

BIOPLAGUICIDAS: UN SUSTITUTO DE LOS PLAGUICIDAS QUÍMICOS

BIOPESTICIDES: AN ALTERNATIVE TO CHEMICAL PESTICIDES

Adriana Carbajal, Miriam Sánchez y Eric Romero

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ciencias Biológicas

Licenciatura en Biotecnología

adriana.carbajala@gmail.com

mirimasanga@gmail.com

eri_rom_n@hotmail.com

Resumen

Las consecuencias de la revolución verde han causado estragos en el equilibrio ecológico. El uso desmedido de plaguicidas para evitar la pérdida de millones de hectáreas de cultivo a la larga ha dado como resultado ciertos problemas como la resistencia a estas sustancias por parte de los organismos considerados como plagas y la bioacumulación en el medio ambiente y en la salud humana. Si bien las plagas representan una amenaza, también así lo son las sustancias comúnmente usadas para combatirlas. El uso alternativo de bioplaguicidas, que se refieren a todas aquellas sustancias de origen natural derivadas de microorganismos, plantas y animales utilizados para el combate de plagas, presenta ventajas sobre los plaguicidas químicos por su alta especificidad sobre las plagas blanco, la ausencia de riesgo para los trabajadores y el medio ambiente, así como el biocontrol como una alternativa para eliminar las poblaciones de insectos plaga.

Palabras clave: Revolución verde, monocultivo, plagas, plaguicidas, biocontrol, bioplaguicidas

Abstract

The effects of green revolution have wreaked havoc on earth's ecological balance. The excessive use of pesticides to prevent loss of millions of acres of crops has resulted in certain problems in the long run, such as resistance to these substances by organisms considered as pests and bioaccumulation in the environment and human health. Although pests are a threat, so are substances commonly used to fight against them. The alternative use of biopesticides, which refer to all substances of natural origin derived from microorganisms, plants, and animals used to fight pests, has advantages over chemical pesticides because of its high specificity on target pests, absence of risks for workers and the environment, and biocontrol as an alternative to suppress populations of insect pests.

Keywords: Green revolution, monoculture, pests, pesticides, biocontrol, biopesticides

Introducción

El constante crecimiento de la población humana requiere el incremento de la producción de alimentos. Esto ha sido una tendencia a lo largo de la historia, pero la primera persona en evidenciarlo fue el economista y demógrafo británico Thomas Robert Malthus, quien en su libro anónimo *Essay on the Principle of Population* (1798) recopiló datos que le permitieron concluir que mientras la población humana crece exponencialmente, duplicándose incluso cada siglo (al menos en esa época), la producción de alimentos crece de manera aritmética (lineal). Esta

tendencia conduciría a la catastrófica conclusión de que en unos 25 años, el crecimiento poblacional de la época sobrepasaría la producción de alimentos necesaria. Aunque esto no ocurrió, como concluyó Malthus, la necesidad de producción de alimentos para mantener a la población humana dio como resultado la implementación de técnicas y estrategias perjudiciales para el medio ambiente, tales como el incremento de áreas dedicadas al cultivo; el uso de variedades más productivas, pero que condujo a la pérdida de la biodiversidad; el monocultivo para facilitar el manejo de la siembra y la cosecha, lo cual condujo al aumento en el uso de

plaguicidas; entre otras. A este conjunto de cambios ocurridos en la agricultura se le conoció como la revolución verde, originada a mediados del siglo XX.

Con la llegada de la revolución verde, sucedieron una serie de cambios en los hábitos y las prácticas agrícolas que han provocado paulatinamente una crisis ambiental, resultado de la implementación intensiva de pesticidas, fertilizantes nitrogenados y demás sustancias aplicables a los cultivos. Aunque se sabe que antes de esta etapa ya existían sustancias utilizadas para eliminar plagas, en el siglo XVIII con la Revolución Industrial, se presentaron los primeros cambios que condujeron a una situación descontrolada de producción y uso de estos contaminantes, pero los efectos de ésta no son el objetivo de exposición en este artículo.

Revolución verde y uso indiscriminado de plaguicidas

El sistema agrícola de producción intensiva que implica el uso de plaguicidas acarrea un conjunto de problemas de ámbito ambiental, económico-político y social. Para comprender las causas del deterioro progresivo del ambiente es necesario comprender que este proceso se produjo

junto con una serie de cambios y sucesos históricos.

Después de la Segunda Guerra Mundial, hubo una crisis económica mundial por la destrucción de Europa y los países que de manera indirecta se vieron afectados por la Guerra. Estos países no contaban con seguridad alimentaria y el campo estaba abandonado debido a la caída de la producción agrícola en esas regiones junto con una incapacidad general de financiar importaciones de alimentos, lo cual dio como resultado situaciones agudas de escasez de alimentos (FAO, 2000).

Paralelamente, en países como Canadá, Estados Unidos, Australia y en América Latina, se buscó impulsar a la economía a través del desarrollo de la industrialización, dejando a la actividad agrícola a la deriva. La escasez provocada por la guerra ocasionó que muchos países se dieran cuenta de la importancia de garantizar el suministro de alimentos, desconfiando así de las importaciones y de las mismas políticas que apoyaban, por lo que se concibió la ideología de que el rápido aumento de la productividad agrícola sostendría el desarrollo económico y social, al mismo tiempo que habría una reducción del

hambre. De esta forma, no sólo se atendió al campo con subvenciones, sino que también se atendieron cuestiones interrelacionadas con la ciencia, la tecnología y la educación (FAO, 2000).

La revolución verde llegó por vez primera a principios del siglo XX a los países en desarrollo, como México, los cuales basaban su economía en la agricultura. De 1906 a 1935, la Fundación Rockefeller impulsó un programa de investigación y apoyo a la agricultura inspirado en la política exterior y militar de los Estados Unidos, con la bandera de la filantropía y el objetivo de acabar con el hambre. Estos programas asistencialistas de impulso al campo en conjunto con el gobierno mexicano tenían como objetivo generar altas tasas de productividad agrícola con base en una producción extensiva a gran escala, el uso de alta tecnología, el uso de monocultivos para la homogeneización y el manejo de la cosecha, el uso desmedido de plaguicidas para reducir las pérdidas, el uso indiscriminado de fertilizantes y el uso de variedades mejoradas. Debe hacerse notar que el desarrollo de variedades mejoradas no ha podido solucionar el problema del hambre, ya que éste recae en la escasez de alimentos más que en su producción.

Más aún, la implementación de maquinaria e insumos inicialmente se reflejó en un aumento en el rendimiento de los cultivos, pero, con el paso del tiempo, se observaron efectos adversos en la salud de los trabajadores y el medio ambiente (Ceccon, 2008).

La revolución verde tuvo repercusiones ambientales, económicas, sociales y problemas de salud pública tanto en los trabajadores como en los consumidores. Por estas razones, es importante replantear las estrategias de apoyo al campo y establecer una legislación que se haga cumplir en cuanto a la regulación de estas sustancias en todo el país.

Plagas

Aunque las plagas han existido desde tiempos prehistóricos atacando a plantas silvestres y cultivadas, la técnica del monocultivo representaba y sigue representando una fuente de alimento abundante y disponible para los insectos o cualquier otro organismo para el cual dicho cultivo represente alimento. Los monocultivos rompen el equilibrio habitual que tienen los ecosistemas, permitiendo la aparición de grandes cantidades de organismos que alteran las redes tróficas naturales. Además, la disposición a gran escala de cultivos

formados por una sola especie favorece la llegada de microorganismos patógenos como bacterias, hongos y virus que infectan fácilmente a las plantas, pues al no tener barreras naturales como plantas auxiliares o insectos benéficos, conocidos como enemigos naturales, los cultivos son más propensos a las enfermedades y las plagas.

El aumento de tierras cultivadas por monocultivo provocó la aparición recurrente de plagas, incrementando la necesidad de un aumento en los ciclos de fumigación, lo que con el paso del tiempo ha provocado la resistencia de las plagas a los agentes de fumigación. Esta resistencia es un problema que

implica la pérdida de toneladas de cultivos a nivel mundial.

Las plagas son un problema mundial, pues representan una disminución del rendimiento de producción de entre 20 y 30%. Se calcula que existen 67,000 especies de plagas que dañan los cultivos agrícolas. En México, por ejemplo, el gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*), la mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*), el picudo algodnero (*Anthonomus grandis*), la araña roja (*Tetranychus urticae*), la mosca blanca (*Aleyrodidae*) y el pulgón (*Aphididae*) son las plagas más importantes que atacan los cultivos (Alatorre, 2014; Nava-Pérez et al., 2012).



Figura 1. *Tetranychus urticae* con hilos de seda. San Martín, G. (2010). [Fotografía con objetivo microscópico Nikon]. Imagen recuperada de

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tetranychus_urticae_with_silk_threads.jpg

Plaguicidas

Los plaguicidas son sustancias cuya función es evitar y controlar la proliferación de plagas y enfermedades

en los cultivos y el ganado para reducir o evitar pérdidas en la producción de cultivos, ya sean alimentos o materia prima (por ejemplo, algodón, madera,

etc.), y contribuir al control de vectores de diversas enfermedades. El uso y auge de estas sustancias debido a la revolución verde han ocasionado serias consecuencias en el ambiente y la salud, las cuales se mencionarán más adelante.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), un plaguicida es “cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o animales, y las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas y madereros o alimentos para animales, además de aquellos que pueden administrarse a los animales para combatir insectos arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos”.

Los primeros plaguicidas aparecieron entre 1930 y 1940 como resultado de investigaciones para el desarrollo de armas químicas que originalmente fueron probadas en insectos. Uno de los primeros compuestos, cuya capacidad insecticida

fue descubierta, fue el dicloro difenil tricloroetano (DDT), cuyo uso se extendió durante la Segunda Guerra Mundial, para proteger a los soldados de enfermedades transmisibles por vectores, los cuales no son otra cosa más que cualquier agente (persona, animal o microorganismo) que transporta y transmite un patógeno a otro organismo vivo (Ramírez y Lacasaña, 2001).

Los plaguicidas actúan de forma no selectiva, es decir, no sólo actúan contra un organismo específico que interactúa de cualquier forma con la planta (sea parásito, polinizador, simbiote, depredador, etc), sino también pueden afectar a una amplia gama de organismos puesto que son sustancias tóxicas (Benitez, 2012).

Según Benitez (2012), para que una sustancia plaguicida sea eficiente, ésta debe contar con las siguientes características:

- Tener un amplio espectro de actividad, es decir, cubrir una gama amplia de organismos.
- Ser efectivo en concentraciones bajas para que resulte económicamente rentable. Sin embargo, una efectividad alta con dosis bajas sobre las plagas

también indica una toxicidad alta para el ambiente y la salud.

- Ser preferiblemente solubles en agua y compatibles con otras especies químicas en el ambiente.
- Poseer una persistencia alta, lo cual quiere decir que deben ser efectivos a través del tiempo. Sin embargo, la persistencia representa una amenaza a nivel ambiental pues, debido a su pobre degradación natural, se va bioacumulando en los organismos y almacenando en cuerpos de agua y ecosistemas que resienten los efectos de su toxicidad.

Efectos de los plaguicidas en el ambiente y la salud

Uno de los casos históricos que reveló las consecuencias de la revolución verde y el uso inconsciente de los pesticidas fue la muerte de aves en los Estados Unidos debido al uso de DDT, situación que Rachel Carson advierte en 1962 en su libro “La Primavera Silenciosa”.

Aunque los plaguicidas permiten mantener a salvo los cultivos de los depredadores u hospedadores indeseables, también pueden causar un

efecto adverso sobre la salud humana y la vida silvestre expuesta. Particularmente, el empleo de plaguicidas sintéticos conlleva las consecuencias más perjudiciales para la salud de los trabajadores y consumidores, ya sea por exposición directa o indirecta, al producir intoxicaciones agudas y subcrónicas, enfermedades e incluso la muerte (Espinoza *et al.*, 2003).

En 2015, la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) declaró que “el uso y manejo incorrectos de los plaguicidas son peligrosos para el ser humano y pueden manifestarse por intoxicaciones en grado variable y efectos nocivos que pueden presentarse a mediano o largo plazo, tales como carcinogénesis, teratogénesis, esterilidad, mutagénesis, entre otros”.

Actualmente, se utilizan anualmente a nivel mundial cerca de 500 mil toneladas de ingrediente activo de plaguicidas y, tan sólo en los Estados Unidos, se invierten aproximadamente 40 mil millones de dólares en plaguicidas. Según la OMS, aproximadamente un millón de personas se intoxican con plaguicidas químicos cada año y entre 5,000 y 20,000

mueren. Más de 50% de los fallecidos son trabajadores agrícolas y el resto son envenenamientos por consumo de alimentos contaminados. Entre los dos grupos la tasa de mortalidad alcanza la cantidad de 220 mil decesos al año (Nava-Pérez *et al.*, 2012; Muñoz, 2005).

Los plaguicidas también contaminan el agua, el suelo, el aire y los alimentos, ya sea por transporte a través del aire o por escorrentías, y son depositados en otras zonas, como en el caso del uso excesivo de fertilizantes, que son lixiviados hasta los mantos freáticos, ocasionando eutrofización y provocando, así, el crecimiento de plantas que para el caso de los compuestos nitrogenados forman una fina capa en la superficie de las lagunas que impiden el paso de oxígeno y causan la aparición de lirios en las lagunas y la muerte de los peces (Espinoza *et al.*, 2003; Pazos Rojas *et al.*, 2016).

La regulación del uso de plaguicidas no protege a todos los individuos y se prioriza la industria sobre la salud humana y el ambiente, ya que si bien en algunos países están prohibidas estas sustancias, en países como México se siguen utilizando sustancias tóxicas como el DDT, así que se requiere un marco legal que obligue a las empresas a

respetar los derechos humanos y el cuidado de la naturaleza al dejar de producir estas sustancias nocivas e invertir en investigación para hallar alternativas que favorezcan más a la salud y al medio ambiente.

Biocontrol

A lo largo de la historia, se han utilizado diferentes métodos de combate contra las plagas, como se mencionó anteriormente. El uso indiscriminado de los plaguicidas ocurrió como consecuencia de la revolución verde; sin embargo, antiguamente existían otros métodos naturales de combate llamados métodos de control biológico. El control biológico es la forma más antigua de combate a las plagas y utiliza técnicas naturales para evitar o acabar con las plagas. Una de ellas es el manejo del hábitat, que consiste en la modificación de zonas específicas en torno al cultivo para mejorar la disponibilidad de los recursos requeridos por los enemigos naturales de las plagas y que su acción contra ellas sea óptima (Paredes, 2013).

En teoría, el incremento de la diversidad de enemigos naturales puede aumentar las posibilidades de que alguna de las especies actúe de manera efectiva contra las plagas. Sin embargo,

se ha observado que en la mayoría de los casos la relación entre biodiversidad y control biológico no es significativa (Paredes, 2013).

El término control biológico, o biocontrol, se ha utilizado en diversos campos de la biología, en particular en entomopatología y patología de las plantas. En el campo de entomología, este término se ha utilizado para describir el uso de insectos predadores, nematodos entomopatógenos o patógenos microbianos que eliminan las poblaciones de insectos plaga. En patología, el término se aplica al uso de antagonistas microbianos que suprimen enfermedades de la planta, así como el uso de patógenos específicamente hospederos para controlar las poblaciones de malas hierbas. En ambos casos el organismo que elimina la plaga o el patógeno se conoce como agente de control biológico (Pal y Mc Spadden Gardener, 2006).

Definición de bioplaguicida

Un bioplaguicida se define como cualquier sustancia que sea derivada de materiales naturales como microorganismos, plantas y animales utilizados para el combate de plagas. Son específicos contra las plagas blanco y, generalmente, no representan un

riesgo para los trabajadores o el medio ambiente, al contrario de los plaguicidas sintéticos que se usan de manera general.

Los bioplaguicidas se clasifican en plaguicidas microbianos, que incluyen bacterias, hongos y virus, y plaguicidas bioquímicos, que incluyen hormonas, enzimas y reguladores del crecimiento de la planta.

Plaguicidas microbianos

Los plaguicidas microbianos son derivados de algas, bacterias, hongos, nematodos, protozoos, virus y otros compuestos, como los metabolitos, que se producen directamente a partir de estos microorganismos. Cada uno de ellos puede controlar una variedad alta de plagas, aunque son relativamente específicos para las plagas blanco, por ejemplo, hay ciertos hongos que controlan malezas y otros que matan insectos. Hasta ahora, se han registrado más de 3,000 tipos de microorganismos que causan enfermedades en insectos, algunos de ellos están enlistados en la Tabla 1. Sin embargo, se deben hacer más investigaciones para encontrar nuevos microorganismos que sean útiles para el control de plagas (Simberloff, 2012).

Insectos blancos	Nombres comunes
Virus entomopatógenos	
Helicoverpa zea	<i>Corn earworm NPV</i>
Helicoverpa armigera	<i>Cotton bollworm NPV</i>
Plutella xylostella	<i>Diamond back moth</i>
Anticarsia gemmatalis	<i>Velvetbean caterpillar, NPV</i>
Noctuidae	<i>Alfalfa looper NPV</i>
Buzura suppressaria	<i>Tea moth</i>
Bacterias entomopatógenas	
Lepidoptera	<i>Bacillus thuringiensis subspecies kurstakii</i>
Lepidoptera	<i>B. thuringiensis sub-species aizawaia</i>
Coleoptera: Scarabaeidae	<i>B. thuringiensis sub-species japonensis</i>
Coleoptera: Scarabaeidae, Popillia japonica	<i>Paenibacillus popilliae</i>
Hongos entomopatógenos	
Hemiptera	<i>Aschersonia aleyrodii</i>
Coleoptera (Scarabaeidae)	<i>Beauveria brongniartii</i>
Hemiptera, Thysanoptera	<i>Conidiobolus thromboides Acari</i>
Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Isoptera	<i>Metarhizium anisopliae sensu lato</i>
Lepidoptera	<i>Nomuraea rileyi</i>

Tabla 1. Microorganismos usados como bioplaguicidas (Nawaz *et al.*, 2016).

Entre la variedad de ventajas del uso de plaguicidas microbianos puede mencionarse que no son tóxicos ni patógenos para organismos y seres humanos; se pueden usar en combinación con algunos insecticidas químicos, disminuyendo el uso de este segundo grupo; pueden utilizarse al momento de recolección al no tener efecto adverso en los seres humanos; y en algún momento estos microorganismos pueden establecerse en el hábitat para proporcionar control de plagas a generaciones o temporadas tras estación. Consecuentemente, el uso de plaguicidas microbianos requiere de un amplio estudio científico que incluya

estudios sistemáticos, modos de acción, patogenicidad, estudios ecológicos, entre otros (Nawaz, Mabubu y Hua, 2016).

Plaguicidas bacterianos

De los distintos grupos de patógenos que existen, las bacterias son las de mayor éxito comercial. Estos microorganismos varían en el modo de infección, el sitio donde se replican y el mecanismo patogénico. Se calcula que ocupan el 74% del mercado y su gran uso se debe a que varias especies importantes pueden crecer en medios de fermentación y no requieren de métodos

caros de cultivo (Reardon y Service, n.d; Nava-Pérez *et al.*, 2012).

Las bacterias patogénicas se introducen en los hospederos cuando estos ingieren el alimento; una vez dentro de los insectos, las bacterias comienzan a reproducirse generando enzimas y toxinas que dañan las células del intestino facilitando la invasión del hemocele del insecto. Una vez instaladas en el organismo, continúan multiplicándose hasta matar al hospedero por acción de sus toxinas o enzimas que causan septicemia. Generalmente, estos insectos, que mueren por una infección bacteriana, se tornan oscuros y su cuerpo se pone flácido (Nava-Pérez *et al.*, 2012).

Uno de los patógenos que ha sido explotado comercialmente es *Bacillus thuringiensis*, pero se han registrado más de 50,000 serotipos, de los cuales por lo menos 65 han sido reconocidos y recibido nombre a nivel de subespecie. La mayoría de estos serotipos afectan larvas de lepidópteros. Los insectos que ingieren estas bacterias mueren por un efecto combinado de envenenamiento por toxinas y la multiplicación de las bacterias en el insecto. Los bioplaguicidas que contienen estos patógenos son realmente importantes en la agricultura orgánica y el manejo integrado de plagas por la compatibilidad que tienen con parasitoides y depredadores (Reardon y Service, n.d.).

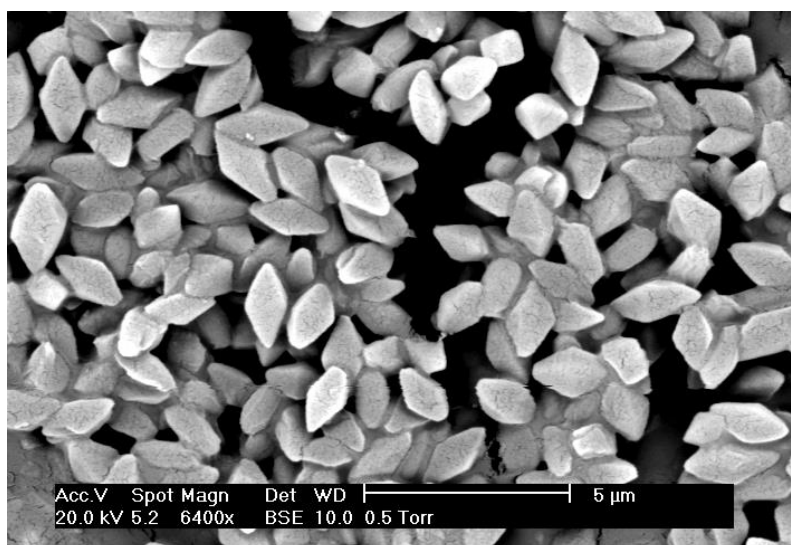


Figura 2. Buckman (2006). Cristales de la toxina Bt provenientes de *Bacillus thuringiensis* serovar morrison cepa T08025. [Fotografía por microscopía]. Imagen recuperada de: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Bacillus_thuringiensis.JPG

Plaguicidas virales

Los virus son especialmente útiles contra plagas que presentan resistencia múltiple, atacan de manera específica a los insectos y son controladores naturales altamente efectivos de varias plagas de orugas. La familia *Baculoviridae* es una de las más estudiadas por su capacidad entomopatógena. Los plaguicidas virales tienen que ser ingeridos por los insectos para poder causar una infección, pero también se pueden propagar de un insecto a otro durante su ciclo de reproducción o la puesta de huevecillos del insecto. Esta clase de plaguicidas son efectivos contra lepidópteros presentes en algodón, arroz y vegetales. Su uso está limitado a pequeñas áreas en la agricultura porque su producción a gran escala presenta algunas dificultades (Reardon y Service, n.d.). Se calcula que los bioplaguicidas virales ocupan el 5% del mercado (Nava-Pérez *et al.*, 2012).

Entre 2003 y 2004 en Brasil, se usó el nucleopoliedrovirus que infecta a la oruga de las leguminosas (*Anticarsia gemmatalis*) en cultivos de soya, considerándose una de las aplicaciones más exitosas y utilizándose en

aproximadamente 2 millones de hectáreas. Actualmente, se comercializan más de treinta bioinsecticidas basados en *Baculoviruses* (Nava-Pérez *et al.*, 2012).

Micoinsecticidas

En 1888, se descubrió la capacidad del hongo *Arthrobotrys oligospora* para infectar nematodos. Actualmente, se conocen aproximadamente 100 géneros y 700 especies de hongos entomopatógenos. Algunas especies de hongos entomopatógenos son reguladores importantes de poblaciones de insectos con un gran potencial como agentes micoinsecticidas contra plagas en la agricultura. Los micoinsecticidas infectan insectos como áfidos, moscas blancas, insectos escama (*Coccoidea*), pulgones (*Aphididae*) y chinches (*Cimicidae*) (Nava, 2012; Pérez, n.d.).

El mecanismo de acción de los hongos entomopatógenos consiste en infectar a los huéspedes a través de la cutícula para que puedan tener acceso a la hemolinfa, donde producen toxinas y crecen utilizando los nutrientes presentes en el hemocele, evitando la respuesta inmune en los insectos. Los hongos entomopatógenos se aplican en

forma de conidios o micelios para esporular después de ser aplicados. El uso de estos hongos como una alternativa a los insecticidas de origen químico podría ser muy útil para el manejo de la resistencia a los insecticidas, ya que, en comparación con los insecticidas de origen químico, los hongos entomopatógenos tienen una caída más lenta y por lo general incompleta, provocando la muerte de los insectos más allá del tiempo alcanzado por los insecticidas químicos. Los bioplaguicidas micóticos representan el 10% de las ventas en el mercado. Los hongos *Metarhizium anisopliae*, *M. flavoviridae*, *Paecilomyces farinosus*, *Beauveria bassiana* y *B. brongniartii* son algunos de los más utilizados (Sarwar, 2015a; Sarwar, 2015b).

Ventajas y desventajas de los bioplaguicidas

El desarrollo de los bioplaguicidas favorece la agricultura sustentable y reemplaza de manera efectiva el uso de plaguicidas químicos, pues son biodegradables, eficaces, menos costosos que los pesticidas químicos y seguros para salud humana y el ambiente, con poco o ningún riesgo. La mayoría de ellos son altamente

específicos, por lo que sólo atacan al organismo blanco sin causar daño a otras especies y evitan la dependencia de un sólo método de control de plagas y la generación de resistencia por parte de éstas.

Sin embargo, en algunas ocasiones el uso de bioplaguicidas puede ser dañino para otros organismos no objetivo. Cuando un bioplaguicida ataca a un organismo biorregulador que forma parte importante de la cadena trófica del ecosistema, el equilibrio del agrosistema puede ser irrumpido. Éste es un ejemplo de lo que puede ocurrir con el uso no controlado de los bioplaguicidas, así que para su correcto manejo se deben tener parámetros que limiten y definan su uso (Simberloff, 2012), lo cual se puede lograr realizando estudios de impacto ambiental en la zona agrícola donde se desea aplicar el bioplaguicida para evitar los posibles daños que podrían causar.

Conclusión

Aunque el uso de los bioplaguicidas tiene grandes ventajas, éste aún es limitado. En México, la mayoría de las prácticas agrícolas continúan basándose en métodos convencionales como monocultivo y plaguicidas químicos, los cuales no

contemplan el impacto ambiental ni el riesgo para la salud de trabajadores y consumidores. Hasta la fecha, no existen estudios que cuantifiquen el costo del daño ambiental que causan los plaguicidas, es decir, que contemplen los costos del deterioro de la tierra, el agua y la vida silvestre. Lo anterior se debe a una política agrícola inflexible que se basa en la producción intensiva del campo y que no invierte o invierte muy poco en investigación para la búsqueda de prácticas más sustentables.

Paredes *et al.* (2013), propusieron un modelo económico para favorecer el uso de bioplaguicidas con base en un impuesto a los plaguicidas que se pueda utilizar para minimizar el impacto ambiental, donde el valor del impuesto

sea proporcional a su grado de toxicidad y daño ambiental. De esta manera, los bioplaguicidas de menor riesgo serían favorecidos por este modelo.

Los instrumentos económicos son una herramienta muy útil para implementar reformas que guíen las políticas agrícolas hacia una nueva tendencia que fomente el uso de bioplaguicidas como método agrosustentable, eficaz y barato y reemplace a los plaguicidas tóxicos. Las reformas políticas, la investigación científica y la educación ambiental son los tres aspectos importantes que deben ser reforzados para lograr una transición hacia productos y prácticas más sustentables.

Referencias

Alatorre Rosas R., Bravo Mojica H., Leyva Vásquez J., Huerta de la Peña A. (2014) Fichas Técnicas sobre Actividades Agrícolas, Pecuarias y de Traspatio: Manejo integrado de plagas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Recuperado de: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Manejo%20integrado%20de%20plagas.pdf>

Aparicio, V., De Gerónimo, E., Guijarro, K. H., Pérez, D., Portocarrero, R. y Vidal, C. (2015). Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente. INTA Ediciones, Argentina, 1-74.

Benítez, R. (2012). Plaguicidas y efectos sobre la salud humana: Un estado del arte. *Trabajo Ambiental*, 1, 1-97.

Ceccon, E. (2008). La revolución verde: Tragedia en dos actos. *Ciencias*, 91(091).

Concha, M. (2017). Plaguicidas fuera de control. *La Jornada de Oriente*, [en línea] p.1. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2017/0719/opinion/016a2pol> [Consultado el 19 de noviembre de 2017].

Eusebio Nava-Pérez, P., García-Gutiérrez, C., Ricardo Camacho-Báez, Elva Lorena Vázquez-Montoya y Ra Ximhai, J. (2012). Bioplaguicidas: Una opción para el control biológico de plagas. *Biopesticides: An option for biological pest control. Ra Ximhai*, 8(3), 17-29.

FAO. (2000). El estado mundial de la agricultura y la alimentación: Enseñanzas de los últimos cincuenta años. Italia, Roma: Food and Agriculture Organization.

FAO. 1990. Agricultura mundial: hacia el año 2010. Roma.

García, A. M., Ramírez, A. y Lacasaña, M. (2002). Prácticas de utilización de plaguicidas en agricultores. *Gaceta Sanitaria*, 16(3), 236-240. Recuperado de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-91112002000300007&lng=es&tlng=es

González, B. P. (2006). La revolución verde en México. *Agrária* (São Paulo. En línea), (4), 40-68.

Hilje, J.; Saunders, J. (2008). Manejo integrado de plagas en Mesoamérica: Aportes conceptuales. (1ra ed). Cartago, Costa Rica. Editorial Tecnológica Costa Rica. p. 714.

Nawaz, M., Mabubu, J. I. y Hua, H. (2016). Current status and advancement of biopesticides: Microbial and botanical pesticides. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(2), 241-246.

Padilla Acero, J. E. (2014). Bioseguridad: Normatividad, infraestructura y experiencia nacional para la adopción de aplicaciones en biotecnología moderna. Inocuidad alimentaria y sanidad vegetal (forestal), animal y acuícola de los cultivos GM en México. *El Cotidiano*, (188).

Pal, K. K. y Mc Spadden Gardener, B. (2006). Biological Control of Plant Pathogens. *The Plant Health Instructor*, 1-25. <https://doi.org/10.1094/PHI-A-2006-1117-02.Biological>

Paredes, D., Campos, M. y Cayuela, L. (2013). El control biológico de plagas de artrópodos por conservación: Técnicas y estado del arte. *Ecosistemas*, 22(1), 56-61. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54026241020>

Pazos-Rojas, L. A., Marín-Cevada, V., Morales García, Y. E., Baez, A., Villalobos-López, M. A., Pérez-Santos, M. y Muñoz-Rojas, J. (2016). Uso de microorganismos benéficos para reducir los daños causados por la revolución verde. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(7), 72-85.

Pérez V. (n.d.) Control biológico de plagas y enfermedades vegetales. Universidad de Alicante. Recuperado de: <https://sgitt-otri.ua.es/es/empresa/documentos/ot-0811-control-biologico-de-plagas.pdf>

Perkins, J. H. (1990). The Rockefeller Foundation and the green revolution, 1941-1956. *Agriculture and Human Values*, 7(3), 6-18.

Ramírez, J. A. y Lacasaña, M. (2001). Plaguicidas: clasificación, uso, toxicología y medición de la exposición. *Arch Prev Riesgos Labor*, 4(2), 67-75.

Reardon, R. y Service, U. F. (n.d.). No Title.

Rentería, C. (2015). Plaguicidas. Consultado el 19 de noviembre de 2017. Documento de COFEPRIS. Sitio de Internet: <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/Plaguicidas%20y%20Fertilizantes/PlaguicidasYFertilizantes.aspx>

Sarwar, M. (2015a). Biopesticides: An Effective and Environmental Friendly Insect-Pests Inhibitor Line of Action. *International Journal of Engineering and Advanced Research Technology*, 1(2), 10-15.

Sarwar, M. (2015b). Microbial insecticides—an ecofriendly effective line of attack for insect-pests management. *International Journal of Engineering and Advanced Research Technology*, 1(2), 4-9.

Simberloff, D. (2012). Risks of biological control for conservation purposes. *BioControl*, 57(2), 263-276. <https://doi.org/10.1007/s10526-011-9392-4>

World Health Organization (Organización Mundial de la Salud). (2010). Código internacional de conducta sobre la distribución y utilización de plaguicidas: Directrices para el registro de plaguicidas.