

APLICACIONES BIOTECNOLÓGICAS EN EL CONTROL BIOLÓGICO

Cantú-Ruiz, A. L., Galván-Quintero, A. O., Mar-Solís, L. M.

Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas, UANL

Resumen

Las plagas de insectos son un problema importante para la salud, estos son transmisores de enfermedades en humanos y en plantas, al atacar las plantas limitan el aumento de la producción mundial de alimentos. Existen diversas alternativas para el control de insectos entre las cuales destacan el control físico, mecánico, químico y biológico. Entre las alternativas más utilizadas se encuentra el control químico, pero estos pueden causar problemas para la salud humana, la agricultura y el medio ambiente, en los últimos años la biotecnología ha permitido que el control biológico desplace al químico, debido a que sus productos pueden usarse con seguridad porque no dañan al medio ambiente. Entre los agentes de control biológico se encuentran: los entomopatógenos, insectos beneficiosos, insecticidas botánicos y feromonas. En este plantea las estrategias para el control biológico que se actualmente se están empleando en el continente Americano, México y la Unión Europea. El enfoque de control biológico, será necesario en el futuro más que en la actualidad, conforme los problemas con una mayor diversidad de especies invasoras continúen creciendo a un paso alarmante.

Palabras Clave: Control de Insectos, Biotecnología, Entomopatogenos, Insectos Beneficiosos, Insecticidas Botánicos, Feromonas.

A lo largo de la historia la humanidad ha enfrentado múltiples adversidades, en múltiples sectores, como lo son el agrícola y médico. Un claro ejemplo de estos problemas son las plagas que durante toda la historia han azotado los cultivos provocando grandes pérdidas de alimento para el aprovechamiento humano, y bien, enfermedades transmitidas por los insectos vectores como lo es la malaria que es transmitida por mosquitos del género *Anopheles* (**Figura 1**).



Figura 1: Mosquito del género *Anopheles*, transmisor de la malaria

Por ello, se han empleado diferentes técnicas que permitan controlar las poblaciones de las mismas, una de las técnicas más comúnmente utilizadas es el uso de plaguicidas los cuales se ha observado que han generado más brotes recurrentes de plagas resistentes a los mismos, además de producir enfermedades en numerosos cultivos, contribuir a la salinización y erosión del suelo, contaminación de aguas y otros problemas ambientales. Debido a lo anterior, se ha requerido volver a técnicas antiguamente utilizadas para poder combatir los problemas anteriormente mencionados; una de estas técnicas es el control biológico el cual consiste en el uso de enemigos naturales y microorganismos para el control de sus poblaciones incluyendo competencia, prefación, parasitismo y patogenicidad.

El control biológico de especies es una técnica que ha sido utilizada desde tiempos muy antiguos, los primeros registros datan del siglo III por chinos para el control de plagas de árboles de

cítricos. Sin embargo, fue hasta el siglo XIX cuando el control biológico de plagas despertó un gran interés debido al éxito que se consiguió con la introducción de la mariquita *Rodolia cardinalis* para el control de la cochinilla acanalada *Icerya purchasi* (Figura 2). Posteriormente, en el año de 1883 se llevó a cabo el primer importe de parasitoides a Estados Unidos proveniente de Europa. Seguido de eso estudios de enfermedades en insectos por Agostini Bassi con el uso del hongo *Beauveria bassiana* como atacante del gusano de seda, *Bombyx mori* sugiriendo que cadáveres de insecto triturados aplicados con agua podrían aplicarse a cultivos para matar a insectos.



Figura 2: Control biológico de *Icerya purchasi* con *Rodolia cardinalis*.

Debido a los aspectos anteriormente mencionados, fue necesario plantear en los posteriores años, una estrategia alternativa que se basara en el uso de los principios ecológicos para aprovechar al máximo los beneficios de la biodiversidad en la agricultura, sin embargo, debido a que algunos de los sistemas ecológicos planteados presentaban algunas limitantes fue necesario, con la ayuda de la biología molecular y las herramientas de ingeniería genética presentes en los últimos años, plantear modificaciones en dichos sistemas para la minimización de limitantes, esto, podría ser mediante la mejora de las cosechas debido la producción de plantas resistentes, a enfermedades y plagas, así como modificar algunos insectos con el fin de atacar de maneras distintas múltiples plagas, de tal manera

que se desarrollen métodos que nativamente en un ecosistema no son encontrados. Por esta razón, en la actualidad el control biológico se considera una pieza fundamental e indispensable en cualquier estrategia de agricultura sostenible con base agroecológica, por este motivo, así, este trabajo tratará de englobar algunos de los temas más relevantes referentes al control biológico.

Métodos de control de insectos

El empleo de diferentes herramientas y sistemas para monitorear y controlar la presencia de organismos con gran potencial de plaga se ha llevado a cabo a través de los años, buscando la mejor opción según la situación que se presente. Existen diversas maneras de controlar estas plagas, entre las cuales destacan el control físico, mecánico, químico y biológico.¹ El control físico-mecánico consiste en una serie de procedimientos para eliminar directamente las plagas o, al cambiar su hábitat, este no pueda sobrevivir por mucho tiempo. Algunas de las técnicas empleadas son conocidas desde la antigüedad, como el uso de barreras, trampas, manejo de temperatura, la eliminación manual del insecto en cuestión, así como el empleo de agua hirviendo o la inundación con el fin de eliminar ácaros, sin embargo este último caso es solamente para bajas poblaciones de insectos, con el fin de no dañar el cultivo (Figura 3).²



Figura 3: Control físico-mecánico de *Allium cepa*, mediante aspersión.

El uso de agroquímicos es una alternativa altamente empleada para el control de plagas, siendo responsable de la reducción de daños económicos en los cultivos, debido a su alta efectividad. Sin embargo, la toxicidad elevada de ellos, la persistencia que tiempo después presentan en el medio así como el mal uso de estos insecticidas los han colocado como segunda

opción para el control de plagas.³ Las ventajas que presenta destacan una rápida acción curativa, bajo costo, así como el uso práctico que representa, disminuyendo daños económicos. Entre sus desventajas se menciona la resistencia que estos insectos pueden desarrollar, el empleo de plaguicidas de manera recurrente, brotes de plagas secundarias, daños a organismos secundarios, así como los costos altos que estos pueden presentar. Otro punto clave con respecto al uso de agentes químicos es que, en el caso de los insectos, estos productos se han hecho cada vez más específicos, además de menos contaminantes o tóxicos siendo el costo de estos aumentado de manera considerable. Sin embargo, los insecticidas o los acaricidas, siguen siendo uno de los métodos más prácticos y económicos de uso, a pesar de las limitaciones que presenta.⁴ Un ejemplo de ello es en el caso de la enfermedad de Chagas, transmitido por diversos insectos como *Triatoma infestans*. En los años 1974-1990 se realizó en Brasil un protocolo para la erradicación esta enfermedad, fumigando las viviendas con posibilidad de infección.⁵

Una forma de control utilizada actualmente es el control *biológico*, definida como el control de insectos mediante el uso de organismos benéficos para reducir la densidad de una planta o un animal que causa un daño (**Figura 4**). Este tipo de control busca la reducción de las poblaciones de la plaga de manera equilibrada, con el fin de que no haya pérdidas económicas totales del organismo dañado y a su vez, que el agente controlador no muera, debido a la ausencia de una fuente de consumo (la plaga).⁶

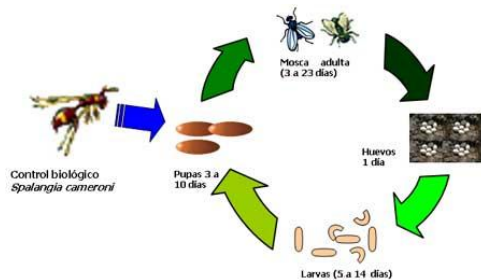


Figura 4: Esquema general del control biológico de insectos. Ejemplo de depredación de *Spalangia cameroni* en la mosca doméstica.

En el caso de los insectos, existen especies entomófagas, que al alimentarse de otros insectos depredadores o parásitos presentan una ventaja en

el uso de estos para un control biológico. Estos depredadores, en su estado larval o adulto requieren el consumo de insectos para su crecimiento realizando un control biológico natural, esto brinda la facilidad de emplearlo como un método de control a gran escala, tomando en cuenta las características del organismo. Un ejemplo de ello es *Rodalia cardinalis*, un coccinélido empleado como control de *Icerya purchasi*, hemíptero encontrado en cítricos. Las moscas blancas o palomillas (*Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*) causantes de severos daños en diversos cultivos ya sea por el daño directo o por transmisión de virus, son controlados por *Encarsia Formosa*, principalmente en los estados ninfales de la plaga⁷



Figura 5: *Bacillus thuringiensis*, formación de cristal.

Además de los insectos, existen bacterias, virus y hongos capaces de ejercer algún control sobre las plagas. Como en el caso de *Bacillus thuringiensis* y *Bacillus popilliae*, colonizadores de insectos de los órdenes Díptera, Ortóptera, Coleóptera así como Himenóptera. Sin embargo estos, en su etapa de esporulación, pueden formar cristales proteicos con efecto insecticida o tóxico (**Figura 5**). Los hongos han sido considerados una de las mejores alternativas para el control de insectos debido a las características que les permiten sobrevivir de forma parasita en los insectos, además de ser más sencilla su recolección y cultivo a nivel laboratorio, entre ellos se encuentra *Bauveria bassiana*, utilizado en cultivos de importancia económica mundial. En Panamá es comercializado como un método de control en forma de emulsión de esporas (**Figura 6**)⁸

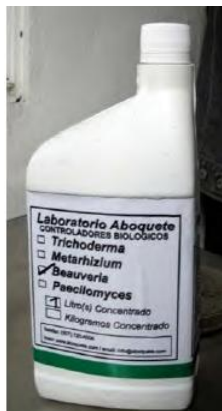


Figura 6: Producto de espora de *Bauveria bassiana*

Métodos biotecnológicos para el control de insectos

Las plagas de insectos son una limitación para el aumento de la producción de alimentos. Los agentes de control biológico, incluidos los enemigos naturales, los entomopatógenos (bacterias, nematos, virus y hongos), los insecticidas derivados de plantas y las hormonas de insectos están siendo de gran interés dado que estos pueden ser utilizados como alternativas a los pesticidas químicos y como componentes esenciales para el manejo de plagas. La biotecnología es de suma importancia para mejorar la eficacia, la rentabilidad y en la ampliación de los mercados para estos bioinsecticidas. Se han utilizado diversas técnicas moleculares para identificar y monitorear el establecimiento y la dispersión de biotipos específicos de enemigos naturales. La biotecnología puede tener un impacto positivo en la seguridad alimentaria de los ataques de insectos y puede contribuir a la sostenibilidad de la agricultura moderna ¹⁸.

Los recientes biopesticidas registrados a nivel global incluyen: Bacterias (104 productos, los cuales en su mayoría son *Bacillus thuringiensis*) (Figura 7), Nematodos (44 productos), Hongos (12 productos), virus (8 productos), protozoos (6 productos) y enemigos naturales (107 productos) ¹⁹. Una ventaja de los biopesticidas es que pueden ser producidos a una escala apropiada con tecnologías que están al alcance de casi todos los países en desarrollo. Esto permitiría el desarrollo de productos específicos para plagas locales. La biotecnología ocupa un papel fundamental ya que podría ayudar a evaluar

la producción de biopesticidas más potentes y rentables. Los productos de control biológico tienen como objetivo una velocidad de acción rápida, amplia gama de huéspedes, una mejor entrega del producto a la plaga y una mejor persistencia en el medio ambiente ¹⁸.

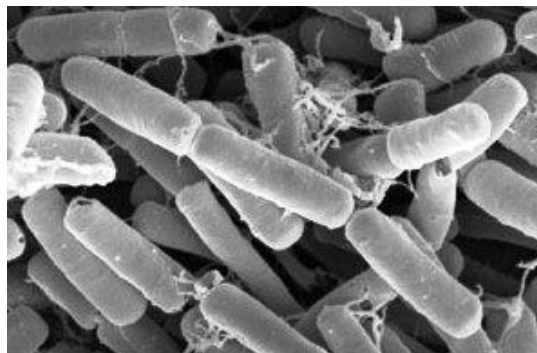


Figura 7: La mayoría de los biopesticidas a partir de bacterias registrados a nivel mundial son de *Bacillus thuringiensis*

Entomopatógenos

El grupo de microorganismos entomopatógenos es variado y diverso entre ellos se encuentran un amplio grupo de virus, bacterias, nematodos y hongos, entre otros (Anexo 1). Cada uno de estos subgrupos se compone de un número de organismos que varían en su manera de infectar, el sitio en que se replican, y el mecanismo patogénico. Mientras que algunos patógenos presentan rangos de hospederos muy amplios, la mayoría prefieren ciertas especies de insectos. También difieren en cuanto a su patogenicidad selectiva de acuerdo a las diferentes etapas de desarrollo del insecto huésped ²⁰.

• Bacterias

En los últimos años, varias especies de bacterias patógenas han sido aisladas, se han desarrollado como pesticidas y utilizadas con éxito en el control biológico de insectos en todo el mundo ²¹. La mayoría de las bacterias patógenas se encuentran en las familias Bacillaceae, Pseudomonadaceae, Enterobacteriaceae, Streptococcaceae y Micrococaceae. Aunque hay muchos tipos diferentes de bacterias que son conocidas por infectar de forma aguda o crónica a los insectos, solo se han registrado para el control de insectos miembros de dos géneros de la orden

Eubacteriales, *Bacillus* (Bacillaceae) y *Serratia* (Enterobacteriaceae). *Bacillus* es considerado el género pesticida más importante ²³.

Las bacterias más patógenas se introducen a los hospederos cuando estos comen alimento contaminado. Estas bacterias se multiplican en el aparato digestivo de los insectos, produciendo algunas enzimas (como la lectinasa y las proteinasas) y toxinas, las cuales dañan las células del intestino medio y facilitan la invasión del hemocele del insecto. Una vez que invaden el hemocele, se multiplican y matan al hospedero por septicemia, por la acción de toxinas o por ambos. En numerosos casos, antes de morir, el insecto huésped pierde el apetito o en otros casos pueden defecar o vomitar, ayudando con esto a la distribución del entomopatógeno. Algunas bacterias pueden infectar a la progenie de los insectos ya sea en los huevos o dentro de estos tal como es el caso de *Serratia marcescens* en la langosta café *Locustana pardalina* (Figura 8) ²².



Figura 8: *Serratia marcescens* infecta la progenie de *Locustana pardalina*

- ***Bacillus thuringiensis* y plantas transgénicas resistentes a insectos.**

Bacillus thuringiensis (*Bt*) es una bacteria Gram positiva omnipresente, formadora de esporas, que produce cantidades masivas de una o más proteínas que cristalizan intracelularmente durante la fase de esporulación. Estas proteínas son conocidas como proteínas *Cry* y son tóxicas principalmente para las larvas de insectos de los órdenes lepidóptera, díptera, coleóptera, himenoptera, homóptera, ortóptera y mallophaga y contra nematodos, ácaros, piojos y protozoos ²⁴. Las proteínas *Cry* se han clasificado en unos 30 grupos diferentes ²⁵.

Si *Bt* se aplica a lugares expuestos a la luz solar, se desactiva rápidamente por radiación ultravioleta directa. Para maximizar la efectividad de los tratamientos con *Bt*, los aerosoles deben cubrir completamente todas las superficies de las plantas, incluyendo la parte inferior de las hojas. Además de la delta endotoxina de *Bt*, también se encuentra la alfa endotoxina, VIP y una diversidad de metabolitos secundarios que también son eficaces contra ciertos insectos, en cepas de *B. cereus* se puede encontrar la Zwittermicina (Anexo 2) (Figura 9) ²⁶.

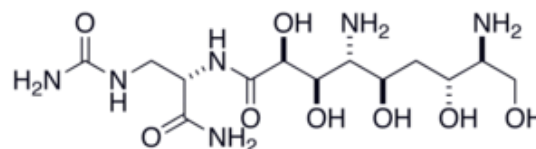


Figura 9: La Zwittermicina A es un antibiótico producido por *Bacillus cereus*.

Los avances en la transformación de plantas, cultivo de tejidos y biología molecular ofrecen un gran potencial para la incorporación de genes que producen la delta endotoxina de *Bt* en cultivos para conferir resistencia contra insectos. Los dos métodos más ampliamente utilizados de transformación de plantas son la transferencia de ADN mediada por *Agrobacterium* y el bombardeo de células con partículas revestidas de ADN. El cultivo transgénico *Bt* tienen genes que codifican las mismas proteínas de *Bacillus thuringiensis*, pero tienen el uso de codones típicos para genomas de plantas y cuentan con la eliminación de todas las señales de procesamiento aberrantes ²⁷. La expresión de toxinas *Bt* se ha realizado en cultivos de cereales, raíces, hortalizas, cultivos forrajeros y árboles. Actualmente los cultivos *Bt* se han comercializado para maíz de campo, maíz dulce y algodón los cuales presentan diferentes propiedades (Anexo 3) (Figura 10) ¹⁸.

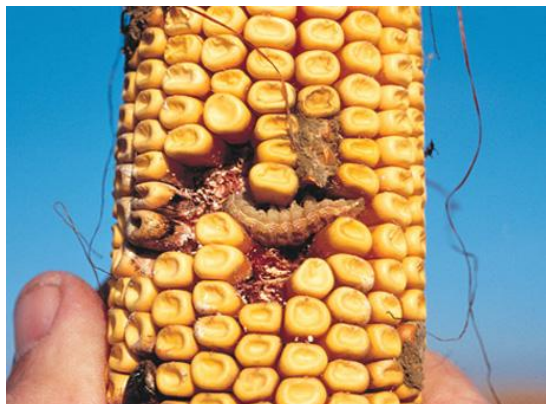


Figura 10: El maíz *Bt* es un tipo de maíz transgénico que produce una proteína de origen bacteriano. La proteína Cry, producida naturalmente por *Bacillus thuringiensis*.

- **Hongos**

Los hongos son un grupo filogenéticamente diverso de microorganismos que son todos eucariotas heterotróficos (nutrición absorbente), unicelulares (levaduras) o hifas (filamentosos) y se reproducen por esporas sexuales y/o asexuales¹⁸. Existen más de 750 especies de hongos entomopatógenos que infectan a insectos, pero pocas han sido consideradas seriamente como posibles candidatos comerciales²³.

Los microinsecticidas son productos formulados con hongos entomopatógenos. Los hongos microorganismos que se encuentran asociados con insectos que viven en diversos hábitats, como el agua, suelo y partes aéreas; por su forma característica de infección son los microorganismos más importantes que infectan insectos chupadores como áfidos, mosquitos blancos, escamas, chicharritas y chinches²⁸.

El hongo invade la hemolinfa, por lo que la muerte del insecto se debe a una combinación de daños mecánicos producidos por el crecimiento del hongo, desnutrición y por la acción de los metabolitos secundarios o toxinas que el hongo produce²⁹. Algunos hongos patógenos de insectos han restringido el rango de hospederos, mientras que otras especies de hongos tienen un amplio rango de hospederos por ejemplo *Metarhizium anisopliae* (**Figura 11**), *M. flavoviridae*, *Paecilomyces farinosus*, *Beauveria bassiana* y *B. brongniartii*, algunos ya son productos a base de estos hongos ya son comercializados en el mercado (**Anexo 4**)²⁸.



Figura 11: Cucaracha asesinada por *Metarhizium anisopliae*

- **Virus**

Las larvas de muchas especies de insectos son vulnerables a epidemias devastadoras de enfermedades virales. Los virus que causan estos brotes son muy específicos, por lo que generalmente actúan sobre un solo género de insectos o incluso una sola especie, por lo tanto, es seguro para el medio ambiente, los seres humanos, plantas y enemigos naturales^{23, 31}. La familia Baculoviridae es la más numerosa y estudiada de los virus entomopatógenos. Esta familia agrupa a virus de ADN de doble cadena cuyos viriones están característicamente incluidos en una matriz proteínica llamado poliedro o cuerpo de inclusión (OB)³⁰. Uno de los casos más exitosos ha sido el uso del nucleopoliedrovirus de *Anticarsia gemmatilis* NPV (AgMNPV) para controlar *A. gemmatilis* en soya en Brasil y fue considerado como el más importante en el mundo^{32, 33}. En China, el nucleopoliedrovirus de *Helicoverpa armigera* SNPV (HaSNPV), se aplica en algodón, soya, maíz y cultivos de tomate, después de que se autorizó por primera vez como insecticida microbiano comercial en 1993 (**Figura 12**)³⁴.



Figura 12: El nucleopoliedrovirus de *Helicoverpa armigera* SNPV, se aplica en algodón, soya, maíz y cultivos de tomate

Los bioinsecticidas a base de baculovirus son agentes de control ideales para ser usados en los programas de manejo integrado de plagas y su acción insecticida es útil: 1) contra aquellas especies fitófagas que han desarrollado resistencia múltiple o cruzada a los insecticidas químicos de síntesis y 2) en los programas de control donde se incluyen agentes biológicos de control susceptibles a la acción de los insecticidas químicos ³⁵.

- **Nematodos**

Los nematodos tienen un gran potencial para la inoculación y la liberación inundativa y el control de una amplia gama de plagas de insectos. Probablemente en términos comerciales son segundos solo de las bacterias, en específico de *Bt*. Las especies de nematodos comercialmente disponibles como bioinsecticidas se encuentran en tres familias: Rhabditida, Steinernematidae y Heterorhabditidae (**Figura 13**). Los nematodos parasitan a sus huéspedes por penetración directa ya sea a través de la cutícula o apertura natural en el integumento huésped (es decir, espiráculos, boca o ano). La muerte de los insectos no se debe al propio nematodo sino a una bacteria simbiótica que se libera al entrar en el hospedador ¹⁸. Una limitación de los nematodos para el control de insectos es su susceptibilidad al estrés ambiental, temperatura extrema, radiación solar y desecación. Se está explorando el potencial de la ingeniería genética para mejorar estos rasgos, además de la incorporación de genes que confieren resistencia a insecticidas o fungicidas para fines de protección ³⁶.



Figura 13: *Steinernema carpocapsae* es un nematodo entomopatógeno, perteneciente a la familia Steinernematidae.

- **Protozoarios**

Los protozoarios son un grupo extremadamente diverso con relaciones que van desde comensales a patógenos. Por lo general son de acción lenta y debilitante en lugar de rápida y aguda. Aunque son importantes en la regulación biológica natural, estos no poseen los atributos necesarios para un insecticida microbiano exitoso. La mayoría de las infecciones por protozoarios causan lentitud, crecimiento irregular o lento, lo que resulta en una reducción de la alimentación, vigor, fecundidad y longevidad. Las especies de los géneros *Nosema* y *Varimorpha* parecen ofrecer el mayor potencial de uso como insecticidas. Los patógenos de estos géneros atacan larvas de lepidóptera y ortóptera. Actualmente hay un producto de este tipo registrado contra los saltamontes y el grillo mormón. *Nosema locustae* es conocido por infectar al menos 60 especies diferentes de saltamontes y grillos, se vende bajo el nombre comercial de Nolo Bait (**Figura 14**). Es más eficaz cuando es ingerido por saltamontes inmaduros. Las infecciones progresan lentamente; donde el patógeno mata al saltamontes, la muerte ocurre 3 a 6 semanas después de la infección inicial ³⁷.



Figura 14: Esporas de *Nosema locustae* llenan los tejidos grasos del cuerpo de un saltamontes infectado, haciendo que parezcan grumosos y blancos.

Insectos Benéficosos

Hasta el presente, se conoce más de un millón de especies de insectos distribuidas en todo el mundo. De esta enorme diversidad, se estima que en los agroecosistemas únicamente el 3% de las especies se comporta como plaga y el 97% está integrado por fauna auxiliar, de la cual, el 35% está representado por enemigos naturales de las plagas, entre los que destacan diversas especies de insectos depredadores y parasitoides, mientras que el 62% restante lleva a cabo otras funciones³⁸.

- ***Insectos Depredadores***

Son organismos de vida libre y matan a sus presas al alimentarse de ellas. Las hembras de los depredadores depositan sus huevos cerca de las posibles presas. Al eclosionar los huevos, las larvas o ninfas buscan y consumen sus presas. Los depredadores generalmente se alimentan de todos los estados de desarrollo de sus presas; en algunos casos, los mastican completamente y en otros les succionan el contenido interno, en este caso, es

frecuente la inyección de toxinas y enzimas digestivas³⁹. De acuerdo a sus hábitos alimenticios se clasifican en: Polífagos (Se alimentan de especies pertenecientes a diversas familias y géneros), Oligófagos (Se alimentan de presas que pertenecen a una familia, varios géneros y especies), Monófagos (Se alimentan de especies que pertenecen a un solo género).

Algunos insectos depredadores que se han utilizado con éxito en la agricultura son: larvas de la mosca *Aphidoletes aphidimyza* (Cecidomyiidae) para el control de pulgones, diversas especies de chinches del género *Orius* (Anthocoridae) que se alimentan de trips (**Figura 15**) y *Anthocoris* depredador de ácaros, larvas del díptero *Episyrphus balteatus* (Syrphidae) depredador de pulgones, las catarinitas *Stethorus punctillum* y *Coccinella septempunctata* (Coccinellidae) depredadores de ácaros y pulgones respectivamente, así como *Cryptolaemus montrouzieri* para el control del piojo harinoso de los cítricos, larvas y adultos de la crisopa *Chrysoperla spp.* (Chrysopidae) para el control de pulgones, ácaros y moscas blancas (**Anexo 5**)^{40,41}.



Figura 15: *Aphidoletes aphidimyza* es un insecto depredador utilizado para el control de pulgones y diversas especies de chinches del género *Orius*.

- ***Insectos Parasitoides***

Los parasitoides son organismos generalmente monófagos. En su estado inmaduro, las larvas se alimentan y desarrollan dentro, o sobre el cuerpo de un solo insecto hospedero, al cual matan lentamente, ya sea que se trate de huevecillos, larva, pupa o muy raramente adulto de este. En la mayoría de los casos consumen todo o la mayor parte del hospedero, al término de su desarrollo larvario le causan la muerte y forman una pupa ya sea en el interior o fuera del cuerpo. Normalmente son más pequeños que el hospedero. Este tipo de enemigos naturales pueden tener una

generación al año o presentar dos o más generaciones al año ^{42, 43}.

Los insectos parasitoides son los enemigos naturales más utilizados en el control biológico aplicado y juegan un papel fundamental como reguladores naturales, esto debido a que tienen un nivel de especialización mayor al de los depredadores. Las principales especies parasitoides utilizadas son: 84% del orden Hymenoptera, 14% Díptera y 2% otros ordenes (**Anexo 6**) (**Figura 16**) ⁴⁴.



Figura 16: Las principales especies de insectos parasitoides utilizadas son del orden Hymenoptera.

Insecticidas botánicos

Los insecticidas botánicos son derivados de algunas partes o ingredientes activos de las plantas. Estos productos vegetales son muy eficaces, menos costosos, biodegradables y más seguros que sus equivalentes sintéticos, los cuales son altamente persistentes en el medio ambiente y tóxico para los organismos no blanco, incluidos los humanos a los cuales les causan muchas de las enfermedades no identificadas después de la bioacumulación ⁴⁵.

El efecto nocivo de los extractos de plantas o sus compuestos puros contra los insectos se puede manifestar de diversas maneras, incluyendo la toxicidad, la mortalidad, inhiben el crecimiento, la supresión de comportamiento reproductivo y reducen la fertilidad y la fecundidad (**Figura 17**) ⁴⁶.

La agricultura orgánica promueve el equilibrio entre el desarrollo agrícola y los componentes del agroecosistemas, y por esto los plaguicidas botánicos, aplicados tanto preventivamente como para controlar un ataque

severo de plaga, respetan este principio, porque además de su efecto tóxico y/o repelente, se descomponen rápidamente y no causan resistencia ⁴⁷.



Figura 17: *Tagetes patula* es una planta tóxica para las larvas de diferentes mosquitos. Sus secreciones radiculares son una barrera eficaz contra nematodos.

Feromonas para el control de plagas de insectos

Las feromonas son compuestos utilizados como señales de comunicación por los insectos. Los métodos de control directo de insectos que usan feromonas incluyen la captura masiva, las tácticas de interrupción de apareamiento (solo funciona con poblaciones aisladas), las tácticas de atraer y matar, siendo esta última la más eficiente. La combinación de feromonas y patógenos está diseñada para no matar a los insectos de inmediato, su objetivo es usarlos como vector de la enfermedad en la población más amplia. Todas las feromonas actualmente comercializadas se fabrican mediante síntesis química, pero también pueden ser obtenidas mediante métodos biotecnológicos, los cuales se espera que desplacen a la síntesis química en un futuro ¹⁸.

Uso de biotecnología en el control biológico en la Unión Europea

El control biológico de insectos sigue siendo un tema controversial en la actualidad, tanto en países desarrollados como en proceso de desarrollo. Específicamente en el caso de los insectos manipulados genéticamente.

En el año 2010, se reportó que, aproximadamente 230 especies de insectos depredadores, procedentes de 10 grupos taxonómicos fueron utilizados para el control de plagas de todo el mundo. De esa cantidad, 170 especies se emplearon en Europa (Figura 5), siendo un 95% clasificado como artrópodos. ⁹

Miembros de la familia *Cleridae* son depredadoras importantes de *Ips typographus*, ubicado en Europa Central, tal es el caso de *Thanasimus* spp. También se puede mencionar a *Phitoseiulus permisimilis*, empleado para el control de ácaros.⁶

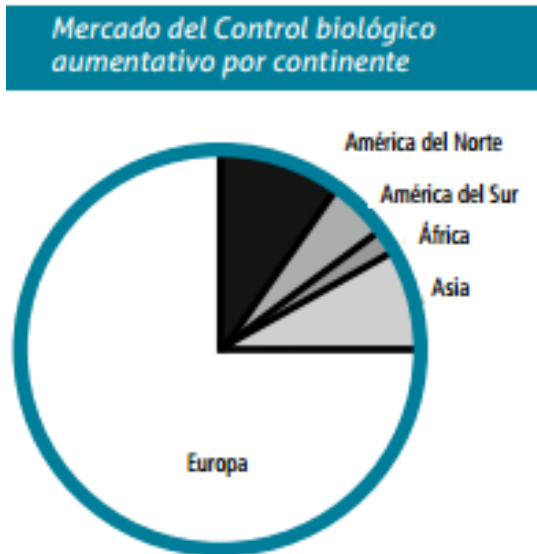


Figura 5: Control biológico empleado por continente.

Con respecto a los insectos transgénicos, se llevó a cabo un intento de liberar insectos modificados genéticamente al medio ambiente en Europa, particularmente en España. En el año 2013, la empresa británica Oxitec, caracterizada por manipular genéticamente insectos plaga como lo son *Plutella xylostella*, y *Ceratitis capitata*, solicitó al gobierno español permiso para la liberación de ejemplares macho de la mosca de olivo, denominada OX3097D. Dichas moscas presentan letalidad a tetraciclina en la descendencia femenina, así como un marcador de fluorescencia para distinguir las moscas transgénicas de las silvestres. Ante esta solicitud, diversas organizaciones ecologistas, entre ellas Greenpeace alzaron la voz, oponiéndose ante la solicitud debatiendo que, “La liberación de insectos modificados genéticamente en el medio es un experimento peligroso que convertirá a toda Europa en un laboratorio al aire libre. Los insectos no respetan las fronteras, y la esterilidad nunca es 100% efectiva. Podrían escaparse del área de experimentación y si, como con tantos otros ensayos, las cosas no funcionan según el plan, será imposible dismantelar el experimento”. Ante el rotundo rechazo que el Departamento de

Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (DARP) dio con respecto a la liberación de estas moscas, Oxitec retiró la solicitud en el año 2015. De haber sido aceptada esta solicitud se hubiera convertido en la primera liberación de insectos transgénicos en Europa.¹⁰

Aplicación de la biotecnología para el control biológico en el continente Americano y México

La aplicación de la ingeniería genética para mejorar la resistencia de cultivos a plagas o patógenos ha abierto un sinfín de posibilidades para el control biológico. Un ejemplo es el cultivo en el norte de México y en Estados Unidos, de algodón BOLLGARD® producido por la compañía Monsanto, el cual se comenzó a cultivar a partir del año 1996, seguidos por Argentina y Colombia en el año 2004¹¹, dicha planta también es utilizada con la capacidad de producir una proteína que es generada naturalmente por *Bacillus thuringiensis* subsp. *kurstaki* (*B.t.k.*) la cual es tóxica para los insectos especialmente para Lepidópteros y para sus orugas, dicho cultivo es eficaz contra las especies *Helicoverpa armigera*, *Pectinophora gossypiella* y *Earias insulana*¹² los cuales son de gran importancia ya que generalmente son las encargadas de plagar los cultivos de algodón.

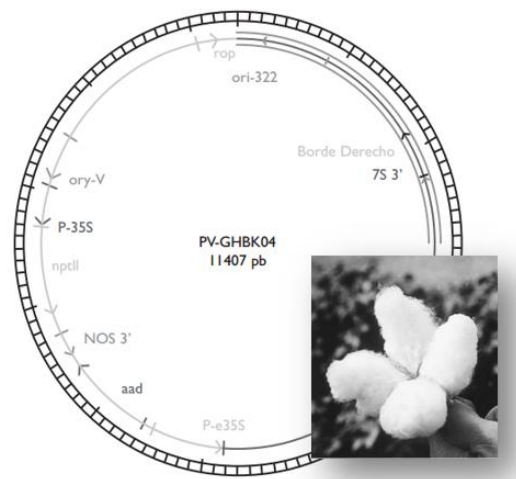


Figura 6. Mapa del Plásmido PV-GHBK04 utilizado dentro de *A. tumefaciens* para producir algodón Bollgard, además se muestra la flor de dicho algodón.

En México destacan principalmente los ejemplos como el ya mencionado de *Bacillus thuringiensis* y de hongos que atacan insectos. En el caso de agentes biológicos para el control de

enfermedades (principalmente producidos por hongos), los éxitos comerciales son todavía limitados y están basados principalmente en hongos de los géneros *Trichoderma*, *Gliocladium*, *Streptomyces*, *Coniothyrium* y *Candida*, y bacterias de los géneros *Pseudomonas*, *Bacillus* y *Agrobacterium*¹³.

El uso comercial y a gran escala de este tipo de productos ha sido muy limitado, una de las limitantes más importantes para alcanzar el uso a nivel comercial de los agentes de control biológico es que, a diferencia de los pesticidas o antimicrobianos químicos, que generalmente hacen disminuir rápidamente la densidad de la plaga o la severidad de la enfermedad, la eficacia de los productos biológicos en el campo depende sensiblemente de factores ambientales difíciles de controlar (temperatura, humedad, acidez, exposición a luz ultravioleta, etcétera)¹⁴. Además, la comercialización de los agentes de control biológico se ha visto limitada por la falta de métodos rigurosos de evaluación que permitan anticipar de manera racional las complejas interacciones entre planta, la plaga o agente patógeno, el agente de control biológico, el suelo y el ambiente, presentes todos en el campo¹⁵.

Por otra parte, para el resto de América en Brasil específicamente, se ha aplicado control biológico para el barrenador de la caña de azúcar con el uso de parasitoides, para el gusano terciopelo de la soya con AgMNPV, chinches de la soya con parasitoides, avispa de la madera *Sirex* con nematodos, entre algunos otros, mediante métodos clásicos de biotecnología. Así mismo, en Chile se ha aplicado a la polilla de los brotes de los pinos con *Orgilus obscurator*, oscas caseras con parasitoides, y hay muchos otros programas aumentativos en desarrollo para el control de un mayor número de plagas; en Colombia se busca atacar a plagas del algodón, soya, sorgo y caña de azúcar con *Trichogramma* y otros parasitoides, moscas caseras con parasitoides, entre otras; Venezuela para el barrenador de la caña de azúcar el uso del gusano soldado (*Telenomus*), para plagas del sorgo (*Trichogramma*), entre algunos otros; Perú plagas de la caña de azúcar, arroz y maíz (*Trichogramma*, *Telenomus*), plagas en cítricos (*Aphytis local*), plagas en olivo (*Methaphycus*) y otros¹⁶.

Perspectivas a futuro del uso del control biológico

Debido a que aumentarán las demandas de pruebas de especificidad de hospederos, las que son complicadas y lentas, es posible que muchos programas factibles terminen en el laboratorio del investigador y tal vez en el futuro, sólo serán posibles en laboratorios especializados con equipos cooperativos que estén disponibles para cubrir los muchos aspectos del trabajo. Sin embargo, especialmente el enfoque de control biológico, será necesario en el futuro aún más que en la actualidad, conforme los problemas con una mayor diversidad de especies invasoras continúen creciendo a un paso alarmante¹⁶.

Por ello, esta área aún está por desarrollarse en México de manera más completa, con respeto a los organismos con capacidad de control biológico. Ya que actualmente, esfuerzos por buscar la sustentabilidad de los cultivos y preservar el ambiente demandan una visión interdisciplinaria en la concepción y diseño de nuevas estrategias de manejo de las enfermedades. Por otro lado, la diversidad ecológica de nuestro país, el hecho de que nuestros sistemas agrícolas se encuentran relativamente poco perturbados, y la composición socioeconómica y cultural de los productores mexicanos, hacen del control biológico una opción con futuro¹⁷.

Conclusión

Las alternativas mencionadas en este trabajo representan un método viable para ser utilizados dentro de esquemas de control biológico de plagas causantes de enfermedades tanto en humanos como en plantas. Su uso permite mantener la productividad del campo sin contaminarlo y sin poner en riesgo la salud de la población que entra en contacto directo o en forma indirecta con estos insumos. Sin embargo, es necesario realizar estudios de impacto ambiental del lugar donde se utilicen, ya que si el agente biológico que se está utilizando no es originario de la región donde se esté aplicando, se corre el riesgo de la introducción de nuevas cepas u organismos que pueden en algunos casos, traer consigo un desplazamiento de las especies que ya están establecidas.

Literatura citada

- 1- Universidad Autónoma de la Ciudad de Juárez. 2012. Introducción a las plagas. Hoja técnica de divulgación Científica. 1(1): 1-4.
- 2- Jiménez E. 2009. Métodos de Control de Plagas. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- 3- Universidad de Alicante. Oferta Tecnológica: Control biológico de plagas y enfermedades vegetales. Servicio Gestión de la Investigación y Transferencia de la Tecnología. Acceso 17/03/2017. Disponible en: <https://sgitt-otri.ua.es/es/empresa/documentos/ot-0811-control-biologico-de-plagas.pdf>
- 4- Cermeli M., Díaz G. 2016. Control Químico de Insecto Plaga. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía
- 5- García M., Marsden P. 1994. Enfermedad de Chagas: Control de Vigilancia con insecticidas y participación comunitaria en Mambá, Goiás, Brasil. *Bol of Sanit Panam.* 116(2):97-110.
- 6- Nicholls C. 2008. Control biológico de insectos: un enfoque agroecológico. *Ciencia y Tecnología.* Editorial Universidad de Antioquia.
- 7- Badii M., Abreu J. 2006. Control Biológico una forma sustentable del control de plagas. *International Journal of Good Conscience.* 1(1); 82-89.
- 8- González M., Aguilar C., Rodríguez R. 2012. Control de Insectos-Plaga en la Agricultura utilizando Hongos Entomopatógenos: Retos y Perspectivas. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila.* 4(8):42-55.
- 9- Alvear A. 2013. Situación Actual del Control Biológico en Europa. RedAgricola. Acceso: 17/03/17. Disponible en: <http://www.anasac.cl/agropecuario/wp-content/uploads/Situacion-actual-del-control-biologico-en-Europa.pdf>
- 10- Soberanía Alimentaria Biodiversidad y Culturas. 2013. ¿Insectos transgénicos para controlar las plagas? Acceso: 17/03/17. disponible en: https://revistasoberaniaalimentaria.files.wordpress.com/2013/08/moscas-oxitec_definitivo.pdf
- 11- Silva Castro, C. A., & Castro, C. A. S. (2005). Algodón genéticamente modificado (No. PDF 118).-393
- 12- Novillo, C., Soto, J.Y Costa, J. 1999. Resultados en España con variedades de algodón, protegidas genéticamente contra las orugas de las cápsulas. *Bol. San. Veg. Plagas* 25:383
- 13- Carreón, L. S., & Fentanes, E. G. Control biológico de organismos fitopatógenos: un reto multidisciplinario.
- 14- Moffat, A.S. (2001), "Finding new ways to fight plant diseases" *Science*, 292, 2270-2273.
- 15- Serrano, L., C. Flores, M. Patiño, M. Ortiz, V. Albiter, M. Caro, R. Allende, A. Carrillo, E. Galindo (2003), "Desarrollo de bioprocesos para la producción de agentes de control biológico: experiencias de escalamiento y pruebas de campo", *Memorias del X Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*, Puerto Vallarta, Jalisco
- 16- Van Driesche, R. G., Hoddle, M., Center, T. D., Ruíz, C. E., Coronada, B. J., & Manuel, A. J. (2007). Control de plagas y malezas por enemigas naturales. USDA.
- 17- Woodhead, S.H., A. L. O'Leary, D. J. O'Leary y S. C. Rabatin (1990), "Discovery, development, and registration of a biocontrol agent from an industrial perspective", *Can. J. Plant Pathol.*, 12, 328-331.
- 18- Tipvadee Attathom (2002). Biotechnology for insect pest control *Proc. Sat. Forum, "Sustainable Agricultural System in Asia,"* Nagoya. 12:73-84.
- 19- Waage, J. 1996. Integrated pest management and biotechnology: An analysis of their potential for integration. In G. J. Persley (ed.), *Biotechnology and integrated pest management. Biotechnology in Agriculture* No. 15. CAB International, Wallingford, Oxon., UK. 37-60.
- 20- Aronson, A. I., Beckman, W. and Dunn, P. 2011. *Bacillus thuringiensis* and related insect pathogens. *Microbiological reviews.* 1-24 pp.
- 21- Demir, I., Eryüzlü, E. and Demirbağ, Z., 2012. A study on the characterization and pathogenicity of bacteria from *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera: Lymantriidae). *Turk J Biol.* (36) 459-468.
- 22- Van Driesche, R. G., Hoddle, M. S., Center, T. D. 2007. Uso de patógenos de artrópodos como plaguicidas. En: *Control de plagas y malezas por enemigos Naturales. Sección IX. Capítulo 24.* 443-466.
- 23- Mehra, P., Rana, M., Rai, D., Upadhyay, V., & Pandey, A. P. (2014). *New Approaches in Insect Pest Management Entomopathogens: Trends in Biosciences*, 7(14), 1609-1616.
- 24- Lacey, L. A., and Goettel, M. S. 1995. Current developments in microbial control of insect pests

- and prospects for the early 21st century. *Entomophaga*. 40: 3–27.
- 25- Yamamoto, T. 2001. One Hundred Years of *Bacillus thuringiensis* Research and Development: Discovery to Transgenic Crops. *J. Insect Biotechnol. Seric.* 70:1-23.
- 26- Gatehouse, J. A. and A.M.R. Gatehouse 1998. Genetic engineering of plants for insect resistance. In: (J. E. Rechcigl and N. A. Rechcigl eds.), *Biological and Biotechnological Control of Insect Pests. Agriculture and Environment Series. CRC Press LLC*. 211-241.
- 27- Perlak, F. J., R. L. Fuchs, D. A. Dean, S. L. McPherson, and D. A. Fischhoff. 1991. Modifications of the coding sequence enhances plant expression of insect control protein genes. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 88: 3324-3328.
- 28- Alatorre, R. R. 2007. Hongos entomopatógenos. pp. 127-143. En: L. A. Rodríguez del-Bosque y H. C. Arredondo-Bernal (eds.). *Teoría y Aplicación del Control Biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México*. 303 p.
- 29- Chul Kang, S., S. Park., D. Gyu-Lee. 1999. Purification and characterization of a novel chitinase from the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. *Journal of Invertebrate Pathology*. 73: 276- 281
- 30- Theilmann, D. A., Blissard, G. W., Bonning, B., Jehle, J. A., O'reilly, D. R., Rohrmann, G. F., Thiem, S. and Vlak, J. M. 2005. *Baculoviridae*. pp. 177-185. En: Fauquet, C. M.; Mayo, M. A.; Maniloff, J.; Desselberger, U.; Ball, L. A. (Eds.). *The Eighth report of the international committee on taxonomy of viruses. Elsevier, San Diego, California*. 1259 p
- 31- Yasuhisa, K. 2007. Current status and prospects on microbial control in Japan. *J. Invertebr. Pathol.* 95: 181–186
- 32- Ahmad, I., Ahmd, F., Pichtel, J. 2011. *Microbes and microbial technology: agricultural and environmental applications. Springer Science Business Media LLC*. pp. 415-430.
- 33- Moscardi, F. 1999. Assessment of the application of baculoviruses for control of Lepidoptera. *Ann. Rev. Entomol.* 44: 257–289.
- 34- Sun, X.L., Peng, H. 2007. Recent advances in biological pest insects by using viruses in China. *Virol. Sin.* 22:158–162.
- 35- Rodgers, P. B. 1993. Potential of biopesticides in agriculture. *Pesticide Science*. 39: 117-129
- 36- Harrison, R. L. and B. C. Bonning. 1998. Genetic engineering of biocontrol agents for insects. In J. E. Rechcigl and N. A. Rechcigl (eds.), *Biological and Biotechnological Control of Insect. Agriculture and Environment Series. CRC Press LLC*. 243-280
- 37- Gaugler, R., P. Grewal, H.K. Kaya, and D. Smith-Fiola. 2000. Quality Assessment of Commercially Produced Entomopathogenic Nematodes. *Biological Control.*; 17:100–109.
- 38- Najera, M.B.; Souza, B. 2010. *Insectos benéficos. Guía para su identificación. Instituto Nacional de investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias México*. 72 pp.
- 39- Badii, M.H.; Flores, A.E.; Quiroz, H.; Foroughbakhch, R.; Torres, R. 2000. Depredación y control biológico. EN: *Fundamentos y Perspectivas de Control Biológico*. Badii, M.H., A.E. Flores; L.J. Galán W. (Eds.). *Universidad Autónoma de Nuevo León. San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México*. pp. 53-60.
- 40- Garrido V.A. 1991. La lucha biológica. EN: *Primeras jornadas sobre agricultura ecológica compatible. Badajoz, España*. pp. 41-52.
- 41- van Lenteren, J.C. 1995. Basis of biological control of arthropod pests in protected crops. IN: *Integrated Pest and Disease Management in Protected Crops. CIHEAM. Zaragoza, Spain*. 21 p.
- 42- Leyva V.J.L. 1992. *Biología y Comportamiento de Insectos Parasitoides*. EN: *Memorias III Curso de Control Biológico. SMCB - UNAM. Cuautitlán, Edo. De México*. pp. 61- 74.
- 43- Cano, E.; Carballo, M. 2004. Control biológico de insectos mediante depredadores. EN: *Control biológico de plagas agrícolas*. Carballo, M.; Guaharay, F. (Eds.). *Serie Técnica. Manual Técnico No. 53. CATIE. Turrialba, Costa Rica*. pp. 113-122.
- 44- Clausen, C.P. (Ed.). 1978. *Introduced parasites and predators of arthropod pests and weeds. A world review. Agriculture handbook No. 480, United States Dept. of Agriculture. Washington, D.C.*
- 45- Singh, A., Singh, D.K., Mishra, T.N., Agarwal, R.A. 1996. Molluscicides of plant origin. *Biol. Agri. Horti.* 13: 205–252
- 46- BenJannet, H., Skhiri, F., Mighri, Z., Simmonds, M. S. J., Blaney, W. M. 2001. Antifeedant activity of plant extracts and of new natural diglyceride

compounds isolated from *Ajuga pseudoiva* leaves against *Spodoptera littoralis* larvae. *Ind. Crop. Prod.* 4: 213-222.

- 47- Alfonso, M. 2002. Los plaguicidas botánicos y su importancia en la agricultura orgánica. *Agricultura Orgánica* 2. 26-30 pp.
- 48- Nava-Pérez, E.; C. García-Gutiérrez; J . R. Camacho-Báez; E. L. Vázquez-Montoya. 2012. Bioplaguicidas: Una opción para el control

biológico de plagas. *Ra Ximhai*, vol. 8, núm. 3b. pp. 17-29. Universidad Autónoma Indígena de México.

- 49- Talukdar Digangana. Modern biotechnological approaches in insect research, *Int. Res. J. of Sci. & Engg.*, 2013; 1(3): 71-78.

Anexo 1. Microorganismos y agentes patógenos de insecto ⁴⁸.

Grupo	Especies Representativas	Insectos susceptibles
Virus	Virus de la poliedrosis nuclear	Lepidóptera, Himenóptera, Coleóptera, Díptera, Neuróptera, Ortóptera, Trichoptera, Hemíptera, y otros
	<i>Adoxophyes orana granulovirus (GV)</i> + <i>Homona magnanima GV</i>	Algunas polillas (<i>Adoxophyes honmai</i> y <i>Homona magnanima</i>)
	Virus de la poliedrosis nuclear de la mosca de la sierra del pino	Palomilla de la manzana (<i>Cydia pomonella</i>) Mosca de la sierra del pino (<i>Diprion similis</i>)
	Virus de la poliedrosis nuclear de <i>Heliothis virescens</i>	Gusano Bellotero (<i>Heliothis virescens</i>)
Rickettsia	<i>Rickettsiella melolonthae</i>	Coleóptera, Díptera, Ortóptera
	<i>Beauveria bassiana</i>	Lepidóptera, Homóptera, Himenóptera, Coleóptera, Díptera (Trips, mosca blanca)
Hongos	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Lepidóptera, Homóptera, Himenóptera, Coleóptera, Díptera (Trips, mosca blanca, Cucarachas)
	<i>Verticillium lecanii</i>	Cucarachas
	<i>Isaria fumosorosea</i>	Mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>)
	<i>Lecanicillium longisporum</i>	Áfidos, mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i> y <i>Trialeurodes vaporariorum</i>)
Nemátodos	<i>Steinernema carpocapsae</i>	Los gorgojos, gusano cortador negro, gusano cortador común, polilla del melocotón
	<i>Steinernema glaseri</i>	Gusanos blancos, gorgojos, gusano cortador negro, Gusano azul, gusano cortador de césped Gusano cogollero (<i>S. frugiperda</i>)
Protozoarios	<i>Nosema locustae</i>	Saltamontes, langostas

Anexo 2. Uso de transgénos y su modo de acción ⁴⁹.

Transgén	Fuente y modo de acción	Ejemplo de uso
<i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt) endotoxina	La endotoxina de <i>Bacillus thuringiensis</i>	La endotoxina de <i>Bacillus thuringiensis</i>
Proteína insecticida vegetativa (VIP)	VIPs son producidos por <i>Bacillus cereus</i> y <i>Bacillus thuringiensis</i> . Tienen una actividad similar a las endotoxinas de <i>Bt</i> . Vip1 / Vip2 son tóxicos para los insectos coleópteros y Vip3 es tóxico para los insectos lepidópteros	Muy tóxico para las especies <i>Agrotis</i> y <i>Spodoptera</i> . VIP indujo la parálisis intestinal, la lisis completa de las células epiteliales intestinales y dio como resultado la mortalidad larvaria
Quitinasa (Enzima)	La quitinasa cataliza la hidrólisis de la quitina, que es uno de los componentes vitales del revestimiento del tracto digestivo en insectos y no está presente en plantas y animales superiores.	La colza transgénica (<i>Brassica napus</i>) que expresaba <i>M. sexta</i> quitinasa y toxina de insecto de escorpión aumentó la mortalidad y redujo el crecimiento de <i>Plutella maculipennis</i>
Colesterol Oxidasa (Enzima)	El colesterol oxidasa es una enzima bacteriana que cataliza la oxidación del colesterol. Funciona dañando las membranas del intestino medio	La colesterol oxidasa de <i>Streptomyces</i> causó retraso en el crecimiento de <i>H. virescens</i> , <i>H. zea</i> y <i>Pectinophora gossypiella</i> cuando se incorporó a una dieta artificial
Lipoxigenasa (Enzima)	Las enzimas dioxigenasas están ampliamente distribuidas en plantas y catalizan la hidroperoxidación de restos cis-cis-pentadieno en ácidos grasos insaturados. Funciones dañando las membranas del intestino medio	La lipoxigenasa de la soja retrasa el crecimiento de <i>Manduca sexta</i> cuando se incorpora en la dieta artificial

Anexo 3. Propiedades de Cultivos Genéticamente Modificados ⁴⁹.

Cultivos	Propiedades de las variedades genéticamente modificadas	Modificación
Maíz	Resistencia a los insectos mediante la producción de proteínas <i>Bt</i> . Además de la adición de alfa amilasa, que convierte el almidón en azúcar para facilitar la producción de etanol	Nuevos genes, algunos de la bacteria <i>Bacillus thuringiensis</i> añadidos / transferidos al genoma de la planta
Algodón	Elimina las plagas de insectos susceptibles	Gen para una o más proteínas cristalinas de <i>Bt</i> transferidas al genoma de la planta
Papa	Resistencia de <i>Bt</i> contra el escarabajo de Colorado y resistencia contra 2 virus	Nueva hoja: gen de una o más proteínas cristalinas de <i>Bt</i> transferidas al genoma de la planta
Soya	Elimina las plagas de insectos susceptibles	Gen para una o más proteínas cristalinas de <i>Bt</i> transferidas al genoma de la planta
Tomate	Mostró resistencia al gusano del tabaco, al gusano del tomate, al gusano del tomate y a la broca del tomate	La toxina insecticida de la bacteria <i>Bacillus thuringiensis</i> se ha insertado en una planta de tomate
Garbanzo	Mostró resistencia al gusano <i>Helicoverpa armigera</i>	Se ha insertado la toxina insecticida de la bacteria <i>Bacillus thuringiensis</i>

Anexo 4. Bioinsecticidas a base de hongos entomopatógenos ⁴⁸.

Agente Biológico	Nombre Comercial	Huéspedes	País
<i>Beauveria bassiana</i>	BEA-SIN	Lepidópteros	México-Sinaloa
	AGO BIOCONTROL	Coleóptera/ Hemíptera/ Lepidóptera/ Díptera	Colombia
	OSTRINIL	<i>Ostrinia nubilalis</i>	Francia
	BOTANI GARD	Trips, mosca blanca, polilla dorso de diamante	Japón
<i>Lagenidium giganteum</i>	LAGINEX	Mosquitos	E.U.A.
<i>M. anisopliae</i>	SALTGREEN	<i>Aneolamia spp, Prosapia</i>	México-Córdoba
	BIOGREEN	<i>Adoryphouse couloni</i>	Australia
	GREEN MUSCLE	<i>Locusta pardalina</i> y otras langostas y chapulines	Sudáfrica
<i>P. fumosoroseus</i>	PAE-SIN	Mosquita blanca	México- Sinaloa
	PREFERD	Mosquita blanca, áfidos	Japón
<i>Verticillium lecanii</i>	APHIN	<i>Brevycorine brassicae</i>	México
	VERTALEC	Áfidos	Suiza
	MYCOTAL	Mosquita blanca/ trips	Holanda/ Suiza
<i>Lecanicillium longisporum</i>	VERTALEC	Áfidos	Japón

Anexo 5. Principales órdenes y familias de insectos depredadores ³⁸.

Orden	Familia	Principales Presas
Coleóptera	Coccinellidae	Pulgones, escamas, cochinillas y moscas blancas
	Cleridae	Larvas de mariposas, picudos y chicharritas
	Melyridae	Huevos, lavas, pupas, adultos de tamaño pequeño y cuerpo blando de diversos insectos
	Carabidae	Larvas y pupas de mariposas y avispa
Hemíptera	Anthocoridae	Trips, ninfas de mosquita blanca, pequeñas larvas de mariposas, ácaros y pulgones.
	Geocoridae	Pequeños insectos de diferentes grupos.
	Nabidae	Pulgones y larvas de mariposas
	Reduviidae	Pulgones, larvas de mariposa, escarabajos y chicharritas.
	Pentatomidae	Escarabajos y catarinitas plaga.
Díptera	Phymatidae	Abejas, moscas, mariposas y otras chinches.
	Asilidae	Chapulines, escarabajos, avispa, abejas, huevecillos de chapulines y otras moscas.
Neuróptera	Syrphidae	Las larvas son depredadores de pulgones y pequeñas larvas de mariposas.
	Chrysopidae	Sus larvas se alimentan de pulgones, escamas, mosquitas blancas, ácaros, huevos, larvas de mariposas, escarabajos y trips.
Hymenoptera	Formicidae	La mayoría son depredadores generalistas.
	Vespidae	Depredadores generalistas
Dermáptera	Forficulidae	Pulgones, huevos y larvas de mariposas y palomillas
Mantodea	Mantidae	Depredadores generalistas
Odonata	Calopterygidae	Moscas, mosquitos y otros insectos pequeños.
	Coenagrionidae	Moscas, mosquitos y otros insectos pequeños.

Anexo 6. Principales órdenes y familias de insectos parasitoides ³⁸.

Orden	Familia	Tipo de Hospedero
Hymenoptera	Aphelinidae	Escamas, pulgones, mosquitas blancas, psílidos, chinches y moscas entre otros.
	Braconidae	Larvas de escarabajos, moscas, mariposas, así como pulgones y chinches.
	Chalcididae	Larvas o pupas de mariposas, moscas, escarabajos, crisópidos y otras avispas.
	Encyrtidae	Escamas, huevo o larvas de escarabajos, moscas, mariposas, crisópidos y avispas, huevos de chapulines y chinches.
	Eulophidae	Huevos, larvas, pupas y adultos de 10 órdenes de insectos, inclusive acuáticos.
	Figitidae	Larvas de moscas, crisópidos y avispas.
	Ichneumonidae	Larvas de escarabajos, mariposas y avispas.
	Mymaridae	Huevos de cícadas, chapulines, grillos, escarabajos, chinches, pulgones y moscas.
	Perilampidae	Pupas de avispas, escarabajos y crisópidos.
	Pteromalidae	Larvas de escarabajos, pulgones, chicharritas, cigarras y moscas.
	Scelionidae	Huevos de mariposa, grillos, chapulines, mántidos, chinches, cigarras, chicharritas, escarabajos y moscas entre otros.
	Torymidae	Parasitan a más de 51 familias en 8 órdenes de insectos, especialmente avispas y moscas formadoras de agallas.
	Trichogrammatidae	Huevos de mariposas, chinches, escarabajos, trips, moscas, crisópidos y otros himenópteros.
Diptera	Tachinidae	Larvas de mariposas, escarabajos, estados inmaduros de chinches, saltamontes y chapulines.