

Introducción

El concepto de control biológico y sus premisas fundamentales

Introduction

The concept of biological control and its fundamental premises

Alba Marina Cotes¹

¹ Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA)

Resumen

Las relaciones ecológicas que se establecen entre organismos son amplias y diversas. Estas interacciones pueden considerarse como un *continuum*, que va desde resultados benéficos hasta perjudiciales. El control biológico, definido como el uso consciente de organismos vivos para el control de plagas, es un recurso ecosistémico clave para la producción sostenible de cultivos, en el cual se aprovechan los enemigos naturales de estas para reducir sus daños. En este texto se hace referencia al impacto de los microorganismos patógenos de plantas y de los insectos plaga en los cultivos; se presentan los conceptos generales del biocontrol, las interacciones bióticas que involucran a las plagas y a los agentes de control biológico en los ecosistemas agrícolas, así como los principales retos para la implementación del biocontrol.

Palabras clave

Agentes de control biológico, agroecosistemas, fitopatógenos, insectos plaga, interacciones

Abstract

The ecological relationships that organisms establish with others are broad and diverse, those interactions can be considered as a continuum spectrum, ranging from beneficial to detrimental outcomes. Biological control defined as the conscious use of living beneficial organisms for the control of pests is a key ecosystem service for sustainable crop production, where natural enemies play a central role in limiting damage from pests. In this chapter we discuss the impact of plant pathogenic microorganisms and pests insects, introduce general concepts, as well as, biotic interactions involving pests and biological control agents in agro-ecosystems and the major approaches for biological control.

Keywords

Agro-ecosystems, biological control agents, interactions, pests insects, plant pathogens

Contenido

Introducción	44
Las plagas agrícolas y su impacto en la producción de alimentos	44
Control biológico	47
Control biológico de conservación	49
Control biológico clásico	49
Control biológico aumentativo	49
Control biológico de inoculación	49
Control biológico inundativo	50
Implementación del control biológico	50
Conclusiones	52
Referencias	53

Introducción

Todas las formas de vida en la tierra interactúan con el entorno que las rodea. Esta interacción se produce con los factores abióticos a los que los organismos responden y con otros seres vivos de la misma o de diferente especie. La evolución de microorganismos y artrópodos ha generado una diversidad de maneras para obtener alimento que aún subsisten. Una de ellas es parasitar tejidos vegetales; otra es consumirlos. Los seres vivos que han adoptado estos estilos de vida se conocen como *plagas* y son un problema para la producción agrícola. Históricamente, algunas de ellas han causado hambrunas en diferentes países del mundo. Sin embargo, las plagas también pueden ser objeto de ataque por parte de un número no menor de organismos.

El control biológico es una estrategia de protección de cultivos que se aprovecha de las interacciones que son adversas para las plagas. Para que el control biológico sea eficaz, es necesario comprender la naturaleza variada y compleja de estas interacciones, que se conocen genéricamente como *simbiosis*. Según Leung y Poulin (2008), el término *simbiosis* significa “vivir juntos” y designa la interdependencia de dos (o más) organismos de diferentes especies que resulta en un beneficio para todos de los miembros implicados (mutualismo) o solo para algunos de ellos.

En el tema que nos ocupa, la simbiosis implica daño para una de las especies (parasitismo), en este caso

para el hospedero, o ausencia de daño (comensalismo) cuando el biocontrolador entra en íntima relación con la planta, previniendo los daños producidos por las plagas.

Sin embargo, esta clasificación de la simbiosis es bastante simplista, ya que el espectro entre el mutualismo y el parasitismo es un *continuum*, en el que no siempre es fácil parcelar en dónde empieza y en dónde acaba el daño o el beneficio. De hecho, una sola asociación puede tener efectos positivos o negativos dependiendo de las condiciones ambientales (Pérez-Brocal, Latorre, & Moya, 2013) y de las actividades antropogénicas, que pueden afectar no solamente los procesos ecológicos, sino los evolutivos en muchas escalas espaciotemporales (Thrall et al., 2011).

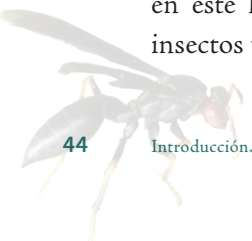
De esta manera, el control biológico debe considerar de forma amplia la biología y la interacción de los agentes de control biológico (ACB) con todos los componentes del entorno. Además, para que se convierta en una estrategia exitosa de fitoprotección, es necesario involucrar muchas otras disciplinas y actividades humanas: se debe trabajar de forma transdisciplinaria.

A pesar de los éxitos obtenidos a nivel mundial y de sus múltiples aplicaciones, el potencial del control biológico apenas empieza a explotarse. A continuación, se presenta la terminología y los conceptos básicos relacionados con el tema.

Las plagas agrícolas y su impacto en la producción de alimentos

Los daños producidos en los cultivos por las plagas han tenido un grave impacto en la población. El término *plaga*, de acuerdo con la FAO (Food and Agriculture Organization [FAO], 2017), se define como “Cualquier especie, raza o biotipo vegetal, animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales”, pero en este libro, ampliamos la definición del término a insectos y microorganismos fitopatógenos.

Se considera que hay aproximadamente 70.000 especies de plagas agrícolas en el mundo (Pimentel et al., 1997), número en el cual se incluyen cerca de 10.000 especies de insectos (Dhaliwal, Dhawan, & Singh, 2007), 150 especies de bacterias (Chisholm, Coaker, Day, & Staskawicz, 2006), 2.000 virus (Hull, 2013) y más de 10.000 especies de hongos y oomicetos (Krutov & Monkevich, 2002 citados en



Govorushko, 2011). Dentro de estos últimos, hay más de 350 especies que son toxigénicas (Monastyrsky, 2002 citado en Govorushko, 2012).

Aunque hay diferencias en los estimativos de pérdidas producidas por estos agentes bióticos, de acuerdo con varios autores el total de estas supera el 30 %. Heinrich y Hergt (2003) las estimaron en 33 %, Pimentel et al. (1999) las estimaron en 40 %, mientras que Singh (2014) hizo un estimativo que supera esta cifra considerando solo las enfermedades producidas por patógenos fúngicos.

Las plantas crecen, pero no se mueven del lugar de la siembra, por lo tanto, son incapaces de escapar al ataque de las diferentes plagas, principalmente, de insectos y fitopatógenos. Las pérdidas de cultivos debidas a estos pueden ser devastadoras hasta el punto de crear hambrunas. Los efectos socioeconómicos de las epidemias y las pérdidas de cultivos están ejemplificados por algunas enfermedades invasoras icónicas, cuyo ataque se presenta justo cuando las comunidades dependen de un único cultivo básico que resulta afectado.

Entre los ejemplos de hambrunas más citados está la causada por el fitopatógeno oomiceto *Phytophthora infestans*, que originó, entre 1845 a 1847, un millón de muertes en Irlanda y más de dos millones de emigrantes hacia Europa continental (Carefoot & Sprott, 1967). Esto se debió a la alta dependencia de la papa por parte de la población irlandesa para su sustento, a la ausencia de resistencia de la planta y a las condiciones ambientales.

Otras grandes hambrunas se produjeron en Bengala, en 1943, debidas a la mancha marrón del arroz, causada por el patógeno fúngico *Cochliobolus miyabeanus*. Se estima que dos millones de personas murieron dada la alta dependencia de la población de este cultivo (Padmanabhan, 1973). Entre 1970 y 1971, en Estados Unidos, se ocasionó la epidemia del tizón foliar del maíz, causado por *Cochliobolus heterostrophus*, que destruyó completamente estos cultivos (raza T). Esta especie de maíz contenía un gen heredado citoplasmáticamente para esterilidad masculina (Tcms), el cual se había incorporado en aproximadamente el 85 % de los cultivares americanos. Pese a las pérdidas económicas, nadie murió, y el problema pudo solucionarse retirando las variedades susceptibles e incorporando nuevos híbridos (Ullstrup, 1972).

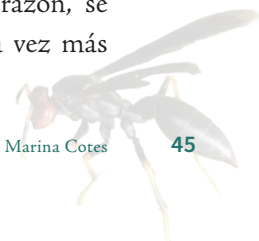
Las poblaciones de fitopatógenos y de insectos plaga son genéticamente variables en el tiempo y en el espacio. Aunque se han hecho muchos estudios epidemiológicos, es difícil predecir el origen de la próxima catástrofe que afectará en alguna parte del globo a uno o varios de nuestros cultivos vitales para la seguridad alimentaria o para la generación de divisas.

Más de una décima parte de las plagas reportadas a nivel mundial ha alcanzado a más de la mitad de los países que cultivan las correspondientes especies vegetales huéspedes. Si las tendencias actuales continúan, muchos países productores estarán completamente saturados de plagas a mediados del siglo y la dispersión de estas aumentaría con la ampliación numérica de los huéspedes. La dispersión global de algunas plagas ha sido rápida, pero las asociaciones de estas son fuertemente regionalizadas y siguen las distribuciones de sus huéspedes.

En efecto, las asociaciones de plagas se correlacionan significativamente con la socioeconomía, el clima y la latitud. Los cultivos tropicales con rangos latitudinales restringidos tienden a estar más saturados de insectos plaga y de patógenos que las gramíneas crecidas en zonas templadas con amplios rangos latitudinales; aunque es probable que el cambio climático influya en la distribución futura de las plagas. Vale decir, en todo caso, que a pesar de la continua dispersión de insectos plaga y de fitopatógenos, el grado de homogeneización biótica sigue siendo moderado, aunque está creciendo.

Por otra parte, los patógenos fúngicos lideran la invasión mundial en la agricultura (son el grupo más disperso), aun cuando presentan una gama más restringida de huéspedes (Bebber, Holmes, & Gurr 2014). Solo a los patógenos fúngicos se les atribuye entre el 27 % y el 42 % de las pérdidas de alimentos a nivel mundial (Singh, 2014). Finalmente, los artrópodos destruyen entre el 18 % y el 26 % de las cosechas anuales, y es en el campo, antes de la cosecha, en donde se produce la mayor pérdida de cultivos (13-16 %) (Culliney, 2014). Esta situación se agrava en países en desarrollo.

Ahora bien, se proyecta que la población humana crezca en aproximadamente 80 millones por año y aumente en un 35 % en este primer cuarto de siglo, con un total aproximado de 7.700 millones para 2020 (Pinstrup-Andersen, 2000). Por esta razón, se necesitará una producción de alimentos cada vez más



sostenible y confiable, pero las plagas plantean un serio problema para la seguridad alimentaria mundial, lo que implica el desarrollo de mecanismos eficientes y medioambientalmente amigables para su control, basados, además, en una comprensión profunda de estas.

La intensificación de la agricultura en el siglo xx y en estos primeros años del siglo xxi ha estado acompañada por un aumento del comercio internacional, la introducción de nuevos cultivos y la consecuente transferencia de plagas a nivel mundial. Esta situación ha conllevado una excesiva dependencia del control químico, frecuentemente utilizado de forma exagerada e indiscriminada (figura 1), lo cual ha generado consecuencias negativas, como la resistencia de las plagas, mayores costos de producción, residuos de agroquímicos en los productos de consumo, contaminación ambiental, pérdida de biodiversidad y riesgos para la salud humana.

Esta situación ha abierto las puertas a las nuevas alternativas para una agricultura sostenible, en cuyo

contexto, el control biológico ha ganado gran interés a escala mundial, dada la mayor sensibilidad de productores y consumidores a la importancia de usar prácticas más sostenibles, saludables y que protejan o aumenten la biodiversidad (Bale, Van Lenteren, & Bigler, 2008).

Esto, por supuesto, supone la utilización de componentes que permitan mantener las plagas por debajo de los niveles de daño económico sin perturbar los agroecosistemas, escenario en el cual el control biológico es visto como un componente fundamental de programas de manejo integrado de plagas (MIP) y de manejo integrado de cultivos (MIC).

Lo anterior implica integración disciplinaria y metodológica para abordar e implementar estos conceptos, de forma que se tenga en cuenta la educación de consumidores y productores, los valores sociales y los componentes económicos relacionados con el desarrollo e implementación de dichos programas.



Foto: Grupo de Control Biológico de Corpoica

Figura 1. Uso exagerado e indiscriminado de plaguicidas químicos.

Control biológico

El estudio del control biológico de plagas se ha dividido en cuatro épocas según Gurr, Barlow, Memmott, Wratten y Greathead (2000). La primera es la era precientífica (de 1880 hacia atrás); la segunda es la era clásica (1880-1939); la tercera es la era química, que va desde el descubrimiento de las propiedades insecticidas del dicloro difenil tricloroetano (DDT), en 1939, hasta la publicación del libro *La primavera silenciosa*, en 1962 (Carson, 1962); y la cuarta es la denominada era integrada, que va desde la publicación de *La primavera silenciosa* hasta la época actual.

En la era integrada, se ha hecho un uso mucho más amplio del control biológico (contra diferentes plagas objetivo y en diversidad de cultivos), con la implementación de estrategias que se originaron en la etapa clásica. Si bien en la era integrada se ha prestado más atención a los elementos biológicos y ecológicos, no se le ha prestado la suficiente a los temas sociales relacionados con el tema, como la estructura de las empresas, la estructura del mercado, los movimientos políticos y la actitud del consumidor, los cuales influyen fuertemente en el futuro del control biológico.

Los términos *control biológico* y su sinónimo abreviado *biocontrol* han sido empleados en diferentes campos de la biología, particularmente, en entomología y en fitopatología. En entomología, una de las definiciones clásicas describe el control biológico como la acción ejercida por parásitos, depredadores o patógenos (organismos causantes de enfermedades) para mantener la densidad de población de otros organismos en niveles más bajos de los que existirían sin la acción de estos enemigos naturales (De Bach, 1964). Posteriormente, Van den Bosch, Messenger y Gutiérrez lo definieron como “la manipulación humana de los enemigos naturales para controlar las plagas” (1982, p. 1). En fitopatología, el control biológico fue inicialmente definido como la reducción de la densidad de inóculo o de la actividad de un patógeno o parásito, en su estado activo o durmiente, lograda de manera natural o a través de la manipulación del ambiente, del hospedero o de antagonistas del patógeno o plaga que se quiere controlar (Baker & Cook, 1974).

Con el ánimo de unificar conceptos, en la Conferencia Nacional Interdisciplinaria sobre Control Biológico

(National Interdisciplinary Biological Control Conference), llevada a cabo en Las Vegas en 1983, el biocontrol se definió como la supresión de las plagas mediante el uso de agentes bióticos, con la exclusión tanto de los procesos de mejoramiento genético para obtener plantas resistentes como de las técnicas de esterilidad y los químicos para modificar el comportamiento de las plagas (Baker, 1983). Posteriormente, el control biológico de fitopatógenos fue definido como la reducción de la cantidad de inóculo o de las actividades inductoras de enfermedades de un patógeno que se logra mediante la acción de uno o más organismos diferentes al hombre (Baker, 1983).

Una definición más reciente, aplicada tanto a la fitopatología como a la entomología, establece que el control biológico es “el uso de organismos vivos para suprimir una plaga, para reducir su población o el impacto de esta, haciéndola menos abundante o menos dañina” (Eilenberg, Hajek, & Lomer, 2001, p. 390). En esta definición se incluyeron depredadores, parasitoides, nematodos, hongos, bacterias, protozoos y virus (figura 2), mientras que los genes o fragmentos de genes sin un organismo vivo fueron excluidos.

En resumen, el manejo biológico de las plagas agrícolas tiene como propósitos fundamentales: 1) mitigar los efectos nocivos de estas y las consecuentes pérdidas económicas, 2) reducir o reemplazar el uso de plaguicidas químicos y 3) integrar las estrategias compatibles y sinérgicas para mejorar la efectividad en el manejo de las plagas. Además de los objetivos anteriores, la implementación de los ACB ayuda a proteger el medioambiente, a crear posibilidades para aumentar los rendimientos de los cultivos y a aumentar el suministro de productos agrícolas libres de residuos químicos para el consumidor (Narayanasamy, 2013).

Ahora bien, entendido desde una perspectiva utilitarista, el control biológico tiene como objetivo final la utilización de la biología para el servicio del hombre, siempre y cuando esto se haga de manera respetuosa con el medioambiente y asegure cultivos sanos para los consumidores. A continuación, se verán las estrategias de control biológico más comunes (de conservación, clásico, aumentativo, de inoculación e inundativo) (Eilenberg, 2006).



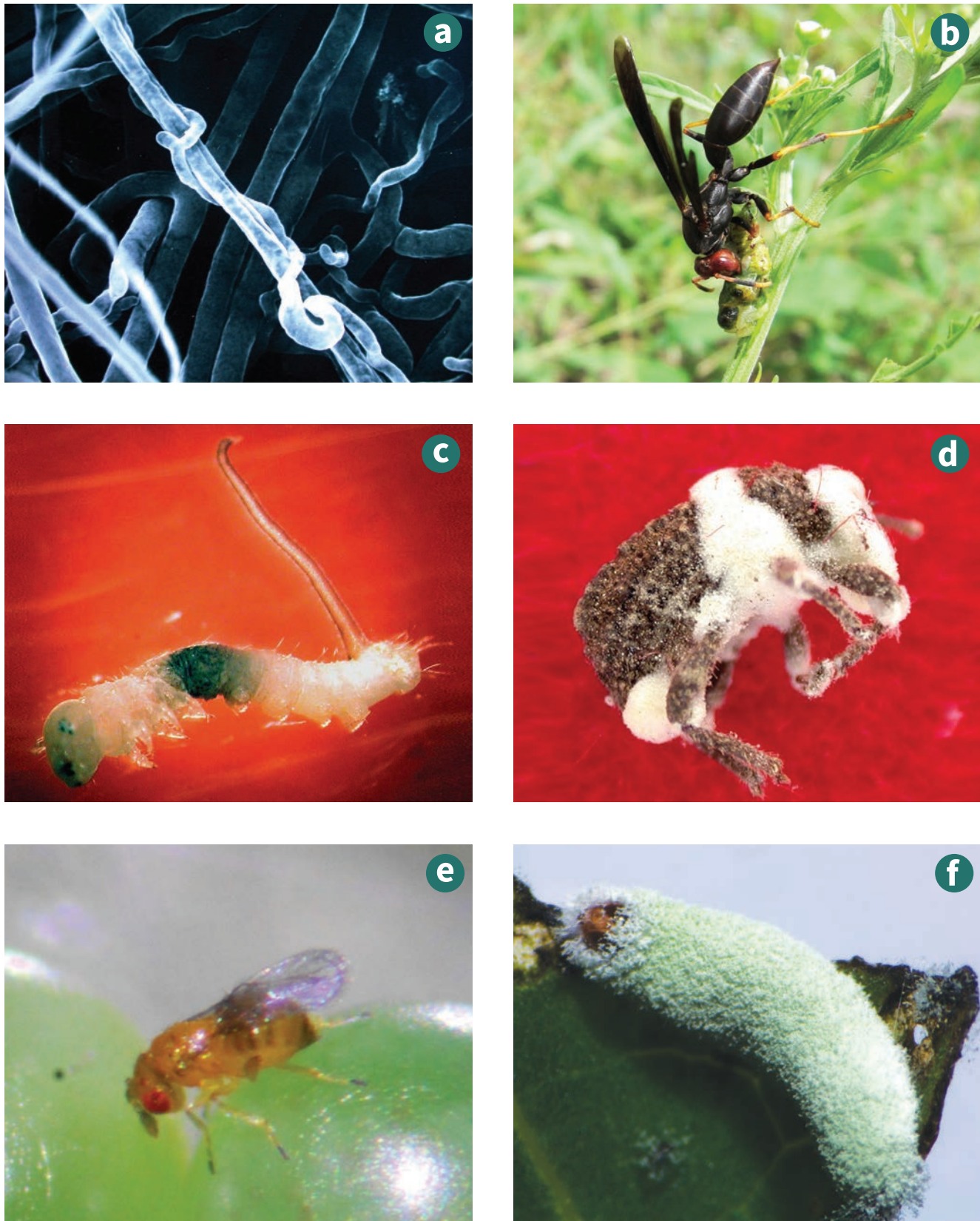


Foto: Takumasa Kondo, Guillermo León, Yigal Elad, Jorge Ibarra y Grupo de Control biológico de Corpoica

Figura 2. Diferentes formas de control biológico. a. Hongo biocontrolador *Trichoderma* sp. parasitando las hifas del hongo fitopatógeno *Rhizoctonia solani*; b. Avispa del género *Polistes* consumiendo una larva de lepidóptero; c. Larva de *Manduca sexta* atacada por las toxinas de *Bacillus thuringiensis* HD-1; d. Hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* colonizando un adulto de gusano blanco de la papa *Premnotrypes vorax*. e. Huevos de lepidóptero con microavispa *Trichogramma* sp., en inicio de proceso de parasitoidización; f. Larva del gusano cogollero del maíz parasitada por el hongo entomopatógeno *Metarhizium rileyi*.

Control biológico de conservación

Este se define como la modificación del medioambiente o de las prácticas existentes, para proteger y mejorar la actividad de enemigos naturales específicos o de otros organismos que reduzcan el efecto nocivo de plagas (Eilenberg et al., 2001). Los enemigos naturales incluyen todo tipo de organismos que ayudan a la regulación biológica: macro y microorganismos que controlan invertebrados, arvenses y enfermedades de las plantas, incluidos los microorganismos antagónicos responsables de los suelos supresivos.

En el control biológico de conservación se modifica el ambiente o se cambian las prácticas del cultivo para mejorar las condiciones de los enemigos naturales que están presentes y, así, incidir sobre su desempeño. Por ejemplo, al aumentar su población, se podría disminuir la de las plagas, de forma que se genere un menor impacto de estas en el cultivo.

El control biológico de conservación es completamente diferente de las otras estrategias de control biológico, ya que no se liberan organismos, solo se mejoran las condiciones de los organismos allí presentes, para evitar o para reducir los daños causados por las plagas. Es por esto que dicha estrategia es incompatible con el uso de agroquímicos que desfavorezcan a los enemigos naturales.

Entre las cinco estrategias de control biológico, la de conservación puede ser vista como la más estrechamente ligada a los principios fundamentales de la agricultura orgánica, que tiene como premisa fundamental la protección de los enemigos naturales existentes. También tiene una conexión estrecha con la “biología de la conservación” (Letourneau, 1998), ya que el control biológico de conservación se basa, en gran medida, en la teoría ecológica sobre las metapoblaciones, la fragmentación espacial y el destino de las especies en un hábitat. Por lo tanto, el control biológico de conservación puede considerarse un ejemplo de restauración del hábitat, con el propósito específico de mejorar las condiciones de los enemigos naturales para controlar las plagas.

La conservación de los enemigos naturales es probablemente la práctica de control biológico más impor-

tante y fácilmente disponible para los cultivadores. Los enemigos naturales existen en todos los sistemas de producción, desde el jardín de las casas hasta los campos comerciales. Estos agentes de biocontrol se adaptan al medioambiente local y a la plaga objetivo, por lo que su conservación es generalmente simple y rentable. Con relativamente poco esfuerzo, se puede observar la actividad de estos enemigos naturales. Sin embargo, en muchos casos, la importancia de los enemigos naturales no se ha estudiado adecuadamente o solo se hace evidente cuando estos desaparecen por el uso de agroquímicos.

Control biológico clásico

El control biológico clásico, según Eilenberg et al., se define como “la introducción intencional de un agente de control biológico exótico, habitualmente coevolucionado, para su establecimiento permanente y para el control de plagas a largo plazo” (2001, p. 391). Este tipo de control podría ser visto como el reestablecimiento ecológico de un equilibrio que el hombre había perturbado o como la capacidad de los enemigos naturales introducidos para persistir en el medioambiente, reproducirse allí y ejercer una actividad biocontroladora (Waage, 2001).

Control biológico aumentativo

Este tercer tipo de control biológico implica la liberación suplementaria de enemigos naturales: pueden liberarse unos pocos enemigos naturales en un momento crítico de la temporada o grandes cantidades de estos, según el caso. Además, el sistema de cultivo puede modificarse para favorecer o aumentar los enemigos naturales. Esta última práctica se denomina frecuentemente *manipulación del hábitat* (Eilenberg et al., 2001).

Control biológico de inoculación

El control biológico de inoculación fue definido por Eilenberg et al. (2001, p. 393) como “la liberación



intencional de un agente de control biológico con la expectativa de que se multiplique y controle la plaga durante un periodo prolongado de tiempo, pero no de forma permanente”.

Se usa principalmente cuando una población de plagas empieza a aumentar, pero, antes de que haya alcanzado el máximo potencial, se inocula un agente de control biológico en cantidades pequeñas o moderadas. El objetivo es que el enemigo natural aumente su población y controle la plaga durante un periodo de tiempo. En este caso, los organismos de biocontrol inoculados no se establecen permanentemente con una densidad de población lo suficientemente alta. De esta forma, si la población de la plaga llega a aumentar después de un periodo de tiempo, se lleva a cabo una nueva inoculación. Este tipo de control es similar al control biológico clásico, pero las principales diferencias radican en que 1) la inoculación del agente de control biológico se hace con organismos que viven en el área de aplicación y 2) solo se hace un establecimiento temporal. El control biológico de inoculación, entonces, resulta equivalente a una restauración momentánea del balance natural.

Control biológico inundativo

Esta quinta estrategia se define como la liberación o aplicación de agentes de control biológico en grandes cantidades para diezmar las plagas cuando su población aumenta de tal forma que el cultivo se pone en riesgo (Eilenberg et al., 2001). Así, la plaga se controla rápidamente y la densidad de población tanto de la plaga como del biocontrolador disminuye con el tiempo. También en este caso, si la población de la plaga aumenta después de un periodo de tiempo, se realiza una nueva aplicación del agente de control biológico. Usualmente, los eventos de control biológico

inundativo se limitan a una temporada de cultivo, por lo que la escala de tiempo es de semanas o de meses.

El término *bioplaguicida microbiano*, definido como un producto cuyo principio activo está constituido por microorganismos que controlan plagas, se asocia con la liberación inundativa, ya que los microorganismos benéficos se aplican cuando la población de plagas es alta o cuando se presume que esta va a estar en el nivel de daño económico. Además, en general se aplican dosis altas, y se asume que estos desaparecerán con el tiempo o que su población se reducirá significativamente por sí sola. En todo caso, los organismos de biocontrol (a menudo comercialmente disponibles) se liberan en intervalos más o menos regulares.

El control biológico de inundación, con su gran parecido con el control químico, puede percibirse como “menos natural” que las otras estrategias de control biológico, especialmente, cuando se usa un microorganismo biocontrolador, puesto que la cantidad del agente de control que se aplica suele ser mayor que la que se encuentra en condiciones naturales en un ambiente determinado. La presentación del biocontrolador puede asociarse, además, a la de los plaguicidas químicos, pues la etiqueta del producto tiene información sobre la concentración y las dosis de aplicación. Sin embargo, se debe considerar la inundación como una estrategia que puede proporcionar excelentes resultados en muchos casos, de acuerdo con la aceptabilidad ecológica.

El control biológico de inundación y el de inoculación a menudo se denominan “control biológico de aumento” (Hajek, 2004), puesto que, en ambos casos, los biocontroladores se liberan a intervalos más o menos regulares de tiempo con el objetivo de aumentar su población. Por otra parte, puede ser difícil saber exactamente si el efecto sobre el objetivo se debió a los propios organismos liberados o a su progenie. En cualquier caso, es recomendable preservar las categorías previamente descritas.

Implementación del control biológico

En general, para la implementación efectiva de una estrategia de control biológico se deben considerar los componentes ecológicos y sociales, desde el momento en que se descubre un agente de biocontrol y durante todo

el proceso de desarrollo. Según Perkins y García (1999), la mayoría de trabajos científicos y productos de control biológico están sujetos a consideraciones políticas y económicas, que tienen poco que ver con el tema científico.



Obviamente, la inundación y la inoculación necesitan la participación de autoridades nacionales para evaluar su eficacia y para conceptuar sobre sus efectos en la salud y el medioambiente. Asimismo, el procedimiento y el producto deben contar con un respaldo científico completo, de forma que se tengan en cuenta los factores ecológicos, los elementos del cultivo, el ecosistema en que se llevará a cabo la aplicación, el tipo de plaga que se quiere controlar y el comportamiento y características de los agentes de biocontrol propuestos.

También la perspectiva y el conocimiento de la sociedad —representada por los consumidores, los cultivadores y los productores— hará que se tomen las medidas y las decisiones finales para el uso generalizado y exitoso de los agentes biocontroladores.

Es importante tener en cuenta, además, que la actitud del consumidor es decisiva para la implementación del control biológico. En Dinamarca, por ejemplo, los tomates producidos con estrategias de control biológico etiquetados como “producidos con control biológico” han influenciado positivamente a los consumidores para comprarlos (Eilenberg, 2006). De forma similar, en un estudio desarrollado por Jetter y Paine (2004), mediante la realización de una encuesta a cultivadores residentes urbanos y suburbanos en el sur de California, que pagaban US\$23 por los plaguicidas químicos utilizados para sus árboles y arbustos, se encontró que estos expresaron interés en pagar entre 569% y 2.108% más por el uso de productos de control biológico para el manejo de plagas en los árboles y arbustos que hacen parte del paisaje urbano.



Conclusiones

Los diferentes enfoques del control biológico y sus aplicaciones proporcionan una gran cantidad de oportunidades para la producción agrícola. Su uso en general ha sido exitoso y seguro, si se tiene en cuenta que no ha generado perturbaciones importantes en el medioambiente ni efectos adversos en la salud humana y animal. Si bien se reconoce que siempre es mejor prevenir la aparición de problemas fitosanitarios, esto no siempre es posible y, dentro de las estrategias disponibles o por desarrollar, el control biológico es altamente promisorio dentro de una producción agrícola limpia. Este capítulo introductorio presentó los conceptos básicos del control biológico, y los demás capítulos de este libro profundizaron en los diferentes agentes biocontroladores y sus aplicaciones; además, esta obra incluye una síntesis de los avances y oportunidades de desarrollo futuro.

Se espera que este libro sea una fuente de inspiración para las actuales y futuras generaciones de investigadores, docentes, estudiantes y asistentes técnicos, para que inicien o profundicen sus estudios en control biológico y, así, hagan de este una herramienta ampliamente utilizada por quienes producen alimentos, fibras y bioenergía.



Referencias

- Baker, K. F., & Cook, R. J. (1974). *Biological control of plant pathogens*. San Francisco, EE. UU.: W. H. Freeman and Company.
- Baker, R. (1983, febrero). *State of the art: plant diseases*. Ponencia presentada en Proceedings of the National Interdisciplinary Biological Control Conference. Las Vegas, EE. UU.
- Bale, J. S., Van Lenteren, J. C., & Bigler, F. (2008). Biological control and sustainable food production. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363(1492), 761-776.
- Bebber, D., Holmes, T., & Gurr, S. (2014). The global spread of crop pests and pathogens. *Global Ecology and Biogeography*, 23(12), 1398-1407. doi: 10.1111/geb.12214.
- Carefoot, G. L., & Sprott, E. R. (1967). *Famine on the wind: Plant diseases and human history*. Chicago, EE. UU.: Rand McNally & Co.
- Carson, R. (1962). *Silent Spring, 40th anniversary edition*. Boston, EE. UU.: Houghton Mifflin.
- Chisholm, S. T., Coaker, G., Day, B., & Staskawicz, B. J. (2006). Host-microbe interactions: Shaping the evolution of the plant immune response. *Cell*, 124(4), 803-814.
- Cook, R. J., & Baker, K.F. (1983). *The nature and practice of biological control of plants pathogens*. Saint Paul, EE. UU.: The American Phytopathological Society.
- Culliney, T. W. (2014). Crop losses to arthropods. En D. Pimentel, & R. Peshin (Eds.), *Integrated pest management* (pp. 201-225). Dordrecht, Holanda: Springer.
- De Bach, P. (1964). *Biological control of insect pests and weeds*. Londres, Reino Unido: Chapman and Hall.
- Dhaliwal, G. S., Dhawan, A. K., & Singh, R. (2007). Biodiversity and ecological agriculture: Issues and perspectives. *Indian Journal of Ecology*, 34(2), 100-109.
- Eilenberg, J. (2006). Concepts and visions of biological control. En J. Eilenberg & H. Hokkanen (Eds.), *An ecological and societal approach to biological control* (pp. 1-11). Dordrecht, Holanda: Springer.
- Eilenberg, J., Hajek, A., & Lomer, C. (2001). Suggestions for unifying the terminology in biological control. *BioControl*, 46(4), 387-400.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2017). *Glosario de términos fitosanitarios*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/W3587E/w3587e03.htm>.
- Govorushko, S. (2012). *Natural processes and human impacts: Interactions between humanity and the environment*. Dordrecht, Holanda: Springer. doi: 10.1007/978-94007-1423-6.
- Gurr, G. M., Barlow, N. D., Memmott, J., Wratten, S. D., & Greathead, D. J. (2000). A history of methodological, theoretical and empirical approaches to biological control. En G. Gurr & S. Wratten (Eds.), *Biological control: measures of success* (pp. 3-37). Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic Press.
- Hajek, A. (2004). *Natural enemies. An introduction to biological control*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Heinrich, D., & Hergt, M. (2003). *Ecology: dtv – atlas*. Moscú, Rusia: Rybari.
- Hull, R. (2013). *Plant virology* (5.ª Ed.). doi: 10.1016/C2010-0-64974-1.
- Jetter, K., & Paine, T. D. (2004). Consumer preferences and willingness to pay for biological control in the urban landscape. *Biological Control*, 30(2), 312-322.
- Krutov V. I., & Minkevich, I. I. (2002). *Fungal disease of the wood species*. Petrozavodsk, Rusia: Karelian Scientific Center of Russian Academy of Sciences.
- Letourneau, D. K. (1998). Conservation biology: lessons for conserving natural enemies. En P. Barbosa (Ed.), *Conservation biological control* (pp. 9-38). San Diego: Academic Press.
- Leung, T.L.F., & Poulin, R. (2008). Parasitism, commensalism, and mutualism: exploring the many shades of symbioses. *Vie et Milieu - Life and Environment*, 58(2), 107-115.
- Monastyrsky, O. A. (2002). A role of cultivated plants in the evolution of toxigenic fungi. En *Modern mycology in Russia* (pp. 262-263). Moscú, Rusia: National Academy of Mycology.
- Narayanasamy, P. (2013). Introduction. En P. Narayanasamy (Ed.), *Biological management of diseases of crops. Progress in*

- biological control* (Vol. 16). Dordrecht, Holanda: Springer. doi: 10.1007/978-94-007-6377-7_1.
- Padmanabhan, S. Y. (1973). The great Bengal famine. *Annual Review of Phytopathology*, 11(1), 11-26.
- Pérez-Brocal, V., Latorre, A., & Moya, A. (2013). Symbionts and pathogens: What is the difference? En U. Dobrindt, J. H. Hacker, & C. Svanborg (Eds.) *Between pathogenicity and commensalism* (pp. 215-243). Berlín, Alemania: Springer.
- Perkins, J. H., & Garcia, R. (1999). Social and economic factors affecting research and implementation of biological control. En T. S. Bellows, & T. W. Fischer (Eds.), *Handbook of biological control* (pp. 993-1009). San Diego, EE. UU.: Academic Press.
- Pimentel, D., Wilson, C., McCullum, C., Huang, R., Dwen, P., Flack, J., ... Cliff, B. (1997). Economic and environmental benefits of biodiversity. *BioScience*, 47(11), 747-757
- Pimentel, D., Bailey, O., Kim, P., Mullaney, E., Calabrese, J., Walman, F., ... Yao, X. (1999). Will the limits of the Earth's resources control human populations? *Environment, Development and Sustainability*, 1, 19-39.
- Pinstrup-Andersen, P. (2000). The future world food situation and the role of plant diseases. *Canadian Journal of Pathology*, 22(4). doi: <https://doi.org/10.1080/07060660009500451>.
- Singh, H. (2014). Management of plant pathogens with microorganisms. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 80(2), 443-454. doi: 10.16943/prinsa/2014/v80i2/55120.
- Thrall, P. H., Oakeshott, J. G., Fitt, G., Southerton, S., Burdon, J. J., Sheppard, A., ... Denison, R. F. (2011). Evolution in agriculture: the application of evolutionary approaches to the management of biotic interactions in agro-ecosystems. *Evolutionary Applications*, 4(2), 200-215. doi: 10.1111/j.1752-4571.2010.00179.x.
- Ullstrup, A. J. (1972). The impacts of the southern corn leaf blight epidemics of 1970-1971. *Annual Review of Phytopathology*, 10, 37-50.
- Van den Bosch, R., Messenger, P. S., & Gutierrez, A. P. (1982). *An introduction to biological control*. Nueva York, EE. UU.: Plenum Press.
- Waage, J. K. (2001). Indirect ecological effects in biological control: the challenge and the opportunity. En E. Wajnberg, J. K. Scott, & P. C. Quimby (Eds.), *Evaluating indirect ecological effects of biological control* (pp. 1-12). Wallingford, EE. UU.: CABI Publishing.

