

SECCIÓN I. ALCANCE DEL CONTROL BIOLÓGICO

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

El control biológico puede ser enfocado de distintas maneras para diferentes propósitos. Cuando la meta es la supresión permanente de una plaga (usualmente una especie invasora no nativa) en un área grande, el único método factible es el *control biológico clásico*. Con este enfoque se busca causar un cambio ecológico permanente en el complejo de enemigos naturales (es decir, parasitoides, depredadores, patógenos, herbívoros) que atacan a la plaga, introduciendo nuevas especies desde el sitio de origen de la plaga (o, en el caso de plagas nativas o exóticas de origen desconocido, a partir de especies emparentadas o ecológicamente similares). Históricamente, este enfoque fue el primer método de manipulación de enemigos naturales que fue exitoso de manera contundente como forma de control de plagas. Desde el siglo pasado ha sido usado para suprimir más de 200 especies de insectos invasores y más de 40 especies de malezas en muchos países en todo el mundo, y es la forma de control biológico más productiva y de mayor importancia económica. Esta estrategia puede ser aplicada contra plagas en áreas naturales (bosques, pastizales, humedales), urbanas y de producción agrícola. El control biológico clásico debe ser una actividad gubernamental regulada a nivel de comunidad, y conducida para el beneficio regional en lugar de para el beneficio de unos pocos individuos.

Existen otras modalidades de control biológico (*conservación de enemigos naturales, liberación de enemigos naturales criados comercialmente, plaguicidas microbiales*) que pueden suprimir temporalmente plagas de cultivos, ya sean nativas o invasoras. Estos métodos tienen sentido cuando el control de plagas se necesita solamente en una localidad y en un tiempo específico. El agricultor cubre el costo de implementar este tipo de prácticas con el fin de reducir pérdidas debidas al daño de la plaga. Para ser útiles estos métodos deben ser eficientes con respecto a los costos, pagando por ellos mismos para reducir pérdidas por plagas y deben ser más convenientes o económicos que los otros métodos de control disponibles. Sin embargo, dependen del interés del productor y de su buena voluntad para pagar los costos asociados.

En terrenos públicos, los fondos gubernamentales pueden solventar las liberaciones de enemigos naturales para proteger bosques o para lograr otras metas de manejo de plagas si existe un consenso claro de esa necesidad y si el gobierno quiere y puede pagar. El plaguicida microbial *Bacillus thuringiensis* Berliner ssp. *kurstaki*, por ejemplo, es utilizado por las agencias forestales canadienses como una alternativa a la aspersión de bosques con plaguicidas químicos para suprimir las explosiones de poblaciones de insectos tales como el gusano de la yema de la picea *Choristoneura fumiferana* (Clemens). Sin embargo, estos métodos de control biológico “no clásico” son usados principalmente en granjas, huertas o invernaderos privados para suplementar el control natural.

El control biológico de vertebrados plaga se ha ensayado, y recientemente se ha investigado este enfoque para el uso de patógenos de vertebrados modificados genéticamente. Existe una necesidad emergente del control biológico de plagas invasoras no tradicionales como cangrejos, estrellas de mar, medusas, algas marinas, serpientes y mejillones de agua dulce, para las cuales la experiencia con insectos y plantas ofrecería una mínima dirección directa. Finalmente, se examinan las restricciones de cada uno de los principales enfoques del control biológico (importación, conservación, aumento y bioplaguicidas) y se especula sobre la probabilidad de su uso futuro.

CAPÍTULO 2: TIPOS DE CONTROL BIOLÓGICO, OBJETIVOS Y AGENTES DE CONTROL

¿QUÉ ES EL CONTROL BIOLÓGICO?

La definición de control biológico depende de la palabra *población*. Todo control biológico involucra el uso, de alguna manera, de *poblaciones de enemigos naturales* para reducir poblaciones de plagas a densidades menores, ya sea temporal o permanentemente. En algunos casos, las poblaciones de enemigos naturales son manipuladas para causar un cambio permanente en las redes alimenticias que rodean a la plaga. En otros casos no se espera que los enemigos naturales liberados se reproduzcan por lo que sólo los individuos liberados tienen algún efecto. Algunos enfoques del control biológico son diseñados para reforzar las densidades de enemigos naturales al mejorar sus condiciones de vida.

Los métodos que no actúan a través de poblaciones de enemigos naturales vivos no son control biológico. Los métodos “biológicamente” basados que no usan plaguicidas tales como la liberación de machos estériles para reducir la reproducción de insectos, el uso de feromonas para provocar disrupción del apareamiento de la plaga, los cultivos resistentes a plagas, los compuestos químicos bioracionales y las plantas transgénicas resistentes a plagas no son control biológico. Sin embargo, si estos métodos reemplazan a los plaguicidas tóxicos, pueden reforzar el control biológico al conservar los enemigos naturales existentes.

CONTROL PERMANENTE EN ÁREAS GRANDES

Cuando las plagas van a ser controladas en áreas grandes, el único enfoque efectivo a largo plazo es la introducción de enemigos naturales. Si la plaga objetivo es una especie invasora no nativa y si se introducen sus enemigos naturales, el enfoque es llamado *control biológico clásico*. Si el objetivo es una plaga nativa (o una especie exótica de origen desconocido) y si los enemigos naturales liberados contra ella provienen de otra especie, el enfoque se llama *control biológico de nueva asociación*. Los proyectos de control biológico clásico y de nueva asociación son similares en su operación, pero difieren en si los enemigos naturales utilizados tienen o no una asociación evolutiva con la plaga a controlar.

CONTROL BIOLÓGICO CLÁSICO

Muchas de las plagas de artrópodos importantes para la agricultura y las áreas naturales son especies invasoras, no nativas (Sailer, 1978; Van Driesche and Carey, 1987). En los Estados Unidos (EU), por ejemplo, 35% de los 700 insectos plaga más importantes son especies invasoras aún cuando los insectos invasores sólo son el 2% de los artrópodos de EU (Knutson *et al.*, 1990). Los invasores vigorosos (bien adaptados al clima y compitiendo con la comunidad invadida) a menudo permanecen como plagas de alta densidad porque los enemigos naturales locales no están especializados en alimentarse de especies desconocidas. Consecuentemente, el nivel de ataque está demasiado limitado para controlar adecuadamente a la plaga. En tales casos, las introducciones de enemigos naturales especializados que han tenido una relación evolutiva con la plaga son necesarias para su control. Desde 1888, las introducciones de enemigos naturales han logrado un control completo o parcial de más de 200 artrópodos plaga y de alrededor de 40 malezas (DeBach, 1964a; Laing and Hamai, 1976; Clausen, 1978; Goeden, 1978; Greathead y Greathead, 1992; Nechols *et al.*, 1995; Hoffmann, 1996; Julien y Griffiths, 1998; McFadyen, 1998; Waterhouse, 1998; Olckers y Hill, 1999; Waterhouse y Sands, 2001; Mason y Huber, 2002; Van Driesche *et al.*, 2002a; Neuenschwander *et al.*, 2003).

Es más probable que ocurran enemigos naturales eficientes de especies invasoras en el rango de distribución nativo de la plaga, donde se han desarrollado como especialistas para explotar la plaga. En algunos casos, los enemigos naturales efectivos pueden ser conocidos de proyectos anteriores. Cuando el piojo harinoso rosado del hibisco *Maconellicoccus hirsutus* (Green) invadió el Caribe en los noventa (Kairo *et al.*, 2000), el control previo del mismo piojo harinoso en Egipto proporcionó considerable información de los enemigos naturales que podrían ser útiles (Clausen, 1978). Como grupo, los piojos harinosos son bien conocidos por ser controlados por parasitoides, especialmente Encyrtidae (Neuenschwander, 2003). Los únicos piojos harinosos que han sido difíciles de controlar han sido los que son atendidos por hormigas, las cuales los protegen (p. ej., el piojo harinoso de la piña *Dysmicoccus brevipes* [Cockerell] en Hawaii [EU], González-Hernández *et al.*, 1999) o los que se alimentan bajo el suelo en las raíces de las plantas, donde los parasitoides no pueden acceder (p. ej., el piojo harinoso de la vid *Planococcus ficus* [Signoret] en viñedos de California [EU], ver Daane *et al.*, 2003).

Los proyectos de control biológico clásico requieren de la colecta de enemigos naturales en la área de origen del invasor, su envío al país invadido y (después de las pruebas adecuadas de cuarentena para asegurar la identificación correcta y la seguridad) de su liberación y establecimiento. En el caso del piojo harinoso rosado del hibisco (nativo de Asia), el encírtido *Anagyrus kamali* Moursi, originalmente colectado en Java para liberarse en Egipto, fue identificado rápidamente como candidato a ser liberado en el Caribe. Antes de que el piojo harinoso fuera controlado, un amplio rango de plantas leñosas fue afectado severamente en el Caribe, incluyendo cítricos, cacao, algodón, teca, guanábana y varias ornamentales (Cock, 2003). El comercio entre las islas fue restringido para contener la dispersión de la plaga, causando luego daños económicos. Antes de un año de haber sido introducido, *A. kamali* redujo al piojo harinoso rosado a niveles no económicos en el Caribe y después fue introducido a Florida y California (EU).

La supresión rápida de una planta invasora por un insecto introducido es ilustrada con el caso del helecho flotador *Azolla filiculoides* Lamarck (McConnachie *et al.*, 2004). *Azolla filiculoides*, nativa del continente Americano, apareció en Sudáfrica en 1948, en una sola localidad. Ya en 1999 había infestado al menos 152 sitios, principalmente reservas y pequeños confinamientos de agua. Formó esteras flotantes gruesas que interferían con el manejo del agua, aumentaban el cieno, reducían la calidad del agua, dañaban la biodiversidad local y ocasionalmente causaban el ahogamiento del ganado (Hill, 1997). El control biológico proporcionó la única opción para la supresión porque no habían herbicidas registrados para usarse contra esa planta (Hill, 1997). Afortunadamente, se conocían insectos fitófagos de Estados Unidos potencialmente efectivos y uno de ellos, el picudo *Stenopelmus rufinasus* Gyllenhal, fue importado desde Florida. Hill (1997) confirmó que el insecto era un especialista y se alimentaba en una sola especie de *Azolla*, por lo que fue aprobado para su liberación (Hill, 1998). Científicos sudafricanos lo liberaron en 112 sitios, iniciando en 1997 (McConnachie *et al.*, 2004) y en menos de 7 meses eliminaron *A. filiculoides* de virtualmente todos los sitios de liberación (excepto los destruidos por inundación o drenaje). El helecho fue controlado en todo el país antes de 3 años, con una proporción costo: beneficio esperado de 15:1 para el año 2010 (McConnachie *et al.*, 2003).

La introducción como un método del control biológico tiene una ventaja importante sobre otras formas de control biológico porque es sostenible y menos cara a largo plazo. En huertas o en plantaciones de árboles, después de que se establecen los nuevos enemigos naturales pueden requerirse medidas de conservación (tales como evitar los plaguicidas dañinos) para que las nuevas especies sean completamente efectivas. Debido a que los proyectos de control biológico clásico no producen algo para vender y que requieren de un presupuesto inicial considerable y de muchos científicos entrenados, usualmente son conducidos por instituciones públicas, usando recursos públicos para resolver problemas para el bien común.

CONTROL BIOLÓGICO DE NUEVA ASOCIACIÓN

Este término aplica si la plaga objetivo es una especie nativa o una especie invasora de origen desconocido. En ambos casos, los enemigos naturales son colectados de diferentes especies relacionadas taxonómica o ecológicamente con la plaga. El uso contra una especie nativa es ilustrado por los esfuerzos de controlar el barrenador de la caña de azúcar *Diatraea saccharalis* (Fabricius) en Barbados. Este barrenador es una plaga del Nuevo Mundo en la caña de azúcar, donde no es controlado con facilidad por plaguicidas. El braconídeo parasítico *Cotesia flavipes* Cameron fue encontrado en India atacando barrenadores del tallo en otras especies de pastos altos e importado a Barbados, donde redujo la incidencia del barrenador de la caña de azúcar del 16% al 6% (Alam *et al.*, 1971).

Un ejemplo actual de un proyecto de nueva asociación es el esfuerzo para reducir la alimentación en yemas y frutas por los chinches *Lygus* nativos de Norteamérica con parasitoides europeos de *Lygus* (Day, 1996). El braconídeo *Peristenus digoneutis* Loan fue establecido exitosamente en el este de Estados Unidos y redujo en un 75% las densidades del chinche *Lygus lineolaris* (Palisot de Beauvois) en alfalfa, su mayor cultivo de reserva,

(Day, 1996). La reducción de las poblaciones de *Lygus* en alfalfa conduciría a que menos chinches inmigrantes alcanzaran cultivos de alto valor, como las manzanas y las fresas (Day *et al.*, 2003; Tilmon and Hoffmann, 2003).

El mismo enfoque general puede ser utilizado contra especies invasoras cuyas áreas de origen permanecen sin descubrir. Por ejemplo, se creía que la polilla del coco *Levuana iridescens* Bethune-Baker, en Fiji era una plaga invasora de algún lugar del oeste de Fiji pero el origen de la población nunca se encontró. Tothill *et al.* (1930) introdujeron al taquínido *Bessa remota* (Aldrich) después de encontrarlo como parasitoide de otras polillas zygaénidas, haciendo de este un caso probable de nueva asociación contra una especie invasora (ver el Capítulo 16 para conocer los resultados).

El control biológico de nueva asociación en especies nativas difiere del control biológico clásico en varios aspectos importantes. Primero, la justificación ecológica del control biológico clásico (restablecer ecosistemas perturbados a las condiciones previas a la invasión) es inexistente cuando se trata de especies nativas. Para algunas plagas, la sociedad humana considera que la disminución permanente de la densidad de una especie nativa es aceptable por el daño económico que causa. Esto es cierto claramente para plagas tales como la del chinche lygus (*L. lineolaris*). El control biológico de nueva asociación no es aconsejable para plantas nativas, aún para aquellas que se han convertido en malezas. Algunos de tales proyectos fueron propuestos en el pasado contra plantas nativas como el mezquite (*Prosopis glandulosa* Torrey y *Prosopis velutina* Wooten) y para la maleza de la serpiente (*Gutierrezia* spp.) en el suroeste de Estados Unidos (DeLoach, 1978). Si se intenta el control biológico de una planta nativa, el éxito también afectaría en varias formas a muchas especies dependientes de esa planta.

Otra forma en que el control biológico de nueva asociación es diferente al control biológico clásico, sin importar si el objetivo es una especie nativa o una especie invasora de origen desconocido, es que por definición, los enemigos naturales no son localizados buscando la plaga en el extranjero y colectando sus enemigos naturales. En su lugar, tienen que seleccionarse sustitutos de otra región biogeográfica que se parezcan bastante a la plaga (basándose en la taxonomía, ecología, morfología, etc.) para tener enemigos naturales que pudiesen atacar a la plaga. En algunos casos, especies del mismo género tienen ciclos de vida similares y (para los insectos a controlar) atacan los mismos géneros de plantas que la plaga. Los rangos geográficos de tales especies indican entonces los lugares disponibles en los que se pueden colectar enemigos naturales potenciales, teniendo en cuenta que los climas y patrones de luz del día de las regiones donante y destinataria sean similares. En otros casos, sin embargo, puede no haber obvias especies relacionadas de las cuales se puedan colectar enemigos naturales.

SUPRESIÓN TEMPORAL DE LA PLAGA EN ÁREAS DE PRODUCCIÓN

Aunque el control biológico clásico ha sido usado extensamente para suprimir insectos plaga que atacan cultivos, el control biológico en sistemas de producción no tiene que ser permanente o de rango amplio. La meta puede ser simplemente suprimir suficientemente densidades de plaga para proteger la cosecha del año en curso. El control biológico en los cultivos emp-

ieza con prácticas que refuerzan el *control natural*, conservando los enemigos naturales que viven en los campos de cultivo. Éstos pueden ser depredadores generalistas o parasitoides especializados (de especies nativas o parasitoides introducidos previamente para el control de especies invasoras). Estas especies pueden ser reforzadas por una variedad de manipulaciones del cultivo, del suelo o de la vegetación presente en o alrededor del campo de cultivo (*control biológico por conservación*). Si la disminución de la plaga con estos enemigos naturales es insuficiente, pueden liberarse enemigos naturales adicionales (*control biológico aumentativo*), proporcionando la especie correcta disponible y apta para ofrecer un control de la plaga económicamente efectivo. Productos comerciales que contienen patógenos (*bioplaguicidas*) pueden ser asperjados en los cultivos para eliminar plagas adicionales.

CONTROL BIOLÓGICO POR CONSERVACIÓN

Las prácticas agrícolas influyen significativamente la forma en que los enemigos naturales suprimen realmente a insectos y ácaros plaga. El control biológico por conservación es el estudio y la manipulación de tales influencias. Su meta es minimizar los factores que afectan perjudicialmente a las especies benéficas y reforzar aquellos que hacen de los campos agrícolas un habitat adecuado para los enemigos naturales. Este enfoque asume que los enemigos naturales ya presentes pueden potencialmente suprimir la plaga si se les da la oportunidad de hacerlo. Esta suposición es probable que sea cierta para muchas especies de insectos nativos pero no para malezas. Tampoco es usualmente válida para los insectos invasores, a menos que un programa de control biológico clásico haya importado enemigos naturales especializados eficientes.

En los campos agrícolas convencionales (no orgánicos), el uso de plaguicidas es la práctica más dañina que afecta a los enemigos naturales (Croft, 1990). Otros factores negativos pueden ser el polvo en el follaje (DeBach, 1958; Flaherty and Huffaker, 1970) y las hormigas que protegen a insectos productores de mielecilla (DeBach and Huffaker, 1971). Las prácticas agrícolas que pueden afectar negativamente a los enemigos naturales incluyen el uso de variedades de cultivos con características desfavorables, la fecha y forma de las prácticas culturales, la destrucción de residuos de cosecha, el tamaño y localización de las áreas de cultivo, y la remoción de la vegetación que provee a los enemigos naturales de sitios para invernar o alimento.

En principio, los campos de cultivo y sus alrededores pueden ser reforzados como habitats para los enemigos naturales manipulando el cultivo, las prácticas agrícolas o la vegetación que los rodea. Las prácticas útiles pueden incluir la creación de refugios físicos necesarios para los enemigos naturales, la provisión de lugares para que vivan los hospederos alternos, la colocación de plantas con flores que sirvan de fuentes de néctar o la plantación de cultivos de cobertura del suelo entre los surcos del cultivo para moderar la temperatura y la humedad relativa. Aún la manera o la época de cosecha o el tratamiento postcosecha de los residuos del cultivo pueden influir en las poblaciones de enemigos naturales (van den Bosch *et al.*, 1967; Hance y Gregoire-Wibo, 1987; Heidger y Nentwig, 1989). La inclusión consciente de tales aspectos en los sistemas agrícolas ha sido llamada ingeniería ecológica (Gurr *et al.*, 2004).

Los métodos de conservación dependen en conocer qué tan efectiva será una práctica particular de conservación bajo condiciones locales. Esto requiere investigación local extensa en los campos de los agricultores. El método a menudo puede ser implementado en campos individuales, independientemente de las acciones de la comunidad como un todo, después de que tal información esté disponible.

LIBERACIONES DE ENEMIGOS NATURALES CRIADOS COMERCIALMENTE

Cuando los enemigos naturales están ausentes (como en los invernaderos), cuando llegan muy tarde a las nuevas plantaciones (algunos cultivos en surcos) o simplemente cuando son demasiado escasos para poder controlar plagas (en monocultivos extensos), su población puede ser incrementada artificialmente liberando individuos criados en insectarios (King *et al.*, 1985). La liberación de enemigos naturales producidos comercialmente se llama *control biológico aumentativo*. Este incremento cubre varias situaciones. *Las liberaciones inoculativas* son aquéllas en las que pequeños números de un enemigo natural son introducidos temprano en el ciclo del cultivo, esperando que se reproduzcan y que su descendencia continúe logrando el control de la plaga por un período extenso de tiempo. Por ejemplo, una liberación temprana de *Encarsia formosa* Gahan puede ayudar al control de mosca blanca durante toda la estación de crecimiento de cultivos de tomate en invernadero. *La inundación o liberación masiva* es utilizada cuando es probable que la reproducción de los enemigos naturales liberados sea insuficiente, por lo que el control de plagas se logrará principalmente con los individuos liberados. Por ejemplo, *Eretmocerus eremicus* Rose & Zolnerowich debe ser liberado cada semana para la supresión continua de mosca blanca en el cultivo de poinsetia en invernadero.

El control biológico aumentativo, adecuado para ser usado contra plagas nativas e invasoras, está limitado principalmente por el costo, la disponibilidad y calidad del agente de control, y por la efectividad en campo de los organismos criados. Los costos limitan el uso de enemigos naturales criados a situaciones donde (1) el enemigo natural es barato de criar, (2) el cultivo tiene alto valor y (3) donde no están disponibles alternativas más baratas como los insecticidas. Sólo en tales circunstancias las compañías privadas pueden recuperar los costos de producción y competir económicamente con los métodos alternativos. Un uso algo más amplio es posible cuando las instituciones públicas crían los enemigos naturales necesarios. En ambos casos, la producción de enemigos naturales de alta calidad es esencial, como lo son los estudios para determinar las mejores estrategias de liberación y para determinar el grado de control de la plaga logrado por el agente criado bajo condiciones de campo.

APLICACIÓN DE BIOPLAGUICIDAS

La inundación con nemátodos o patógenos difiere de la liberación masiva de parasitoides y depredadores. Los *bioplaguicidas* se asemejan a los plaguicidas químicos en su empaque, manejo, almacenamiento y métodos de aplicación, así como en su estrategia de uso curativo y en los requerimientos (excepto los nemátodos) para el registro gubernamental. El uso de la bacteria *Bacillus thuringiensis* Berliner es el mejor ejemplo conocido de un

bioplaguicida. Tales patógenos, sin embargo, aunque han estado presentes en el mercado por más de 65 años, han permanecido como productos locales y actualmente representan menos del 1% del uso de insecticidas. Sin embargo, el uso de las plantas transgénicas que expresan las toxinas de esta bacteria ha aumentado significativamente y continúa creciendo rápidamente, con más de 100 millones de acres de cultivos Bt alrededor del mundo en el año 2000, principalmente de algodón, soya y maíz (Shelton *et al.*, 2002). Estas plantas resistentes a insectos usualmente remplazan a los plaguicidas convencionales y mejoran el cultivo como un habitat para los enemigos naturales, favoreciendo el control biológico por conservación (ver Capítulo 21).

TIPOS DE OBJETIVOS Y TIPOS DE AGENTES DE CONTROL

El control biológico ha sido utilizado principalmente para el control de malezas, insectos y ácaros. En unas pocas instancias, los vertebrados o caracoles plaga han sido el objetivo a controlar. Existe la necesidad de control biológico de nuevos tipos de plagas, como las algas marinas, estrellas de mar, mejillones y medusas pero estos son objetivos no tradicionales, acerca de los cuales el potencial de supresión conocido de los enemigos naturales es relativamente pequeño (ver Capítulo 28). Para las plagas principales por combatir con el control biológico, varios grupos de enemigos naturales han sido usados ampliamente. Para el control biológico de malezas, los enemigos naturales han sido principalmente insectos y hongos fitopatógenos., Los insectos parasíticos y los depredadores son los enemigos naturales utilizados para los insectos plaga, junto con algunos patógenos formulados para su uso como bioplaguicidas., Los ácaros depredadores han sido manipulados ampliamente contra los ácaros plaga utilizando métodos de conservación. En la parte inicial de este libro se consideró la diversidad taxonómica y la ecología de los grupos clave de enemigos naturales (Capítulos 3, 4, 5 y 6), con el propósito de desarrollar un mejor entendimiento de cómo son manipulados estos grupos para el control biológico, antes de discutir los métodos para su manipulación.

