

SECCIÓN X. CONTROL BIOLÓGICO AUMENTATIVO

CAPÍTULO 25: CONTROL BIOLÓGICO EN INVERNADEROS

INICIOS HISTÓRICOS

Los invernaderos estuvieron entre los primeros ambientes para los que fue propuesta la idea de la liberación artificial de enemigos naturales. Kirby y Spence (1815) recomendaron la cría de mariquitas para control de áfidos. Su uso real inició en 1926, cuando Speyer (1927) inició la cría de *Encarsia formosa* Gahan en Inglaterra (**Figura 25-1**) para control de la mosca blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (**Figura 25-2**) en tomates. Speyer se enteró de este parasitoide por un agricultor que había encontrado ‘pupas’ negras (parasitadas) de moscas blancas en sus plantas.



Figura 25-1. El afelínido *Encarsia formosa* Gahan, especie comúnmente usada para el control de la mosca blanca de los invernaderos, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood). (Fotografía cortesía de Jack Kelly Clark, University of California IPM Photo Library.)



Figura 25-2. La mosca blanca de los invernaderos, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood). (Fotografía cortesía de Les Shipp.)

Este parasitoide fue usado por los productores de tomates durante 20 años hasta que los nuevos insecticidas ocasionaron que los agricultores perdieran interés (Hussey, 1985) y adoptaran los plaguicidas para casi todo el control de plagas.

A finales de los años 1950s, otra importante plaga en invernaderos, la araña de dos manchas (*Tetranychus urticae* Koch), llegó a ser incontrolable debido a la resistencia a los plaguicidas (Bravenboer, 1960). Más o menos al mismo tiempo, un productor alemán de orquídeas encontró al ácaro *Phytoseiulus persimilis* Athias-

Henriot (**Figura 25-3**) en orquídeas de Chile y notó que se alimentaban de ácaros tetraniq- uidos. La cría de este depredador empezó la industria de los insectarios para los invernaderos europeos (Bravenboer y Dosse, 1962). Para los años 1960s, los plaguicidas también dejaron de controlar a la mosca blanca de los invernaderos, lo que estimuló el redescubrimiento del trabajo inicial con *E. formosa*.



Figura 25-3. El fitoseído *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot es el depredador más comúnmente usado para controlar a la arañita de dos manchas (*Tetranychus urticae* Koch). (Fotografía cortesía de Jack Kelly Clark, University of California IPM Photo Library.)

El control biológico en invernaderos re- nació en los 1970s, ofreciendo una solución a estos problemas de ácaros y moscas blancas resistentes a plaguicidas. Inicialmente, los insectarios eran pequeños y eran operados por los productores para tener fuentes de *P. per- similis* y *E. formosa* para su propio uso, ven- diendo el sobrante. Un productor holandés, J. Koppert, empezó un negocio que creció hasta convertirse en el insectario más grande del mundo. La mejor disponibilidad del pro- ducto, acoplada con un servicio de asesoría para agricultores ofrecido por la compañía, condujo a un uso más eficiente y más amplio del control biológico en los invernaderos eu- ropeos, lo que inició la industria de insecta- rios como existe actualmente.

La industria de los insectarios tiene como objetivo producir grandes números de enemigos naturales para liberarlos donde es- tén ausentes o sean demasiado escasos para lograr un control efectivo. Dos enfoques de liberación fueron desarrollados. Las *libera- ciones inoculativas* se usan para colocar al

enemigo natural en el cultivo y el control se logra después que los enemigos naturales se re- produzcan por varias generaciones. Si no se espera que los enemigos naturales se reproduzcan y controlen, el control se logra con la liberación de grandes números del agente biológico, y este enfoque se llama *liberación inundativa o masiva*.

La adopción del control biológico en invernaderos es significativa pero está lejos de ser ampliamente diseminada. Las estimaciones de áreas cubiertas por “invernaderos” varía, de- pendiendo donde se coloque el punto de separación en el espectro de los invernaderos grandes y permanentes, y las casas de plástico anuales con calefacción y los túneles de plástico estacio- nales sin calefacción. Una estimación conservadora esta cerca de 400,000 ha de invernaderos a nivel mundial (van Lenteren, 2000a) aunque China puede tener hasta 2,000,000 ha (casi todas con túneles de plástico estacionales sin calefacción) (Zheng *et al.*, 2005). La porción de esta área en la que se usa control biológico es pequeña, del 5% (excluyendo a China) o del 0.1% (incluyendo a China). El control biológico es usado principalmente en hortalizas – 30,000 ha, especialmente en áreas templadas del norte (11,000 ha en China) (van Lenteren y Woets, 1988; van Lenteren, 2000ab; Zheng *et al.*, 2005). Además, el control biológico es usado en 1,000 ha de cultivos ornamentales (van Lenteren, 2000ab) y una pequeña cantidad

en hortalizas de regiones cálidas. El número de enemigos naturales criados comercialmente se ha incrementado desde 1 en 1968 a más de 100 en 2006.

¿CUÁNDO SON FAVORABLES LOS INVERNADEROS PARA EL CONTROL BIOLÓGICO?

El control biológico para uso en invernaderos fue desarrollado originalmente en hortalizas cultivadas del norte de Europa, en invernaderos con una construcción relativamente sofisticada. Los esfuerzos para aplicar directamente los enfoques desarrollados allí a cultivos de flores, en climas cálidos o en invernaderos de baja tecnología no han funcionado bien. El control biológico es posible que sea más exitoso en (1) cultivos a largo plazo más que en los de corto plazo, (2) hortalizas más que en ornamentales, (3) cultivos con pocas plagas, (4) cultivos en los que la plaga a controlar no ataque la parte de la planta a vender, (5) cultivos en los que la plaga clave no transmita enfermedades a las plantas, y (6) en invernaderos bien resguardados en regiones con inviernos fríos.

CULTIVOS A LARGO PLAZO

El control biológico fue iniciado en cultivos a largo plazo como el tomate o pepino de 4 a 8 meses (**Figura 25-4**). Tales cultivos permiten enfoques basados en la inoculación de un pequeño número de enemigos naturales al inicio del cultivo. Los cultivos de larga duración permiten que crezcan las poblaciones del enemigo natural hasta que, a través de



Figura 25-4. Vista de un invernadero moderno de producción de hortalizas con plantas jóvenes de pepino. (Fotografía cortesía de Les Shipp.)

la ventaja numérica basada en la reproducción más rápida, eventualmente supriman a la plaga. En contraste, en muchos cultivos de flores, el corto período de crecimiento (4-6 semanas) sólo permite una o dos generaciones del enemigo natural, lo que es insuficiente para el incremento significativo de la población de la mayoría de los enemigos naturales. En consecuencia, las liberaciones en cultivos a corto plazo tienen que ser masivas y frecuentes porque poco puede esperarse de su reproducción. Esto aumenta el precio y puede hacer incoosteable al control biológico.

CULTIVOS DE HORTALIZAS

Los principales cultivos hortícolas de invernadero (tomates, pimientos y pepinos), además de ser de ciclo largo, son afectados principalmente por *plagas indirectas* del follaje, no por plagas de la fruta. Por tanto, el umbral de daño por esas plagas que puede ser tolerado sin pérdidas económicas es bastante alto. En tomates del norte de Europa, por ejemplo, las moscas blancas causan daños económicos solamente si densidades suficientemente altas restringen la fotosíntesis, lo que ocurre con más de cientos de moscas blancas por hoja. En contraste, en flores cultivadas, el follaje usualmente es parte del producto y, por tanto, las densidades de moscas blancas por las que no habría qué preocuparse en hortalizas son inaceptables en la producción de flores.

TAMAÑO DEL COMPLEJO DE PLAGAS

Los cultivos que alojan complejos grandes de plagas son más difíciles para el control biológico. La nochebuena (**Figura 25-5**), en contraste, es favorable porque sólo tiene una plaga importante (las moscas blancas). Los programas de control biológico para cultivos con muchas plagas pueden fallar por el esfuerzo requerido y el alto costo, o



Figura 25-5. Un invernadero de floricultura con plantas de nochebuena, uno de los relativamente pocos cultivos de flores que se siembra como monocultivo. (Fotografía cortesía de Peter Krause, Texas A&M University.)

porque no hay enemigos naturales efectivos para algunas de las plagas. En ese caso, el programa de control biológico puede ser abandonado si tiene que ser usado un plaguicida incompatible.

PLAGAS DIRECTAS VS INDIRECTAS

Las plagas indirectas, las que no atacan la parte comercializable de la planta, son mejores objetivos para el control biológico porque la mayoría de ellas pueden ser toleradas. Las plagas en el follaje de los rosales, por ejemplo, tienen pocas consecuencias si están confinadas a las ramas inferiores porque estas no se incluyen en las rosas cortadas. Los tetraníquidos ocurren abajo en los rosales que crecen en el sistema de caña inclinada, haciendo factible el uso de los depredadores de ácaros.

ESPECIES NO VECTORAS DE ENFERMEDADES VEGETALES

Las especies que no transmiten fitopatógenos son mejores objetivos de control biológico que las vectoras, debido a que el nivel de daño tolerable de un vector puede ser demasiado bajo para alcanzarlo usando el control biológico. Variedades de plantas tolerantes al patógeno pueden ser combinadas con el control biológico para manejar vectores. La raza Q de la mosca blanca de la batata *Bemisia tabaci* (Gennadius) transmite el virus del enrollamiento amarillo de la hoja, en invernaderos de tomate español. El afelínido *Eretmocerus mundus* Mercet puede lograr un control eficiente de esta raza si se usan variedades tolerantes al virus y mallas contra insectos (Stansly *et al.*, 2004).

INVERNADEROS EN CLIMA FRÍO Y EN CLIMA CÁLIDO

Los invernaderos en clima frío (norte de Europa, Canadá, etc.) son más favorables para el control biológico que los de climas cálidos (sur de Europa, Japón, etc.). En climas fríos, las temperaturas invernales eliminan las poblaciones en exteriores de moscas blancas, áfidos, trips, etc., evitando las invasiones potenciales. En contraste, en climas cálidos los invernaderos están abiertos para maximizar la ventilación y a menudo están rodeados por cultivos o vegetación que alojan poblaciones de plagas. Los niveles de población de plagas en invernaderos de climas cálidos, por tanto, reflejan no solamente los eventos del cultivo sino también los influjos de plagas en exteriores en momentos imprevistos.

ESTRUCTURA Y DISEÑO DEL INVERNADERO

Los invernaderos mejor contruidos pueden ayudar al control biológico. Los invernaderos con mallas contra insectos pueden reducir invasiones de plagas, facilitando el control biológico en climas cálidos. La regulación de la temperatura y la humedad por computadora puede ayudar a evitar condiciones dañinas, como las humedades bajas que en pepinos pueden dañar las poblaciones esenciales de ácaros depredadores que, de otro modo, pueden controlar a los trips (Shipp *et al.*, 1996). En contraste, los invernaderos en forma de aro o túnel pueden experimentar episodios frecuentes de sobrecalentamiento o de humedad excesivamente alta o baja.

ENEMIGOS NATURALES DISPONIBLES EN LA INDUSTRIA DE LOS INSECTARIOS

Para conocer los nombres de las especies de enemigos naturales comúnmente vendidos para usarse en invernaderos ver las Tablas 1, 2 y 3, y Hunter (1997), o consultar los sitios web de los principales insectarios. Algunos negocios crían y distribuyen enemigos naturales mientras que otros sólo son distribuidores. Para vender una especie de enemigo natural, los productores deben inventar un método barato de cría masiva y debe haber un mercado potencial para las especies. Los mercados para los productores están siendo fragmentados debido a las restricciones impuestas a las ventas internacionales, debido a la preocupación gubernamental sobre los impactos potenciales no deseados de las especies importadas. Los vendedores que desean comercializar productos a través de las fronteras nacionales deben demostrar que los organismos enviados estén correctamente identificados, que sean consistentes en su contenido y que estén libres de todo tipo de contaminantes. Además, debe hacerse una evaluación para saber si la especie tiene el potencial para establecerse permanentemente en exteriores, donde sea vendida y si eso es importante. Esto está forzando a la comercialización de especies locales, duplicadas de productos existentes. Algunos países, especialmente en Europa (p. ej., Suiza y Austria, ver Blümel y Womastek, 1997; Bigler, 1997) por varios años han requerido el registro de los productos del parasitoide y del depredador, reflejando una tendencia en incremento conforme muchos países adoptan requerimientos similares. El registro de parasitoides o depredadores no fue requerido en los Estados Unidos hasta 2006. En las siguientes secciones se discuten los enemigos naturales y nemátodos más comúnmente utilizados.

PARASITOIDE

Los parasitoides son vendidos principalmente para control de áfidos, minadores de hojas y moscas blancas (Tabla 25-1) y son más eficientes que los depredadores. Existen parasitoides en la naturaleza que logran el control de plagas adicionales, incluyendo varias escamas o piojos harinosos pero el mercado de estos es demasiado pequeño para permitir la producción comercial.

APHIDIUS COLEMANI

Este parasitoide ataca al áfido verde del durazno *Myzus persicae* (Sulzer) y al áfido del algodón *Aphis gossypii* Glover pero no al áfido de la digital *Aulacorthum solani* (Kaltenbach), el cual también es una plaga frecuente en invernaderos. Se vende en forma de pupas momificadas de áfidos. Unidades abiertas de cría (llamadas plantas de banco) pueden ser usadas para establecer parasitoides antes de las infestaciones del áfido; consisten de plantas de cereal infestadas con áfidos que se alimentan de pastos, adecuados como hospederos de *A. colemani*. Son colocadas en el invernadero cuando el cultivo está empezando y los parasitoides son liberados para iniciar una población. El uso de plantas de banco puede reducir costos y mejorar el control pero requiere monitoreo cuidadoso.

Tabla 25-1. Parasitoides comúnmente usados para control de plagas en invernaderos.

Parasitoide	Hospedero
<i>Aphidius colemani</i> Viereck, Braconidae	áfidos
<i>Aphidius ervi</i> Haliday, Braconidae	áfidos
<i>Dacnusa sibirica</i> Telenga, Braconidae	minadores de hojas
<i>Diglyphus isaea</i> (Walker), Eulophidae	minadores de hojas
<i>Encarsia formosa</i> Gahan, Aphelinidae	mosca blanca de invernaderos
<i>Eretmocerus eremicus</i> Rose & Zolnerowich, Aphelinidae	mosca blanca de hoja plateada y mosca blanca de invernaderos
<i>Eretmocerus mundus</i> Mercet, Aphelinidae	mosca blanca de hoja plateada y mosca blanca del tabaco

ENCARSIA FORMOSA

Especie ampliamente usada para el control de la mosca blanca de los invernaderos (Hoddle *et al.*, 1998a). Todas las avispas son hembras y presentan cuerpo negro con amarillo. La mayoría de los huevos son puestos en ninfas viejas, una generación necesita 20 días a 73°F (23°C). Las avispas son criadas en la plaga a controlar sobre plantas de tabaco. Las ninfas parasitadas de *T. vaporariorum* se vuelven negras (**Figura 25-6**). Esta especie y *E. eremicus* se venden como pupas pegadas en trozos de cartón que pueden ser colgados en el cultivo (**Figura 25-7**).

ERETMOCERUS EREMICUS

Este parasitoide color limón (**Figura 25-8**) fue comercializado para combatir a *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring en plantas de nochebuena. Hay hembras y machos (proporción sexual de 50:50). Las hembras ponen huevos debajo de las ninfas, y las larvas jóvenes barrenan dentro del hospedero. Las hembras atacan preferentemente el segundo y tercer estado ninfal, y una generación requiere de 17 a 21 días. En nochebuena comercial, la mayoría de la supresión se debe a la alimentación del parasitoide en el hospedero y no al parasitismo.

ERETMOCERUS MUNDUS

Parasitoide nativo de la región del Mediterráneo; en invernaderos de tomate español es más efectivo contra la raza Q de *B. tabaci* que *E. eremicus* (Stansly *et al.*, 2004). Parasita todos los estados de las moscas blancas pero prefiere el segundo (Jones y Greenberg, 1998).



Figura 25-6. Las ‘pupas’ de la mosca blanca de los invernaderos, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood), se ponen negras (en contraste con su color crema normal) cuando son parasitadas por *Encarsia formosa* Gahan, facilitando el monitoreo del parasitismo en el invernadero. (Fotografía cortesía de G. Zilahi-Balogh.)



Figura 25-7. Los parasitoides de moscas blancas, en este caso *Eretmocerus eremicus* Rose & Zolnerowich, a menudo son vendidos como ‘pupas’ parasitadas de mosca blanca, pegadas en trozos de cartón que pueden ser colgados en el follaje del cultivo. (Fotografía cortesía de Zilahi-Balogh.)



Figura 25-8. El parasitoide de moscas blancas *Eretmocerus eremicus* Rose & Zolnerowich es usado principalmente contra *Bemisia tabaci* (Gennadius) (raza B o Q). (Fotografía cortesía de Les Shipp.)

DACNUSA SIBIRICA

Dacnusa sibirica Telenga es un parasitoide interno de larvas de *Liriomyza bryoniae* (Kaltenbach), *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard), *Liriomyza trifolii* (Burgess) y *Phytomyza syngenesiae* (Hardy). Las hembras ponen más huevos bajo condiciones templadas, estando la especie mejor adaptada a cultivos en zonas de inviernos templados (Minkenberg y van Lenteren, 1986). Los adultos parasitan el primer y segundo estado, los que continúan alimentándose. Los parasitoides se desarrollan en ninfas viejas y emergen de las ‘pupas’. En esta especie, la avispa adulta no se alimenta del hospedero.

DIGLYPHUS ISAEA

Parasitoide de minadores de hojas, ataca a *L. bryoniae*, *L. huidobrensis*, *L. trifolii* y *P. syngenesiae* (Minkenberg y van Lenteren, 1986; Johnson y Hara, 1987; Heinz y Parrilla, 1990). A diferencia de *D. sibirica*, se alimenta con avidéz del hospedero. Es un parasitoide externo que prefiere ninfas viejas (segundo y tercer estado) y empupa en la mina de la hoja. Está bien adaptado a temperaturas cálidas y es usado en áreas no suficientemente templadas como para *D. sibirica*.

ÁCAROS DEPRIDADORES

Los ácaros tetraníquidos (Tetranychidae), los ácaros anchos (*Polyphagotarsonemus latus* [Banks], Tarsonematidae) y los ácaros del cyclamen (*Phytonemus pallidus* [Banks] Tarsonemidae) son plagas importantes en invernaderos. Su control biológico está basado en el uso de ácaros depredadores (Tabla 25-2).

Tabla 25-2. Ácaros depredadores comúnmente usados en invernaderos.

Depredador ^a	Presa
<i>Galendromus</i> (= <i>Metaseiulus</i> = <i>Typhlodromus</i>) <i>occidentalis</i> (Nesbitt)	tetraníquidos
<i>Hypoaspis aculeifer</i> Canestrini y <i>H. miles</i> (Berlese)	Sciáridos y trips occidental de las flores
<i>Neoseiulus</i> (= <i>Amblyseius</i>) <i>californicus</i> (McGregor)	tetraníquidos
<i>Neoseiulus</i> (= <i>Amblyseius</i>) <i>cucumeris</i> (Oudemans)	trips, ácaros cyclamen y ácaros anchos
<i>Phytoseiulus persimilis</i> Athias-Henriot	tetraníquidos

^aPhytoseiidae, excepto las especies de *Hypoaspis* (Laelapidae).

PHYTOSEIULUS PERSIMILIS

Es la especie (**Figura 25-3**) más ampliamente usada para el control de tetraníquidos. No se alimenta de ácaros anchos. Frecuentemente consume todas las presas disponibles y muere, requiriendo liberaciones periódicas adicionales. Se usan aplicaciones cada dos semanas en forma preventiva en cultivos ornamentales en Florida (EU). Cuando son usados en forma curativa, las aplicaciones deben concentrarse cerca de las infestaciones más densas de ácaros. La baja humedad relativa (<50%) y la alta temperatura (>90°F [32°C]) son desfavorables. Se venden razas resistentes para algunos plaguicidas.

NEOSEIULUS (=AMBLYSEIUS) CUCUMERIS

Este ácaro depredador Tipo IV (**Figura 25-9**) (McMurtry y Croft, 1997) puede alimentarse de huevos de tetraníquidos y de polen, permitiéndole incrementarse en plantas con polen, aún en ausencia de la presa. Es usado extensamente contra el trips occidental de las flores *Frankliniella occidentalis* (Pergande) pero sólo mata ninfas jóvenes. También se alimenta de ácaros del cyclamen y de ácaros anchos. Una formulación en sobrecitos (**Figura 25-10**) que contiene depredadores y ácaros de los granos, produce depredadores para seis semanas. Es más efectivo en cultivos a largo plazo como los pimientos que producen polen pero también se usa en pepinos, berenjenas, melones y ornamentales. Sólo logra un control parcial del trips occidental de las flores en cultivos de flores de primavera en el noreste de los Estados Unidos, aún con dosis 3 o 4 veces mayores a la recomendada (Van Driesche *et al.*, 2006).

INSECTOS DEPRADADORES

Algunos insectos depredadores son producidos comercialmente para el control de áfidos, piojos harinosos, moscas blancas o trips (**Tabla 25-3**). Algunos son efectivos contra la plaga pero otros no.



Figura 25-9. El fitoseído *Neoseiulus (Amblyseius) cucumeris* (Oudemans) es el depredador más comúnmente usado en invernaderos para control de trips. (Fotografía cortesía de Les Shipp.)



Figura 25-10. El fitoseído *Neoseiulus (Amblyseius) cucumeris* (Oudemans) puede ser liberado al esparcir salvado con ácaros o, como en este caso, colocando en el invernadero unidades abiertas de cría (“sobrecitos”). Los sobrecitos contienen un ácaro presa que no es plaga y una fuente de alimento (grano) que continúan produciendo ácaros, los que dejan el sobrecito durante seis semanas. (Fotografía cortesía de Andrew Chow.)

Tabla 25-3. Insectos depredadores comúnmente usados en invernaderos.

Depredador	Presa
<i>Aphidoletes aphidimyza</i> (Rondani), Cecidomyiidae (midge de agallas)	áfidos
<i>Chrysoperla</i> (= <i>Chrysopa</i>) <i>carnea</i> (Stephens), Chrysopidae (crisopa verde común)	depredador general
<i>Cryptolaemus montrouzieri</i> Mulsant, Coccinellidae (destructor de piojos harinosos)	varias escamas y piojos harinosos
<i>Feltiella acarisuga</i> (Vallot), Cecidomyiidae (midge de agallas)	ácaros
<i>Harmonia axyridis</i> (Pallas), Coccinellidae (catarinita)	áfidos
<i>Macrolophus caliginosus</i> Wagner, Miridae	moscas blancas
<i>Orius</i> spp. Anthocoridae (chinchas pirata)	depredador general

APHIDOLETES APHIDIMYZA (MOSCA DEPREDADORA)

Las larvas de esta mosca son depredadoras de áfidos usadas en hortalizas y ornamentales. Los adultos son débiles voladores, crepusculares, y se alimentan de néctar y mielecilla de insectos. El apareamiento ocurre en telarañas, los huevos son puestos cerca de los áfidos. Las larvas comen de 3 a 50 áfidos diariamente y empupan en el suelo. Los invernaderos con piso de plástico o de concreto son desfavorables porque las larvas no pueden alcanzar el suelo. Se venden como pupas, los que son dispersadas en sustratos húmedos. Las razas no diapáusicas deberían usarse cuando los días son cortos y templados.

CHRYSOPERLA SPP. (CRISOPAS VERDES).

Las larvas de las crisopas verdes comen áfidos, piojos harinosos, trips y moscas blancas. Los adultos son verde claro, presentan alas transparentes con venas fuertemente marcadas y se alimentan de mielecilla de insectos, néctar y polen (Hagen, 1964). Las crisopas rara vez se reproducen en invernaderos por lo que son liberadas masivamente. Los huevos pueden ser producidos en forma económica, y se ha desarrollado equipo para su aplicación mecánica. Las larvas son más eficaces pero difíciles de criar debido al canibalismo.

CRYPTOLAEMUS MONTROUZIERI

Este escarabajo puede controlar al piojo harinoso de los cítricos *Planococcus citri* (Risso), el cual pone sus huevos en ovisacos; es ineficiente contra especies que producen ninfas vivas como el piojo harinoso de cola larga *Pseudococcus longispinus* (Targioni-Tozzetti) porque el depredador pone sus huevos en los ovisacos. Larvas y adultos se alimentan de todos los estados del piojo harinoso, y requieren poblaciones densas de la plaga para sostener su propia población.

FELTIELLA ACARISUGA

Las larvas de esta mosca se alimentan de todos los estados de la araña de dos manchas, *T. urticae*. Los adultos son excelentes buscadores, y en Florida, esta especie se encuentra a menudo primero en infestaciones de ácaros en plantas de exterior. La humedad relativa óptima para esta especie es de alrededor del 90%.

HARMONIA AXYRIDIS

Esta mariquita inverna en casas, donde es una plaga menor. Se alimenta de áfidos en árboles y arbustos (Lamana y Miller, 1998). Los insectarios venden sus larvas, las que son negras con manchas amarillo-anaranjadas. Tolerancia bajas temperaturas y puede ser usada en invernaderos sin calefacción.

MACROLOPHUS CALIGINOSUS

Este depredador de moscas blancas es ampliamente usado en tomates en Europa. Las chinches pueden alimentarse en el follaje del cultivo, lo que les permite establecerse e

incrementarse aún si las moscas blancas son escasas. No está aprobada para usarse en los Estados Unidos porque se alimenta también de las plantas.

ORIVUS SPP.

Estas chinches anthocóridas se alimentan de trips, ácaros, áfidos, moscas blancas, huevos de lepidópteros, polen y savia de plantas, pero son liberadas principalmente contra trips. *Orius* se multiplica y es un depredador exitoso de trips en cultivos como los pimientos, los cuales producen abundante polen. Por otra parte, son ineficientes en los cultivos donde el polen está limitado, cuando los fotoperíodos cortos inducen diapausa o si el ciclo del cultivo es demasiado corto.

NEMÁTODOS ENTOMOPATÓGENOS

Las especies de Steinernematidae y Heterorhabditidae pueden ser comercializadas para uso en exteriores y en invernaderos (Tabla 25-4). Las especies varían conforme las plagas que atacan y si la temperatura o humedad del suelo son adecuadas.

Tabla 25-4. Algunos nemátodos disponibles comercialmente y sus plagas hospederas.

Especie de nemátodo ^a	Plagas
<i>Steinernema carpocapsae</i> (Weiser) (S)	Larvas de lepidópteros y de escarabajos, algunas moscas y otros insectos del suelo
<i>Steinernema feltiae</i> (= <i>bibionis</i>) (Filipjev) (S)	varios insectos del suelo, incluyendo sciáridos
<i>Heterorhabditis bacteriophora</i> Poinar (H)	moscas del estiércol, larvas de lepidópteros y de picudos, otros insectos del suelo
<i>Heterorhabditis megidis</i> Poinar, Jackson, & Klein (H)	varios insectos del suelo

^a Heterorhabditidae (H), Steinernematidae (S)

STEINERNEMA CARPOCAPSAE

Fue uno de los primeros nemátodos en ser comercializados; ataca diversos insectos que viven en hábitas adecuadamente húmedos. Las plagas del suelo en invernaderos, tales como los sciáridos (*Bradysia* spp., Sciaridae), son su principal objetivo. *Steinernema carpocapsae* (Weiser) tiene un tiempo de vida más largo que *Heterorhabditis* spp. y es efectivo entre 72 y 82°F (22 y 28°C).

STEINERNEMA FELTIAE

Macetas empapadas con este nemátodo son usadas para controlar sciáridos. Es más efectivo en suelo húmedo entre 59 y 68°F (15 y 20°C). Tiene un tiempo de vida relativamente corto. Se usan aplicaciones foliares contra el trips occidental de las flores (Buitenhuis y Shipp, 2005).

HETERORHABDITIS BACTERIOPHORA

Esta especie es usada para controlar larvas del picudo negro *Otiobrychus sulcatus* (F.) en macetas con *Taxus* y *Rhododendron*. Su control declina debajo de 68°F (20°C). Tiene un tiempo de vida corto, su estado infeccioso no persiste en el suelo.

HETERORHABDITIS MEGIDIS

Especie usada también contra larvas del picudo negro, es efectiva a temperaturas bajas del suelo (54°F [12°C]) y permanece activa hasta por cuatro semanas. Se ha logrado buen control de dicha plaga en Irlanda en fresas en bolsas dentro de túneles de plástico sin calefacción, con temperaturas del suelo de 11-13°C (Lola-Luz *et al.*, 2005).

EL COMPROMISO DE CAMBIO DE LOS PRODUCTORES

Los productores han adoptado el control biológico (1) para proteger a los polinizadores, (2) por fallas en el control debido a la resistencia a insecticidas, (3) para proteger la salud de los trabajadores y evitar las restricciones del reingreso después de las aplicaciones, y (4) para vender productos al mercado orgánico.

Los tomates de invernadero eran polinizados a mano a gran costo hasta los 1980s, cuando se desarrollaron métodos para criar abejorros, los que son excelentes polinizadores de tomates. La polinización con abejorros reduce costos y mejora el rendimiento y la calidad de la fruta. Ya que los abejorros son sensibles a los plaguicidas, los productores de tomates que los usan han tenido que reemplazar los plaguicidas con el control biológico para las moscas blancas y otras plagas del tomate.

La resistencia a plaguicidas ocasionó que algunos productores adoptaran el control biológico. El depredador *P. persimilis*, el primer enemigo natural en ser criado masivamente, fue comercializado específicamente debido a la necesidad de controlar a la araña de dos manchas resistente a acaricidas.

El envenenamiento de los aplicadores o de los trabajadores se incrementó cuando los plaguicidas organofosforados reemplazaron a los organoclorados durante los 1970s, debido a la mayor toxicidad aguda en mamíferos de estos nuevos plaguicidas. Se promulgaron leyes para plaguicidas en muchos países para reducir estos problemas, requiriendo el entrenamiento del aplicador, el uso del equipo protector y la imposición de tiempos obligatorios para el reingreso de la gente en las áreas tratadas. Estas medidas hicieron que los plaguicidas fueran menos convenientes y llamaron la atención sobre sus riesgos. Algunos productores adoptaron el control biológico para evitar esas dificultades.

Los deseos de los consumidores de evitar los residuos de plaguicidas en los alimentos causaron que los agricultores enfatizaran el uso del MIP, de menores residuos o de técnicas de agricultura orgánica. El etiquetado de productos como orgánicos o de bajos residuos fue conectado formalmente al uso de el control biológico en algunos países, lo que incentivó a más productores a usar enemigos naturales para el control de plagas, debido a los precios más altos de los productos orgánicos.

REQUERIMIENTOS PARA OBTENER ÉXITO: EFICIENCIA Y BAJO COSTO

Para que el control aumentativo sea preferido por los productores sobre los plaguicidas, los enemigos naturales deben controlar consistentemente a las plagas cuando se usen como se debe y deben tener un precio competitivo con otras opciones de control, para que el control biológico tenga sentido económico.

¿ES EFECTIVO EL ENEMIGO NATURAL?

Para ser efectivos, los parasitoides o depredadores deben localizar y atacar a la plaga bajo condiciones del cultivo típicas del invernadero. Cada especie de enemigo natural es única en qué tan eficientemente funciona en cada combinación dada de plaga/cultivo/medio ambiente. Pequeñas diferencias en las preferencias del hospedero, en las tasas de incremento o en las tolerancias climáticas pueden hacer a un enemigo natural altamente efectivo mientras que otras lo hacen fallar. Aún razas de la misma especie pueden variar en importantes características como el fotoperíodo crítico para la inducción de la diapausa (Havelka y Zemek, 1988), la tasa de parasitismo (Pak y van Heiningen, 1985; Antolin, 1989) o la resistencia a plaguicidas (Rosenheim y Hoy, 1986; Inoue *et al.*, 1987).

Las pruebas de laboratorio pueden identificar agentes de control potencialmente efectivos para nuevos problemas (Hassan, 1994). Los pasos para dicha discriminación (van Lenteren y Woets, 1988) son (1) eliminar especies con defectos obvios para el uso requerido, (2) confirmar que el agente se puede desarrollar hasta el estado adulto en la plaga a controlar, (3) confirmar que el agente atacará a la plaga en el cultivo, (4) verificar (para agentes usados en programas inoculativos) que el aumento en la tasa de población del agente es mayor que la de la plaga, y (5) verificar que el agente es seguro para otros organismos benéficos usados en el cultivo.

Después de los estudios preliminares de laboratorio, las pruebas de invernadero son necesarias para determinar que el agente puede localizar y atacar a la plaga eficientemente, bajo las condiciones del invernadero (p. ej., Hoddle *et al.*, 1998b). Por ejemplo, la mejor especie de parasitoide para controlar *B. tabaci* ha sido sujeta a investigación extensa. Aunque *E. formosa* ataca a *B. tabaci*, no lo hace tan eficientemente. En consecuencia, *E. eremicus* fue llevada a la producción comercial, basándose en la investigación, donde demostró ser más efectiva (Hoddle *et al.*, 1997ab; Hoddle y Van Driesche, 1999; Van Driesche *et al.*, 1999; Van Driesche y Lyon, 2003). *Eretmocerus eremicus* fue desarrollado para usarse en nochebuena en climas del norte. Aún con *T. vaporariorum*, la investigación demostró que *E. eremicus* es más efectiva que *E. formosa* durante los meses de invierno en climas templados Zilahi-Balogh *et al.*, 2006). En un contexto diferente, en tomates en un clima cálido (España), *E. mundus* fue más efectivo (Stansly *et al.*, 2004) y ha sido llevado a la producción comercial para este mercado.

¿PUEDE CRIARSE EL ENEMIGO NATURAL SIN PÉRDIDA DE CALIDAD?

La calidad de un agente criado masivamente puede declinar con el tiempo (van Lenteren, 2003). El deterioro potencial en el comportamiento requerido para buscar o atacar plagas

puede ser evitado monitoreando la población con pruebas estandarizadas. Las pruebas pueden evaluar el desempeño completo del agente o enfocarse en atributos específicos, como la velocidad al caminar o la tasa de parasitismo. La calidad de las especies de *Trichogramma* criadas para usarse contra *Ostrinia nubilalis* (Hübner), por ejemplo, pueden ser monitoreadas liberando avispitas en los invernaderos donde se hayan colocado huevos del hospedero en plantas de maíz. La prueba mide la habilidad de las avispitas para volar hacia las plantas de maíz, encontrar los huevos, ovipositar y desarrollarse exitosamente (Bigler, 1994). Las medidas del éxito (número de avispitas que alcanzan las plantas en un tiempo determinado, número de masas de huevos descubiertas, porcentaje de huevos atacados, porcentaje de avispitas que emergen de los huevos parasitados) pueden ser comparadas con el desempeño de la colonia original. Se han desarrollado pruebas de control de calidad para la mayoría de los principales enemigos naturales utilizados en invernaderos, y estas pruebas deberían ser usadas regularmente por los principales productores (Nicoli *et al.*, 1994).

Los principales productores reconocen la necesidad de criar agentes bajo condiciones que preserven sus rasgos esenciales pero existen cambios entre las condiciones que favorecen la eficiencia de cría y las que producen agentes de mejor calidad (Boller, 1972). Al manejar una colonia en cría masiva, deben considerarse varios factores: (1) la genética, (2) la nutrición, (3) la prevención de la contaminación, y (4) las oportunidades para la exposición a las kairomonas del hospedero. Además, en algunos casos, crías específicas pueden ser mejoradas genéticamente para ser usadas como enemigos naturales.

GENÉTICA

Los mismos procesos genéticos que afectan las colonias criadas para apoyar al control biológico clásico (ver Capítulo 19), afectan la calidad de las poblaciones criadas masivamente: efectos del fundador, deriva y selección (Mackauer, 1972; Roush, 1990b). Los efectos del fundador y de la deriva son causados por colonias iniciales con muy pocos individuos o por cuellos de botella de la población causados por fallas en la colonia de cría, los que normalmente no son preocupaciones en las colonias en cría masiva. La selección para sobrevivencia bajo condiciones de laboratorio, con la reducción concurrente en su habilidad en el medio ambiente natural, es el principal problema en las instalaciones de cría masiva. Los enemigos naturales reproducidos en masa a menudo experimentan altas densidades del hospedero, alimentos no naturales, presas u hospederos, luz artificial y ausencia de los estímulos normales del hospedero. Bajo tales condiciones, los parasitoides pueden ser seleccionados para vuelos reducidos porque los hospederos son fáciles de encontrar caminando o pueden llegar a preferir las kairomonas de un hospedero artificial más bien que las de la plaga a controlar.

NUTRICIÓN

Los hospederos o alimentos usados en las colonias de enemigos naturales pueden influir en el tamaño, vigor, fecundidad, proporción sexual y en las habilidades de reconocimiento del hospedero de los agentes producidos. Algunos agentes pueden ser criados en el hospedero natural pero algunos depredadores, como los fitoseidos gen-

eralistas, pueden necesitar otros alimentos para una dieta balanceada como el polen o una presa alternante (James, 1993). Para otros enemigos naturales, la cría en la plaga a controlar no es práctica y es sustituida por una especie más fácil de criar. Sin embargo, los enemigos naturales criados en un hospedero alternante pueden perder su habilidad para encontrar, reconocer o atacar a la plaga deseada (ver p. ej., Matadha *et al.*, 2005). Dicke *et al.* (1989) encontraron que el ácaro *Amblyseius potentillae* (Garman), cuando fue criado en polen de habas (*Vicia faba* L.), depredó menos al ácaro del moho del manzano *Aculus schlechtendali* (Nalepa) al compararse con una colonia criada con arañas de dos manchas. En contraste, la chinche depredadora *Geocoris punctipes* (Say), criada por seis años en dieta artificial, no mostró cambios en la preferencia de presas al compararse con individuos silvestres (Hagler y Cohen, 1991).

PREVENIR LA CONTAMINACIÓN

La cría masiva es vulnerable a la contaminación. Los patógenos, una vez presentes, se dispersan bien en las colonias porque los extensos contactos entre individuos y sus productos de desecho, favorecen la transferencia del patógeno (Bjørnson y Schütte, 2003). Los microsporidios son transmitidos tanto horizontal como verticalmente, reducen la fertilidad y la longevidad, sin causar la muerte inmediata (Kluge y Caldwell, 1992). Las colonias infectadas son difíciles de limpiar. Los hiperparasitoides pueden invadir colonias de parasitoides y depredadores (Gilkeson *et al.*, 1993). La contaminación cruzada entre colonias de dos o más especies similares también puede ser un problema. *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) y *Amblyseius mckenziei* Schuster & Pritchard, por ejemplo, fueron difíciles de criar en la misma instalación debido a la contaminación cruzada.

CONTACTO CON LAS KAIROMONAS DEL HOSPEDERO

Las kairomonas del hospedero usadas para el reconocimiento de la presa, influyen en la conducta del enemigo natural (Vet y Dicke, 1992) (ver Capítulo 3). Los agentes criados en dietas artificiales o en hospederos alternantes pueden carecer del contacto con las kairomonas de la plaga a controlar (Noldus, 1989), reduciendo su desempeño en el campo. Cuando se conocen los estímulos importantes, puede ser factible el acondicionamiento de los enemigos naturales antes de la liberación. Los enemigos naturales pueden ser acondicionados, si son enviados como adultos, dándoles oportunidades de contactar a la plaga o a la kairomona como un aislado químico. El contacto con los hospederos puede no ser factible, sin embargo, si los agentes son vendidos como inmaduros en lugar de adultos.

MEJORAMIENTO GENÉTICO

Los enemigos naturales criados masivamente pueden estar sujetos a presiones de selección para su mejoramiento. Se han seleccionado nemátodos para reforzar el movimiento y el hallazgo del hospedero (Gaugler *et al.*, 1989), moscas y ácaros depredadores para reducir las tasas de diapausa (Gilkeson y Hill, 1986) y varios enemigos naturales para la resistencia a plaguicidas (Roush y Hoy, 1981; Hoy y Cave, 1988). Los

agentes usados en invernaderos no están sometidos a una selección natural continua después de la liberación porque son liberados periódicamente en nuevos cultivos. El mejoramiento genético que ha sido exitoso es la producción de líneas no diapáusicas de fitoseidos y de *Aphidoletes aphidimyza* (Rondani), para usarlos en invernaderos del norte durante el invierno, y el desarrollo de razas resistentes de ácaros depredadores, para utilizarse en cultivos que requieren plaguicidas para controlar otras plagas.

¿ES EL PRECIO DEL AGENTE DE CONTROL COMPETITIVO CON OTRAS OPCIONES?

Los productores estarán más deseosos de adoptar a los enemigos naturales, si compiten en precio con los plaguicidas. La competitividad del precio depende del costo de la cría, el costo del control con plaguicidas y del valor del cultivo. Las comparaciones directas de costos entre los enemigos naturales y los plaguicidas son complejas porque deben tenerse en cuenta las diferencias en la mano de obra y en la conveniencia (tiempo de establecimiento y de limpieza, costo del equipo protector especial y del entrenamiento del trabajador en el uso de plaguicidas), así como los beneficios de los remanentes de enemigos naturales para cultivos futuros. Sin embargo, estos hechos pueden no ser tan obvios para los productores, especialmente para aquéllos sin experiencia personal en control biológico. En tomates de invernadero en Europa occidental, el control biológico es menos costoso que el control químico de todas las plagas importantes (moscas blancas, tetraníquidos, trips y minadores de hojas) (van Lenteren, 1989). La adopción por el productor, sin embargo, puede ser muy sensible a los costos relativos y la adopción puede ser retrasada hasta que la diferencia entre el control biológico y el químico sea pequeña (Van Driesche *et al.*, 2002c; Van Driesche y Lyon, 2003c). Después que los productores cambian al control biológico, a menudo comentan el aumento de la calidad de sus plantas, con mejor rendimiento y calidad de fruta o el color más vibrante de las flores cultivadas.

MÉTODOS PARA LA CRÍA MASIVA DE PARASITOIDES Y DEPREDADORES

Los sistemas de cría masiva tienen que ser eficientes o el producto será costoso y los productores no lo usarán. Existen tres métodos de cría: (1) cría en el hospedero y cultivo donde se va a utilizar, (2) cría en hospederos alternos o en alimentos no vivos, y (3) cría en hospederos artificiales.

CRÍA EN EL HOSPEDERO A CONTROLAR

Los sistemas naturales crían al agente en la plaga a controlar sobre su planta alimenticia normal. El ácaro *P. persimilis*, por ejemplo, puede ser criado económicamente en la araña de dos manchas sobre plantas de fríjol (Fournier *et al.*, 1985; ver Gilkeson, 1992 para una revisión de los métodos de cría masiva de fitoseidos). Otros fitoseidos también pueden ser criados eficientemente usando su presa natural (Friese *et al.*, 1987). El parasitoide *E. formosa* es criado comercialmente en su hospedero natural (*T. vaporariorum*) en tabaco

(Popov *et al.*, 1987). Los sistemas naturales de cría son factibles para algunos parasitoides y depredadores de minadores de hojas *Liriomyza*, trips, escamas, áfidos y piojos harinosos. Sin embargo, para muchas especies, los altos costos de la mano de obra hacen que los sistemas de cría masiva sean imprácticos. Esto es especialmente cierto cuando las plantas o los herbívoros necesarios son de crecimiento lento o costosos de producir, cuando el hospedero es caníbal o es susceptible de enfermarse si está amontonado o si el enemigo natural mismo es caníbal.

CRÍA EN HOSPEDEROS ALTERNOS O EN ALIMENTOS NO VIVOS

Los costos pueden reducirse encontrando sustitutos menos costosos en el nivel trófico de la “planta” o del “herbívoro” en un sistema de cría. Por ejemplo, la calabaza de invierno puede usarse para criar algunas escamas diaspíridas, en lugar de sus hospederos leñosos (Rose, 1990). Los hospederos alternativos son usados comúnmente para los parasitoides. Las avispidas *Trichogramma* spp., por ejemplo, son usadas ampliamente en programas aumentativos (ver Capítulo 26), incluyendo algunos en invernaderos. Estos parasitoides no podrían ser criados en forma económica en sus hospederos, por lo que es más barato criarlos en huevos de polillas de productos almacenados, como *Anagasta kuehniella* (Zeller) y *Sitotroga cerealella* (Olivier) o en polillas de la seda (Laing y Eden, 1990). En algunos casos, el hospedero de un parasitoide puede ser criado en dieta artificial, reduciendo el costo. Además, la cría en hospederos alternos puede ser útil porque elimina la contaminación potencial del producto con estados de vida de la plaga a controlar, lo que puede ser una amenaza de invasión en algunos países.

Para los depredadores pueden usarse alimentos diferentes a la presa. La chinche lygaeida *G. punctipes*, por ejemplo, ha sido criada con éxito en hígado y carne molida a costos tan bajos como \$0.63 (EU) por 1,000 insectos (Cohen, 1985). El fitoseido *Amblyseius teke* Pritchard & Baker ha sido criado en una dieta de miel, yema de huevo, sal de Wesson y agua (Ochieng *et al.*, 1987). La presa viva alterna y el polen es un método efectivo de criar *Neoseiulus fallacis* (Garman) a un costo inferior que al usar sólo la presa viva (Zhang y Li, 1989). Castañé *et al.* (2006) encontraron que los quistes de la artemia (*Artemia* sp.) son una presa excelente y económica para la cría masiva de *Macrolophus caliginosus* Wagner.

CRianza EN HOSPEDEROS ARTIFICIALES

La cría exitosa de parasitoides en hospederos artificiales que contengan solamente un medio de desarrollo no viviente, confinado en una membrana artificial, ha sido una meta básica de investigación sobre la fisiología del parasitoide. Se han hecho esfuerzos con especies de *Trichogramma* (Trichogrammatidae), *Brachymeria* (Chalcididae), *Catolaccus* (Pteromalidae) y *Eucelatoria* (Tachinidae), entre otras (Hoffman *et al.*, 1975; Nettles *et al.* 1980; Thompson, 1981; Guerra y Martinez, 1994; Nordlund *et al.*, 1997; Dahlan y Gordh, 1998; Dindo *et al.*, 2001). El proceso consiste en la creación de un medio artificial (dieta líquida dentro de una celda de algún tipo), induciendo la oviposición al colocar kairomonas en el hospedero artificial, obteniendo el desarrollo de la descendencia a través

de la emergencia del adulto; los adultos emergidos deben exhibir apareamiento y fecundidad normal. Los primeros dos pasos están ya resueltos para varios sistemas parasitoide/hospedero. Los medios de cría pueden contener ingredientes derivados de insectos o ser dietas completamente definidas sin componentes insectiles. *Bracon mellitor* Say y *Catolaccus grandis* Burks han sido criados *in vitro* en dietas que contienen solamente compuestos bioquímicos definidos, minerales y yema de huevo de gallina (Guerra *et al.*, 1993). El éxito de la cría, sin embargo, a menudo es mejorado significativamente al incluir extractos de insectos (ver p. ej., Dindo *et al.*, 2001). La calidad de los parasitoides criados en medios artificiales debe ser evaluada en pruebas de campo (Liu *et al.*, 1985; Dai *et al.*, 1988). Se asume que los sistemas artificiales de cría bajarán los costos de producción, debido a una mayor mecanización. Los resultados prácticos se verán en el futuro.

USO PRÁCTICO DE LOS ENEMIGOS NATURALES

Para usar el control biológico aumentativo, los productores necesitan saber cómo (1) escoger y ordenar al enemigo natural adecuado, (2) recibir y manejar los envíos, (3) evaluar la calidad del producto, (4) liberar correctamente al agente de control, y (5) monitorear su impacto en la plaga.

ORDENAR ENEMIGOS NATURALES

Los catálogos y sitios web de los vendedores de enemigos naturales listan los agentes de control recomendados para cada plaga (ver p. ej., Koppert.com). En el sitio web de Koppert, por ejemplo, se puede dar un click en la foto de un ácaro tetraniquido y ver una lista de productos que se venden para su control. Cinco agentes son listados: *Dicyphus hesperus* Knight, *M. caliginosus*, *Neoseiulus* (= *Amblyseius*) *californicus* (McGregor), *Feltiella acarisuga* (Vallot) y *P. persimilis*. Se puede dar un click en cualquier agente, como *P. persimilis*, y ver el tamaño de los paquetes (número de animales por recipiente, en este caso son 2,000 ácaros por bote, empacados en pedacitos de madera), las tasas y frecuencias recomendadas de aplicación. Para información adicional, se puede contactar a los servicios de extensión agrícola locales. Puede estar disponible la lista de distribuidores en una región dada (ver p. ej., Hunter, 1997, para los Estados Unidos).

ENVÍO

Los enemigos naturales deben ser enviados al usuario rápidamente (2 a 4 días) y no deberían exponerse al calor o a condiciones excesivamente secas en el viaje. El servicio postal inmediato y los negocios de entrega rápida como UPS, DHL y Federal Express son usados típicamente. El número de envío ayuda a localizar paquetes perdidos y evitar retrasos. Las cajas de envío están diseñadas para evitar el aplastamiento y el sobrecalentamiento, a menudo están hechas de icopor. En verano, pueden incluirse los paquetes con refrigerante. Pueden agregarse esponjas húmedas a los paquetes para reducir el riesgo de desecación. Para algunas especies, el agregar miel u otro alimento permite a los enemigos naturales alimentarse inmediatamente después de emerger.

ALMACENAMIENTO

Los enemigos naturales deberían liberarse inmediatamente pero, si no es posible, deben almacenarse en un lugar frío. Las especies varían pero, en general, los agentes deben almacenarse a 5°C (41°F) y usarse en 2-3 días para mejores resultados. La mosca pequeña *A. aphidimyza* puede ser almacenada a 1°C (34°F) hasta 2 meses, con menos del 10% de mortalidad pero requiere acondicionamiento previo de 10 días a 5°C (41 °F) (Gilkesson, 1990). *Neoseiulus cucumeris* puede ser almacenado por 10 semanas a 9°C (48°F) con 63% de sobrevivencia (Gillespie y Ramey, 1988). El almacenamiento de *P. persimilis* mejora al adicionarse alimento, aún a temperaturas bajas; el salvado o la vermiculita reducen la sobrevivencia al promover la aparición de moho (Morewood, 1992). Los individuos diapáusicos sobreviven más que los no diapáusicos. Los adultos diapáusicos de *Chrysoperla carnea* (Stephens) sobreviven a 5°C (41°F) por 31 semanas (Tauber *et al.*, 1993). Aunque los productores no los almacenarían por tanto tiempo, el almacenamiento más largo permite a los insectarios reservar producción, reduciendo costos.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y DE LA TASA DE APLICACIÓN

Los productores deben inspeccionar el contenido de los paquetes después de recibirlos para verificar que tienen la especie apropiada, que el material está vivo y que el número presente concuerda con la orden. Se han diseñado métodos simples para evaluar los envíos. Por ejemplo, para los ácaros depredadores enviados en salvado, sacar parte del contenido (por decir, un 2% del peso o volumen) y colocarlo en un montoncito de papel blanco. Usar una lupa colocada en la cabeza (como Optivisor®) para contar los ácaros conforme se salen del material. Usar un pincel pequeño para mirar en el papel si hay otros ácaros vivos. Después multiplicar por 50 y comparar el número con el contenido anotado.

Para *E. formosa*, el número de pupas recibidas es raramente diferente del anotado porque la dosificación de las tarjetas de liberación es mecanizada. Para esta especie, la clave es observar el porcentaje de emergencia. Colocar una tarjeta (= 50 o 100 pupas) en un frasco de vidrio con tapa apretada y mantenerlo en un lugar oscuro por una semana. Entonces, comparar el número de avispas muertas en el frasco y calcular el porcentaje de emergencia. Obviamente, esta información está disponible solamente después de que se ha hecho la liberación. Usando esos métodos, puede calcularse el número de enemigos naturales presente por recipiente y después ajustarlo a la cantidad ordenada, aumentando o reduciendo según se necesite, para liberar el número deseado.

LIBERACIÓN DE ENEMIGOS NATURALES

Para ser eficientes, los agricultores deben liberar el número correcto de enemigos naturales y de la manera correcta. Usando los métodos discutidos antes, es posible calcular exactamente el número que está siendo liberado y hacer los ajustes necesarios. La tasa, la frecuencia y la oportunidad de liberación deberían seguir las recomendaciones del productor o las de instituciones públicas o servicios de extensión.

El cómo se hace una liberación es importante porque es posible matar enemigos naturales al colocarlos en sitios donde rápidamente se van a mojar o sobrecalentar. Además, su eficacia puede variar dependiendo de qué tan bien fueron dispersados. Heinz (1998) encontró que para *A. colemani*, el control fue mejor si los puntos de liberación, en un invernadero grande con crisantemos, estaban separados por 3.25 m o menos. Similarmente, las tarjetas con pupas de *E. formosa* o los sobrecitos con *N. cucumeris* deben ser dispersadas apropiadamente para el buen control. Con agentes no voladores (como los ácaros), las canastas colgantes deben ser tratadas individualmente. Los enemigos naturales formulados en material grueso pueden ser sacados a mano, con un dispensador granular de plaguicidas (Ables, 1979; Fournier *et al.*, 1985) o con sopladores de hojas modificados (Van Driesche *et al.*, 2002b). Ver Mahr (2000) para una revisión de las opciones de aplicación mecánica de enemigos naturales. Algunas especies como *P. persimilis* son aplicadas a mano en los sitios de concentración de la plaga. Las liberaciones de *Orius* son más efectivas si las condiciones a mediodía son las más calientes y más secas (Zhang y Shipp, 1998).

“Las plantas de banco” son plantas infestadas con un hospedero alternante (no la plaga) de un enemigo natural, que actúan como una unidad abierta de cría en el invernadero. El sistema de plantas de banco ha sido usado para parasitoides de áfidos como *A. colemani* y para parasitoides de minadores de hojas (Bennison, 1992; van Lenteren, 1995; Jacobson y Croft, 1998; Schoen, 2000). La intención es permitir que el enemigo natural se incremente en número antes de que la plaga colonice el cultivo, mejorando el control y reduciendo costos.

TASAS DE LIBERACIÓN - ¿CÓMO SE DETERMINAN?

Una de las debilidades del control biológico aumentativo es que la eficacia y las tasas de liberación a menudo no están justificadas con datos experimentales consistentes. Las recomendaciones deberían estar basadas en pruebas de campo, bajo las condiciones de uso real. Tales datos a veces están disponibles para las plagas clave de los principales monocultivos (como muchas hortalizas) en áreas de producción tradicional (como Holanda, España, Canadá). Pero para cultivos menores o invernaderos en áreas donde no se ha hecho investigación local, las recomendaciones son conjeturas educadas basadas en el trabajo hecho en otras partes. En Holanda, la venta de agentes de control biológico es permitida solamente después de probar su eficacia en campo. Los productores deben enviar los datos de las pruebas bajo condiciones prácticas (como los invernaderos comerciales) que demuestren que el agente es efectivo. La mayoría de los países no tienen ese requerimiento.

MONITOREO DE NIVELES DE LA PLAGA DURANTE EL PROGRAMA DE CONTROL BIOLÓGICO

Para ser exitosos, los productores deberían monitorear para determinar los resultados de las liberaciones. Poco después de la primera liberación, los productores deberían revisar los cultivos buscando signos de la reproducción del enemigo natural, tales como las momias para los parasitoides de áfidos o las ‘pupas’ ennegrecidas de moscas blancas para *E.*

formosa o el incremento en número de los ácaros depredadores sobre las hojas. Después, se debería rastrear la densidad de la plaga a través del tiempo. Las tarjetas pegajosas amarillas pueden ser usadas para monitorear moscas blancas o sciáridos. Para plagas no voladoras, quien busque las plagas debe revisar el envés de las hojas o tomar otras muestras y contar las plagas. Los servicios de extensión en muchas localidades aportan guías sobre qué contar, cómo hacer los conteos y cómo interpretarlos. El propósito general es saber si las cantidades de la plaga están cambiando y si la densidad actual está de bajo del umbral de daño. En algunas áreas, están disponibles los servicios comerciales de búsqueda.

PROGRAMAS CON DIFERENTES ESTRATEGIAS DE CONTROL BIOLÓGICO

En esta parte se discuten cinco programas de control de plagas que ilustran los principales enfoques usados en invernaderos: (1) un programa preventivo (para moscas sciáridas), (2) un programa inoculativo (control de moscas blancas en hortalizas por *E. formosa*), (3) un programa de liberación masiva (control de moscas blancas en nochebuena por *E. eremicus*), (4) un programa integrado (suplementando a un enemigo natural, parcialmente efectivo, con un plaguicida compatible), y (5) un programa de “plantas de banco” (*A. colemani* para áfidos en cultivos de flores).

#1: CONTROL PREVENTIVO DE PLAGAS: CONTROL DE MOSCAS SCIÁRIDAS

Algunas plagas, como las moscas sciáridas (*Bradysia* spp.), están presentes casi siempre y su supresión es parte integral del manejo del cultivo. A menudo, los sciáridos no son dañinos, pero se pueden convertir en dañinos. Su control en cultivos de flores está basado en empapar con plaguicidas la zona radicular, lo que a veces puede afectar el control biológico de otras plagas. El suelo empapado con *B. thuringiensis israelensis* o con nemátodos, o la liberación de ácaros *Hypoaspis* pueden ser sustituidos para evitar la disrupción. La efectividad puede ser monitoreada usando pedazos de papa colocados en macetas para las larvas o con trampas amarillas pegajosas para los adultos.

Bacillus thuringiensis israelensis puede ser aplicado con un aspersor convencional o a través del sistema de irrigación, a una dosis de 2.2 a 4.4 billones de Unidades Tóxicas Internacionales/100 galones de solución para infestaciones ligeras y en dosis más altas para infestaciones severas. Las aplicaciones de *B. thuringiensis israelensis* pueden causar hasta un 92% de mortalidad de las larvas de sciáridos (Osborne *et al.*, 1985) pero han tenido poco efecto en moscas de la costa *Scatella stagnalis* (Fallén), una plaga del suelo común en invernaderos.

Steinernema carpocapsae y *S. feltiae* pueden reducir la densidad de los sciáridos (Lindquist y Piatkowski, 1993; Nedstam y Burman, 1990) cuando son aplicados a >1 billón de nemátodos/acre (Georgis, 1990). Oetting y Latimer (1991) encontraron que *S. carpocapsae* sobrevivió en un amplio rango de sustratos usados en macetas, reguladores del crecimiento vegetal, niveles de pH, fertilizantes y sales. Los nemátodos pueden ser aplicados con aspersor de insecticidas, lavando el tanque primero con agua. Los nemátodos pueden soportar presiones de hasta 300 psi y pueden ser rociados con cualquier bo-

quilla que produzca gotas de 50 micrones o más de diámetro. Los aspersores que generan temperaturas mayores de 90° F (32° C) dañan a los nemátodos. Otros métodos incluyen la aplicación a través de sistemas de riego y la dispersión de formulaciones granulares directamente en el sustrato de la maceta.

Hypoaspis miles (Berlese) es enviado en mezclas de musgo sphagnum, vermiculita y ácaros de los granos (como fuente de alimento para los depredadores). Los depredadores son aplicados rociando el producto sobre el suelo o el sustrato, poco después de la plantación y antes que los sciáridos hayan infestado el sustrato (Chambers *et al.*, 1993).

#2 LIBERACIÓN INOCULATIVA: *E. FORMOSA* PARA CONTROL DE MOSCAS BLANCAS EN HORTALIZAS

Para cultivos de ciclo largo con alta tolerancia a la plaga, el control biológico puede lograrse en algunos casos solamente con colocar el enemigo natural en el cultivo nuevo y permitiendo que se incremente en número con el tiempo. El ejemplo clásico de una liberación inoculativa estacional es el de *E. formosa* para controlar la mosca blanca de los invernaderos (*T. vaporariorum*) en tomate y en pimientos dulces en climas templados (Woets y van Lenteren, 1976; van Lenteren *et al.*, 1977; van Lenteren y Woets, 1988; van Lenteren, 1995). Las liberaciones de *E. formosa* empiezan con la plantación, anticipadas a las poblaciones de mosca blanca y continúan a una tasa de una pupa del parasitoide/planta/semana hasta que se ven ninfas parasitadas; en ese momento se reducen las tasas de liberación, basándose en el nivel de parasitismo observado. Las liberaciones inoculativas estacionales tienen menor costo porque se compran menos individuos. La mayor parte del control de la plaga se logra por los enemigos naturales criados durante el cultivo, sin costo.

Para que los programas inoculativos estacionales funcionen, debe haber suficiente tiempo para varias generaciones del parasitoide durante el ciclo del cultivo, usualmente cuatro meses o más. En segundo lugar, el cultivo debe ser apto para tolerar algún aumento de la plaga, lo cual es posible que ocurra mientras el enemigo natural se está incrementando. Por ejemplo, las moscas blancas en tomate pueden incrementarse hasta mil veces antes de que *E. formosa* logre su control (Foster y Kelly, 1978). Esto es aceptable con *T. vaporariorum* en el norte de Europa pero no podría ser tolerado con la raza Q de *B. tabaci* en España porque transmite una importante enfermedad viral. Una variedad tolerante a la enfermedad debe sembrarse para hacer que las liberaciones inoculativas estacionales sean efectivas en los tomates en España. Además, el cultivo no debe requerir un control perfecto para una fecha prescrita (como con los cultivos de flores producidos para días de fiesta específicos) porque hay una variación considerable en el tiempo requerido para que el parasitoide controle la plaga.

3 LIBERACIÓN MASIVA: *E. EREMICUS* PARA EL CONTROL DE MOSCAS BLANCAS EN NOCHEBUENA

La liberación masiva es una estrategia usada en cultivos a más corto plazo con una baja tolerancia de plaga, condiciones que no son adecuadas para los programas inoculativos.

Eretmocerus eremicus es usado de esta manera para controlar la raza B de *B. tabaci* (= *B. argentifolii*) en nochebuena en el noreste de los Estados Unidos (Hoddle y Van Driesche, 1999; Van Driesche *et al.*, 1999; Van Driesche *et al.*, 2002c; Van Driesche y Lyon, 2003). Con el enfoque de la liberación masiva, las plagas son controladas por los parasitoides que realmente se liberaron y no se requiere o anticipa su reproducción. En nochebuena, las poblaciones de moscas blancas deben ser mantenidas a bajos niveles a través del ciclo del cultivo. Esto es logrado haciendo hasta 14 liberaciones semanales de 0.5 hembras/planta. Los parasitoides liberados actúan como depredadores y parasitoides, y es principalmente dicha alimentación del hospedero que mantiene la población debajo del umbral requerido (Van Driesche *et al.*, 1999; Van Driesche *et al.*, 2002c; Van Driesche y Lyon, 2003). Para ser competitivas en costos con los plaguicidas, las tasas ultrabajas de liberación de parasitoides son combinadas con plaguicidas compatibles a mitad del cultivo (reguladores del crecimiento de insectos) (ver ejemplo 4).

#4 CONTROL INTEGRADO: PARASITOIDES DE MOSCAS BLANCAS + REGULADORES DEL CRECIMIENTO DE INSECTOS EN NOCHEBUENA

Los programas de control integrado (compuestos químicos más enemigos naturales) son usados cuando los enemigos naturales solos no son completamente efectivos o cuando las tasas efectivas son demasiado altas para ser competitivas en costos. Esta deficiencia es resuelta suplementando la liberación de enemigos naturales con el uso de un plaguicida compatible. El uso de *E. eremicus* en nochebuena, como se discutió antes, es un caso de ese tipo. Para el control completo basado sólo en parasitoides, se requiere una tasa de liberación de 3 hembras/planta/semana (Hoddle y Van Driesche, 1999). Sin embargo, a esa tasa de liberación, el programa de control biológico no es competitivo en precio con los plaguicidas. Pero si la densidad de población de moscas blancas es reducida a la mitad del ciclo con una doble aplicación de un regulador del crecimiento de insectos, con 0.5 hembras/planta/semana es suficiente (Van Driesche *et al.*, 2001, 2002c; Van Driesche y Lyon, 2003) y su costo es competitivo. Los reguladores del crecimiento de insectos utilizados no afectan a los parasitoides adultos (Hoddle *et al.*, 2001b), el estado que controla la plaga.

#5 ESTRATEGIA DE LAS PLANTAS DE BANCO (*A. COLEMANI* PARA ÁFIDOS)

En general, los enemigos naturales son más efectivos cuando las plagas son escasas, las liberaciones entonces logran su proporción más alta de enemigo natural:plaga. Las “plantas de banco” son herramientas de pre-establecimiento de un enemigo natural, antes de la invasión del cultivo por la plaga. Estas plantas son infestadas con una especie que no es plaga y que es hospedera del enemigo natural. El uso de plantas de banco con *A. colemani* puede controlar varios áfidos importantes en cultivos de flores. Este método consiste de macetas de rye grass infestado con un áfido de los granos (que se alimenta sólo en monocotiledóneas), sobre el cual son colocadas momias con *A. colemani* al inicio del cultivo. Esto permite que se desarrolle una colonia de cría del parasitoide antes de la invasión del áfido plaga. Los parasitoides de los áfidos de los granos también buscan en

el cultivo, matando a los áfidos nuevos, evitando el crecimiento de la población. Para que este sistema trabaje bien, las plantas de banco deben estar bien mantenidas, el áfido plaga debe ser susceptible a *A. colemani* y el invernadero no debe tener altas temperaturas (> 32 °C [90 °F]).

INTEGRACIÓN DE AGENTES MÚLTIPLES DE CONTROL BIOLÓGICO PARA VARIAS PLAGAS

El control biológico de dos o más plagas puede requerirse en algunos cultivos. Cada plaga puede necesitar varios enemigos naturales. Puede ocurrir la incompatibilidad entre los agentes de control biológico (depredación intragremios) en cultivos con complejos grandes de plagas o los productores pueden perder el interés, si el control biológico es muy costoso o complicado.

RIESGO DE DEPREDACIÓN INTRAGREMIOS

Algunos agentes de control biológico ocasionalmente atacan y se comen a otros agentes (Rosenheim *et al.*, 1995). Los depredadores pueden comerse a otros depredadores o consumir hospederos parasitados. Cuando las pruebas de laboratorio colocan un depredador contra otro, la depredación intragremios es común. Por ejemplo, la chinche *Orius tristicolor* (White) consumirá al ácaro depredador *P. persimilis* (Cloutier y Johnson, 1993). Ambos agentes podrían ser empleados en el mismo cultivo de invernadero, donde tal interacción podría ocurrir. La importancia de tal fricción entre enemigos naturales es específica y varía con el cultivo. Algunas combinaciones pueden reducir el control de la plaga. La efectividad de *E. formosa* en invernaderos italianos fue reducida por la introducción de *E. pergandiella* Howard, el cual es un hiperparasitoide facultativo de *E. formosa* (Gabarra *et al.*, 1999).

FATIGA DEL CULTIVADOR

Cuando múltiples plagas deben ser controladas por varios programas de control biológico al mismo tiempo, los productores pueden cansarse de las dificultades involucradas. Pueden aparecer problemas si, por ejemplo, los enemigos naturales están disponibles sólo para algunas plagas. Los compuestos químicos utilizados para especies sin enemigos naturales efectivos, pueden destruir a los agentes de control biológico liberados para otras plagas o hacer innecesario el control biológico al controlar a todo el complejo de plagas. En segundo lugar, el tiempo y el costo de usar enemigos naturales aumentan bastante cuando se requieren muchas especies. En tercer lugar, las invasiones de nuevas plagas crean una crisis de las opciones de control biológico como para que trabajen bien.

SEGURIDAD DE LOS ENEMIGOS NATURALES LIBERADOS EN INVERNADEROS

La seguridad de los nuevos agentes de control biológico debería ser evaluada en relación al potencial del agente que pueda ser una plaga molesta por sí mismo o que tenga efectos adversos en la gente o en los cultivos, o si se establece en exteriores, si daña a otros invertebrados.

POTENCIAL PARA CAUSAR PROBLEMAS MOLESTOS

Los enemigos naturales no deberían morder, picar, contaminar alimentos o entrar a los hogares. El coccinélido *Harmonia axyridis* (Pallas) es una especie asiática usada ahora en invernaderos que se ha convertido en una plaga doméstica molesta en los Estados Unidos y Europa. Esto ocurre porque dicha especie puede establecer poblaciones permanentes en exteriores, las que después entran a las casas en grandes números al final del año para invernar (Bathon, 2003). No se recomienda su uso en nuevos países.

EFFECTOS EN HUMANOS

Aparte de las alergias, no hay riesgos conocidos para la salud humana de los parasitoides o depredadores usados en invernaderos. Estos agentes son una mejora distinguible sobre muchos plaguicidas. Sin embargo, los trabajadores responsables de la cría masiva o de la liberación de enemigos naturales pueden estar expuestos a altos niveles de partes de insectos, los que pueden estar en el aire y ser inhalados o entrar en contacto con la piel (Cipolla *et al.*, 1997). Tal es el caso, por ejemplo, del ácaro *N. cucumeris*, liberado en grandes cantidades contra trips (Groenewould *et al.*, 2002). Los trabajadores deberían evitar la inhalación de polvo de los productos de los enemigos naturales y proteger la piel de los antebrazos del contacto directo. La seguridad de los nemátodos usados como bioplaguicidas es bastante alta (ver Capítulo 24).

EFFECTOS EN PLANTAS CULTIVADAS

El riesgo de daño al cultivo por los parasitoides liberados es nulo. El riesgo de liberar depredadores usualmente es bajo pero algunos Hemiptera depredadores (p. ej., *Macrolophus* y *Dicyphus*) (Lucas y Alomar, 2002; Shipp y Wang, 2006) y algunos ácaros se alimentan en las plantas cuando las presas son escasas. Si esto ocurre frecuentemente, lo suficiente para ser de importancia, debe ser evaluado caso por caso. Algunos productos de control biológico también tienen algún riesgo de dispersar al hospedero criado en el cultivo en masa. Si esta especie es plaga y está presente en el producto aún a niveles muy bajos, puede ser llevada a nuevas regiones con la venta de enemigos naturales. La cría del parasitoide *E. mundus* de la raza Q de la mosca blanca *B. tabaci* en España, es un caso de este tipo. Si aún un pequeño número de pupas vivas de moscas blancas son incluidas en el producto, la mosca blanca se podría diseminar con graves consecuencias económicas, debido a la resistencia de esta raza a los plaguicidas y a su habilidad para transmitir enfermedades que no son transmitidas a las plantas por la raza B.

RIESGOS PARA OTRAS ESPECIES NATIVAS

Las liberaciones de algunos enemigos naturales pueden ser incompatibles con operaciones tales como la cría de gusanos de seda, mariposas alas de pájaro, u otros Lepidoptera. Las liberaciones de *Trichogramma* o las aplicaciones de bioplaguicidas en la vecindad de tales actividades pueden dañar a los insectos. Más importante, los agentes del control biológico aumentativo pueden establecerse en el ambiente, lo que podría afectar permanentemente algunas especies nativas (Frank y McCoy, 1994; van Lenteren *et al.*, 2003). La mantis europea *Mantis religiosa* L. se estableció en los Estados Unidos después de ser vendida, así como el ácaro depredador *P. persimilis* en California (McMurtry *et al.*, 1978) y en Australia, y el braconido parasitoide *A. colemani* en Alemania (Adisu *et al.*, 2002). El abejorro europeo *Bombus terrestris* (L.), usado como polinizador en tomates de invernadero, se ha establecido en exteriores en Hokkaido, Japón (Inari *et al.*, 2005). El establecimiento en exteriores de estos enemigos naturales puede afectar insectos nativos al alimentarse en ellos, al parasitarlos o al competir por recursos escasos. Las crisopas nativas de islas como Hawaii (Tauber *et al.*, 1992), por ejemplo, podrían ser reducidas en densidad si las crisopas introducidas, altamente competitivas, llegan a establecerse.