rodríguez-Palafox, A.; Noguera, F. A.; Vega-Rivera, J. H.; García-Aldrete, A. N. & Quesada-Avenidaño, M. (2002). Diversidad y estacionalidad de Arthropoda. *Historia Natural de Chamela*, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F., pp. 183-201

- Pielou, E. C. (1969). *An Introduction to Mathematical Ecology*. Wiley Inter Science. New York, EE.UU. 98 p. Disponible: <http://rev-invope.univ-paris1.fr/files/26205/IO-26205-9.pdf>.
- Porcar, M. & Juárez-Pérez, V. (2004). Aislamiento y establecimiento de una colección de *Bacillus thuringiensis*. En *Bacillus thuringiensis* en el control biológico. Bravo, A. & Cerón, J. eds. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 2004; pp. 69-100.
- Portela-Dussán, D. D., Chaparro-Giraldo, A. & López-Pazos, S. A. (2013). La biotecnología de *Bacillus thuringiensis* en la agricultura. *Nova*, 11(20), 87-96.
- Quinlan, J. (1978) Hymenoptera Cynipoidea Eucoilidae. Handbooks for the identification of British insects vol VIII, part 1(b). Royal Entomological Society of London, London. 1-58.
- Rodríguez, M.; Aguilar, M.; Martínez, C.; Terán, V. & Lagunes, T. (2005). Manejo de la resistencia a la endotoxina CRY1Ac de *Bacillus thuringiensis* var *kurstaki* que expresa el algodón Bollgar En: Resúmenes del XXXII Congreso de Sociedad Colombiana de Entomología, Ibagué, Tolima, Colombia.
- Rodrigues, T. R., Fernandes, M. G., & Santos, H. R. D. (2010). Spatial distribution of *Aphis gossypii* (Glover) (Hemiptera, Aphididae) and *Bemisia tabaci* (Gennadius) biotype B (Hemiptera, Aleyrodidae) on Bt and non-Bt cotton. *Revista Brasileira de Entomologia*, 54(1), 136-143.
- Roh, J. Y.; Choi, J. Y.; Li, M. S.; Jin, B. R. & Je, Y. H. (2007). *Bacillus thuringiensis* as a specific, safe, and effective tool for insect pest control. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17(4): 547.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, Algodón mexicano. 16 p. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257068/Potencial-Algod_n.pdf
- Santana-Espinoza, S.; Ávila-Rodríguez, V.; Castañeda-Gaytan, G.; De La Cruz-Lázaro, E.; García-De La Peña, C.; Romero-Méndez, U. & Márquez-Hernández, C. (2015). Entomofauna presente en algodónero (*Gossypium hirsutum* L.) genéticamente

- modificado en zonas productoras de México. *Southwestern Entomologist*, 40(1): 151-161.
- Sarmiento, A. A. (1978). Bases técnicas del cultivo del algodón en Colombia. Bogota, Colombia, 17.
- Sauka, D. H. & Benintende, G. B. (2008). *Bacillus thuringiensis*: generalidades. Un acercamiento a su empleo en el biocontrol de insectos lepidópteros que son plagas agrícolas. *Revista Argentina de Microbiología*, 40(2).
- Schuh, R. T. (1986). The influence of cladistics on heteropteran classification. *Annual Review of Entomology*, 31(1): 67-93.
- Secker, A. E.; Bedford, I. D.; Markham, P. G. & Williams, M. E. C. (1998). Squash, a reliable field indicator for the presence of the B biotype of tobacco whitefly, *Bemisia tabaci*. In: Brighton Crop Protection Conference: Pests & Diseases-1998: Volume 3: Proceedings of an International Conference, Brighton, UK, 16-19 November 1998. pp. 837-842. British Crop Protection Council.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA). 2016. Programa de trabajo contra plagas reglamentadas del algodón 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.
- Silva, C., A. (2005). Algodón genéticamente modificado. *Revista Agro-Bio*. (Revisado el 02 de enero del 2019). Disponible en: <https://www.argenbio.org/adc/uploads/pdf/AlgodF3n20GenE9ticamente20Modificado.pdf>
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163(4148): 688.
- Smith, D. R. (1995). A new species of Xiphidriidae (Hymenoptera) from Chile. *Revista Chilena de Entomología*, 22: 21-24.
- Steyskal, G. C.; Murphy, W. L. & Hoover, E. M. (1986). Insects and mites: Techniques for collection and preservation. U. S. Department of Agricultura, Miscellaneous Publication No. 1443.

- Toledo, V. M. & Moguel, P. (1996). En busca de un café sostenible en México: la importancia de la diversidad biológica y cultural. Centro de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Trigo, Y. M.; Chauvet, M.; Zavala, Y. C.; Ochoa, R. E. B. & Aguirre, R. L. G. (2015). Consecuencias de la biotecnología en México: el caso de los cultivos transgénicos. *Sociológica México*, (44): 133-159.
- Tripplehorn, C. A. & Johnson, N. F. (2005). Borror and DeLong's introduction to the study of insects. Thomson Brooks/Cole, Belmont, California.
- Vachon, V.; Laprade, R. & Schwartz, J. L. (2012). Current models of the mode of action of *Bacillus thuringiensis* insecticidal crystal proteins: a critical review. *Journal of Invertebrate Pathology*, 111(1): 1-12.
- Wason, E. L. & Pennings, S. C. (2008). Grasshopper (Orthoptera: Tettigoniidae) species composition and size across latitude in Atlantic Coast salt marshes. *Estuaries and Coasts*, 31(2): 335-343.
- Whalon, M.; Ferro, D.; Mellon, M. & Rissler, J. (1998). Now or never: serious new plans to save a natural pest control. Union of Concerned Scientists. https://www.ucsusa.org/sites/default/files/legacy/assets/documents/food_and_agriculture/now-front.pdf
- Whittaker, R. H. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 213-251.
- Wilson, E. O. (1992). The diversity of life. W. W. Norton & Company. New York. London.
- 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
- Zhao, J. H.; Ho, P. & Azadi, H. (2011). Benefits of Bt cotton counterbalanced by secondary pests? Perceptions of ecological change in China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 173(1-4), 985-994.