

CAPÍTULO 26: LIBERACIÓN AUMENTATIVA DE ENEMIGOS NATURALES EN CULTIVOS EN EXTERIORES

Los principios que gobiernan las liberaciones de enemigos naturales en invernaderos y en exteriores son los mismos pero los ambientes en exteriores típicamente son más complejos y están menos bajo el control del administrador. Las liberaciones de enemigos naturales en exteriores han sido empleadas en maíz, algodón, soya, caña de azúcar, cítricos, manzanos y otros frutales, hortalizas, fresas, plantas ornamentales de follaje, bosques y en instalaciones de cría de animales. El método es aplicado anualmente o en grandes extensiones (hasta en 32 millones de hectáreas [Li, 1994]). Los enemigos naturales liberados en mayor extensión han sido los parasitoides de huevos *Trichogramma*. Otros enemigos naturales aplicados en áreas mucho menores incluyen a los ácaros depredadores (fitoseídos), parasitoides de moscas del ganado y una variedad de depredadores generalistas (como las mariquitas y las crisopas verdes).

El desarrollo de nuevos controles biológicos aumentativos depende de métodos efectivos de cría en masa y del conocimiento científico de la biología y ecología del agente de control, especialmente de su dispersión, búsqueda de hospederos y de la fecundidad. Este conocimiento permite hacer una estimación preliminar de la tasa de liberación y patrón que puedan ser exitosos, los cuales deben ser evaluados en el cultivo.

Cuatro preguntas son importantes para determinar si una liberación aumentativa de un enemigo natural es exitosa: (1) ¿Realmente suprime la densidad de la plaga significativamente y evita el daño? (2) ¿El costo fue eficiente en relación al daño potencial de la plaga? (3) ¿Hay factores ecológicos o patrones de liberación que afecten la eficacia o el costo? (4) ¿Su uso es competitivo con otras opciones disponibles de control como los plaguicidas o las plantas transgénicas?

La eficacia biológica y los factores ecológicos que afectan la eficacia y el costo pueden ser evaluados en pruebas de campo. En los siguientes casos, se considera qué tan exitosos han sido varios programas de liberación. En teoría, aún enemigos naturales que sólo son parcialmente efectivos pueden ser completamente eficientes si la tasa de liberación se incrementa lo suficiente. Sin embargo, tasas más altas de liberación significan costos más altos, los cuales rápidamente se vuelven inaceptables.

El costo económico del control de una plaga usando un enemigo natural es determinado por su eficacia (qué tan alta se requiere la tasa de liberación y cuánto trabajo se necesita para hacer la liberación), por la eficiencia del método de cría (qué tan económicamente puede criarse un agente de control) y por las políticas gubernamentales en relación al apoyo público para las instalaciones de cría de enemigos naturales o a los subsidios financieros directos, efectuados en forma de pagos

a los agricultores que usan enemigos naturales. Las políticas de gobierno en el registro de un producto o en la importación de enemigos naturales (especies exóticas) también pueden afectar el costo y la disponibilidad de los enemigos naturales.

Los gobiernos de algunos países (más notablemente en la antigua URSS, China, México, Brasil e India) alteraron los costos del uso de los enemigos naturales en cultivos en exteriores al usar fondos públicos para construir laboratorios de cría para la producción masiva de agentes de control. Los enemigos naturales típicamente eran regalados a los agricultores o vendidos a bajos precios, lo que favoreció su uso. En algunas áreas con producción concentrada de caña de azúcar, café o cítricos, las asociaciones industriales han construido laboratorios de cría de enemigos naturales que venden enemigos naturales a mejor precio a los miembros de la asociación. El apoyo gubernamental o de la asociación de productores para los laboratorios de cría de enemigos naturales típicamente disminuyó el costo de los enemigos naturales, incrementando su competitividad con respecto a los plaguicidas o a otros métodos de control. En tales casos, el programa de control biológico puede ser abandonado si se acaba el apoyo. En algunas partes de la Unión Europea (p. ej., Alemania), los agricultores que usaban algunos enemigos naturales (p. ej., *Trichogramma* spp.) recibían un pago por hectárea que representaba la diferencia de costo entre el enemigo natural y los plaguicidas. Esto promueve el uso del agente de control biológico, eliminando la desventaja del precio con otros métodos de control de plagas.

En la evaluación de “lo que funciona”, deben separarse cuidadosamente los aspectos entrelazados como el costo inherente de la cría del agente, su eficacia (incluyendo cuántos se necesitan por hectárea para controlar la plaga) y los subsidios para la cría. El uso de un enemigo natural depende del contexto. A menudo, un enemigo natural es empleado porque las plagas se han vuelto resistentes a plaguicidas, porque el uso de plaguicidas no concuerda con las prácticas del agricultor o con el mercado (como en la agricultura orgánica). En estas circunstancias, la liberación de un enemigo natural puede ser biológica y económicamente efectiva. Pero si un nuevo plaguicida es registrado para controlar la plaga, los agricultores pueden abandonar el uso del enemigo natural si el nuevo plaguicida es menos caro y es compatible con los objetivos del mercado. Además, ya que los costos de la mano de obra son una gran parte de la cría del enemigo natural, el control biológico aumentativo requerirá acceso a mano de obra barata o ser organizado para la alta productividad.

Para aclarar cómo interactúan las fuerzas mencionadas, se presenta la historia de varios programas de liberación de enemigos naturales que han logrado diversos niveles de éxito, discutiendo cómo los problemas biológicos, los factores económicos y las políticas gubernamentales han conducido al éxito o al fracaso del programa.

AVISPIITAS *TRICHOGRAMMA* PARA CONTROL DE POLILLAS

RESUMEN DEL ENFOQUE

Las avispietas *Trichogramma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) (**Figura 26-1**) han sido encontradas parasitando huevos de importantes polillas plaga desde hace mucho tiempo. Aunque se han descrito varios cientos de especies (Pinto y Stouthamer, 1994), la cría masiva se ha concentrado en cinco especies: *T. evanescens* Westwood, *T. dendrolimi*



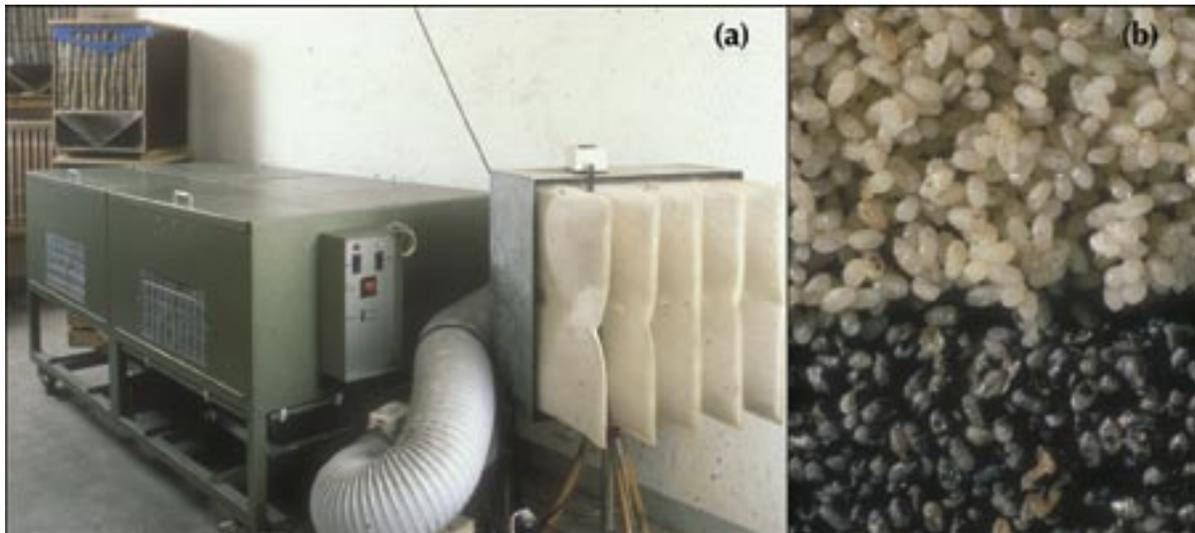
Figura 26-1. El parasitoide de huevos *Trichogramma platneri* Nagarkatii está siendo estudiado como herramienta para suprimir a la polilla de la manzana, *Cydia pomonella* (L.), en California (EU). (Fotografía cortesía de Jack Kelly Clark, University of California IPM Photo Library.)

Matsumura, *T. pretiosum* Riley, *T. brassicae* (= *maidis*) Bezdenko y *T. nubilale* Ertle & Davis (Smith, 1996), siendo usadas otras 10 en menor proporción. Casi todas se utilizan para atacar huevos de polillas plaga cuyas larvas se alimentan en diversos cultivos. Las plagas más frecuentemente controladas han sido los barrenadores del tallo en maíz (especies de *Ostrinia* o *Diatraea*) o en caña de azúcar (*Chilo* o *Diatraea* spp.) o especies de *Helicoverpa/Heliothis*, cuyas larvas barrenan bellotas de algodón o en frutas u hortalizas.

El enfoque general es liberar grandes números de *Trichogramma* (en forma de huevos parasitados del hospedero) cuando la plaga está ovipositando. La idea es

lograr altos niveles de parasitismo de huevos (>80%) para reducir después el daño larval. Ya que las plagas a controlar están dispersas en grandes cantidades de espacio y follaje, deben liberarse números grandes de *Trichogramma* (50,000-300,000/ha) si un alto porcentaje de los huevos de la plaga deben ser encontrados antes de que mueran las avispidas, lo cual sucede usualmente en 3-7 días. Varias liberaciones a intervalos regulares a menudo son necesarias. Para apoyar liberaciones de tal magnitud, se requieren procedimientos de cría masiva que puedan producir muchos millones de avispidas por semana. Dicha cría a gran escala típicamente no es factible económicamente usando las plagas a controlar ya que esas especies tendrían que ser criadas en plantas o en dieta artificial. El uso comercial de *Trichogramma* pudo ser posible porque se desarrollaron métodos de cría en hospederos alternantes: (1) huevos de polillas cuyas larvas se alimentan en granos baratos o (2) huevos de gusanos de seda disponibles como subproductos de la industria de la seda (ver Greenberg *et al.*, 1998 para una revisión de esos métodos).

En la mayor parte del mundo, *Trichogramma* es criado en huevos de polillas de los granos como *Sitotroga cerealella* (Olivier), *Ephestia kuehneilla* Zeller o *Corcyra cephalonica* (Stainton). De estas especies, *S. cerealella* parece ser el hospedero más pobre, produciendo las avispidas más pequeñas. Este enfoque de cría fue desarrollado por Flanders (1930) en California (EU) y después fue mejorado para la producción a escala industrial en la antigua URSS (1940-1970) (Meyer, 1941; Telenga y Schepetilnikova, 1949; Lebedev, 1970). Las polillas son criadas en grano (trigo o arroz) (**Figura 26-2a**) y sus huevos son almacenados. Este proceso rinde millones de huevos a muy bajo costo porque los recipientes de cría requieren poco espacio, son manejados con maquinaria y mantenidos secos y sin luz. Los huevos de la polilla son separados del grano sacudiendo los recipientes y colectando los huevos conforme caen. Los huevos son colocados en bandejas en gabinetes que contienen avispidas hembra grávidas, donde son parasitados. Los huevos parasitados (**Figura 26-2b**) son colectados y formulados para la venta como huevos pegados en tarjetas, como huevos sueltos para ser dispersados o como huevos en cajas de liberación (**Figura 26-3**)



Figuras 26-2a,b. Para criar avispidas *Trichogramma* en masa, se requiere una fuente adecuada de huevos. Los gabinetes especiales para la cría semiautomática de *Ephestia kuehneilla* Zeller son un enfoque para obtener huevos del hospedero (a); después los huevos son colocados en gabinetes para su parasitación, los que más tarde se ven negros (b). (Fotografía cortesía de Mario Waldburger, Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station, Switzerland.)



Figura 26-3. Aunque los huevos parasitados que contienen pupas de *Trichogramma* pueden ser simplemente rociados en el cultivo, se han inventado, como en esta fotografía, varios dispositivos que pueden ser colgados en las plantas o diseminados sobre el suelo. (Fotografía cortesía de Mario Waldburger, Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station, Switzerland.)

que les dan protección del clima y de los depredadores. Las avispidas emergen en el campo desde los huevos parasitados.

El tamaño del hospedero para cría afecta el tamaño del parasitoide (y su fecundidad), por lo que un hospedero grande – si está disponible – es mejor. Los huevos grandes de las polillas de la seda, especialmente del gusano de seda chino del encino, *Antheraea pernyi* (Guérin-Ménéville), son un subproducto barato de la industria de la seda en China y pueden ser usados para criar especies de *Trichogramma*. Se cree que las avispidas criadas en esos huevos grandes tienen mejor longevidad y fecundidad.

Los subsidios del gobierno han sido importantes para asegurar la aceptación de los agricultores para las liberaciones de *Trichogramma* como un enfoque para

el control de plagas. Las instalaciones de cría en China fueron frecuentemente industrias en casas de campo de granjas colectivas organizadas por el gobierno. La cría de *Trichogramma* fue incluida frecuentemente como parte del trabajo esperado de tales granjas. En la antigua URSS, fábricas públicas especializadas fueron construidas para producir grandes

cantidades de *Trichogramma* para usarse en granjas cooperativas. En otros países como en México, se construyeron instalaciones estatales o federales de cría de enemigos naturales para venderlos a los productores a un costo inferior al que sería posible sin el subsidio. En áreas productoras de caña de azúcar, las asociaciones de productores han construido instalaciones para criar enemigos naturales para surtir a los asociados. En Europa, las avispietas *Trichogramma* que se usan contra barrenadores en el maíz son criadas en insectarios privados. En algunos países, el apoyo para la cría masiva ha declinado debido a cambios en el gobierno (Rusia) o a condiciones sociales (China).

En Norteamérica, el precio del *Trichogramma* producido por compañías privadas comerciales generalmente es de alrededor de 200 dólares americanos (1996) por millón de avispietas (Smith, 1996). Las avispietas producidas por insectarios subsidiados por el gobierno cuestan menos. Los programas de liberación de *Trichogramma* que dependen de tales subsidios son sostenibles solamente con el apoyo continuo del gobierno. En principio, la investigación de muchos aspectos del uso de *Trichogramma* spp., como la eficiencia de cría o los procedimientos para hacer efectivas dosis menores de avispietas en el campo, podrían reducir los costos (Parra y Zucchi, 2004).

USO DE *TRICHOGRAMMA* EN ALGUNOS CULTIVOS

USO EN CAÑA DE AZÚCAR

Las liberaciones de *Trichogramma* spp. en este cultivo están dirigidas a lepidópteros barrenadores (especialmente *Diatraea* y *Chilo* spp.) que son plagas en áreas tropicales. En algunos casos, los programas de liberación han sido claramente ineficientes. *Trichogramma fasciatum* (Perkins), por ejemplo, fue liberado en Barbados desde 1930 hasta 1958 para la supresión de *Diatraea saccharalis* (Fabricius) pero, cuando las liberaciones se detuvieron en 1958, no hubo incremento en los niveles de la plaga, sugiriendo que las liberaciones previas no tuvieron valor en el control de la plaga (Alam *et al.*, 1971). En contraste, otros esfuerzos parecen ser creíbles y están documentados científicamente. En el Punjab de la India, por ejemplo, las liberaciones de *Trichogramma chilonis* Ishii a 50,000 avispietas/ha a intervalos de 10 días lograron una reducción del 50% en el daño por el barrenador *Chilo auricilius* Dudgeon, reduciendo las pérdidas del 13% en el testigo hasta 6% en donde se liberó. Estacionalmente, de 11 a 12 liberaciones fueron necesarias de julio a octubre (Brar *et al.*, 1996; Shenhmar *et al.*, 2003). En otras pruebas con mayor presión de la plaga, liberaciones similares redujeron las tasas de infestación al 13% mientras que el testigo sin tratar tenía 38% (Shenhmar y Brar, 1996). En Uttar Pradesh (India), liberaciones similares de este parasitoide incrementaron los rendimientos de 21-25 ton/ha (Singhal *et al.*, 2001). En Pakistán, en cinco años de pruebas en una área de 126,000 acres de caña de azúcar, se encontró que las liberaciones de *T. chilonis* redujeron las infestaciones del barrenador a 3-5%, en comparación con infestaciones del 9-33% en testigos sin tratar (Ashraf *et al.*, 1999). En Brasil, se evaluaron las liberaciones de *Trichogramma galloi* Zucchi (a 200,000 avispietas/ha) para controlar al barrenador de la caña de azúcar *D. saccharalis*, ya sea sola o en combinación con liberaciones del parasitoide larval *Cotesia flavipes* (Cameron). Al combinar tres liberaciones semanales del parasitoide de huevos *T. galloi* con

una de *C. flavipes* (a 6000 avispas/ha) se redujo la infestación del barrenador en 60%, en comparación con el testigo. El uso de *Trichogramma* redujo la tasa de infestación solamente en 33% (Botelho *et al.*, 1999).

Varias pruebas con liberaciones de *Trichogramma* en caña de azúcar se han efectuado para reforzar el control, manipulando el método de liberación. Las liberaciones donde los huevos estuvieron protegidos (de los depredadores o de condiciones físicas adversas) dentro de una cápsula, condujeron a una mayor tasa de liberación efectiva de avispitas, en comparación con los huevos parasitados pegados al cartón colgado en las plantas (Shenhmar *et al.*, 1998; Rajendran y Hanifa, 1998; Pinto *et al.*, 2003).

Para evaluar estos programas de liberación, es importante tener información del costo de los enemigos naturales y del valor del cultivo, para saber si los aumentos en el rendimiento exceden los costos de la liberación. Cualquier efecto negativo asociado con el uso de insecticidas (como la explosión de población de una plaga secundaria) que no ocurra con el control biológico, también debería ser considerado. También es importante determinar si el programa de control biológico le da suficientes ganancias al productor que otras opciones. Por ejemplo, Tanwar *et al.* (2003) encontraron durante pruebas efectuadas en Uttar Pradesh, India, que un programa intensivo de control químico incrementaba el rendimiento del cultivo a un nivel superior que con las liberaciones intensivas de *T. chilonis* y *C. flavipes*. Sin embargo, no se hizo un análisis de costos, por lo que no está claro si los productores tuvieron mayores ganancias.

Finalmente, la eficacia de los programas del control biológico aumentativo está determinada por los complejos de plagas locales y por el manejo del cultivo. El beneficio económico de las liberaciones de enemigos naturales es determinado por el precio local del enemigo natural, del cultivo, de la tolerancia local en los niveles de calidad del cultivo, de los objetivos del mercado y de las opciones competidoras de control de plagas como los plaguicidas o las variedades Bt. Una notificación general ya que la mano de obra es una gran parte de los costos del enemigo natural, es que los sistemas que podrían ser factibles en países en desarrollo pueden no ser económicos en los países desarrollados. Tales influencias no son locales solamente sino que son cambiantes. Un programa previamente exitoso puede ser reemplazado por un plaguicida nuevo, una variedad nueva resistente a la plaga, una práctica nueva de manejo o una especie de enemigo natural no competitivo previamente puede volverse deseable cuando la resistencia a los plaguicidas, una nueva invasión de la plaga, una disminución en los costos de cría del enemigo natural o el aumento en la demanda por productos orgánicos, cambia las circunstancias de producción del cultivo.

USO EN ALGODÓN

Las plagas a controlar por *Trichogramma* han sido varios gusanos de la bellota, como *Helicoverpa* spp., *Pectinophora gossypiella* (Saunders) y *Earias insulana* (Boisduval). Se han efectuado estudios en India, Egipto, Australia y los Estados Unidos, entre otros. En India, *T. chilonis* se libera semanalmente, ocho veces por estación, con dosis de 150,000 huevos parasitados/ha/liberación, como parte de un paquete mayor de MIP del cultivo (el complejo de plagas incluye también plagas succionadoras que no son controladas por *Trichogramma*). Se ha reportado que el uso de *T. chilonis* reduce el

daño por gusanos de la bellota en 70% y aumenta el rendimiento en 45% en comparación con los insecticidas solos (Brar *et al.*, 2002). En Egipto, las liberaciones de *Trichogrammatoidea bactrae* Nagaraja, aplicadas en secuencia alternada con un regulador de crecimiento de insectos, lograron hasta un 64% de control del bellotero espinoso (*E. insulana*) aunque los resultados fueron altamente variables según el año (Mesbah *et al.*, 2003). *Trichogramma evanescens* Westwood, en el mismo sistema, sólo disminuyó el daño de 19-26% (aún combinado con aplicaciones de *Bacillus thuringiensis* Berliner), comparado con 29-38% en testigos sin tratar (Mansour, 2004). En los Estados Unidos, las liberaciones de *Trichogramma exiguum* Pinto & Platner en Carolina del Norte aumentaron el parasitismo significativamente (de 25% en testigos a 67% en campos con liberaciones). Sin embargo, esto no redujo significativamente el número de larvas o el daño (Suh *et al.*, 2000a) porque la mayor mortalidad de huevos fue compensada por una disminución en la mortalidad larval (Suh *et al.*, 2000b). Esto ilustra que las evaluaciones de la eficacia biológica de los parasitoides de huevos debe incluir la evaluación de la densidad larval y del daño, y no sólo basarse en las tasas logradas de parasitismo.

Una complicación posterior en este cultivo es la disponibilidad actual de variedades transgénicas Bt, las cuales se han aceptado ampliamente en algunos países. El algodón Bt logra un mejor control de plagas primarias y, por tanto, es posible que reemplace el uso de *Trichogramma* donde esté disponible.

HISTORIA DE UN CASO ESPECIAL: USO DE *TRICHOGRAMMA* EN MAÍZ

Las liberaciones de *Trichogramma* son usadas en campos de maíz y, a veces, en maíz dulce para controlar larvas barrenadoras del tallo (p. ej., *Ostrinia nubilalis* [Hübner] en Europa y Norteamérica; *Ostrinia furnacalis* Guenée en Asia) o especies de *Helicoverpa* que hacen túneles en las mazorcas. El uso de *Trichogramma* en este cultivo está diseminado ampliamente y ha sido algo mejor estudiado que en otros sistemas. Aquí se contrasta el uso en Europa occidental y central, los Estados Unidos y China para ilustrar cómo las circunstancias locales – biológicas y políticas – pueden afectar el uso del mismo enfoque de control de plagas.

EUROPA

En Alemania, *T. brassicae* es criado y liberado anualmente en cerca de 11,000 ha de maíz (Zimmermann, 2004) para el control de *O. nubilalis*. Este patrón de uso ha sido refinado por más de 25 años y se ha mejorado en varios aspectos, incluyendo los métodos de liberación (Albert *et al.*, 2001). La tasa recomendada es de dos liberaciones de 150,000 individuos/ha por ciclo en áreas con dos generaciones de la plaga/año o tres liberaciones de 50,000 c/u en áreas con sólo una generación de la plaga. Estas tasas reducen el daño del barrenador en 65-75% (Hassan y Zhang, 1999). Sin embargo, su uso en Alemania es menor del 1% del maíz. Además, su uso es subsidiado por el gobierno, el que paga a los agricultores el costo diferencial entre usar *Trichogramma* y plaguicidas. Actualmente, las liberaciones de *Trichogramma* son de aproximadamente el doble de costosas que los plaguicidas. Los subsidios del gobierno son más o menos

de 50€/ha (Degenhardt *et al.*, 2003). En la actualidad, el maíz Bt está prohibido en Alemania pero si se llega a permitir, posiblemente desplazará al uso de *Trichogramma* debido a las mejores ganancias (Degenhardt *et al.*, 2003). El uso de *T. brassicae* ocurre en mayor extensión en Francia pero el área tratada todavía constituye un porcentaje muy pequeño del cultivo. Su eficacia es similar que en Alemania pero el costo es más competitivo, siendo solamente el 10% mayor que el costo de control con plaguicidas. El uso por el productor no depende de los subsidios del gobierno.

LOS ESTADOS UNIDOS

Los productores han usado poco *Trichogramma* en maíz en los Estados Unidos. Sin embargo, los estudios de investigación han identificado a *Trichogramma ostriniae* Pang & Chen como una especie que puede ser efectiva contra el barrenador del maíz (Wang *et al.*, 1999; Kuhar *et al.*, 2002). Pruebas en Nueva York encontraron que una sola liberación inoculativa de 75,000 avispitas/ha en maíz dulce redujeron el porcentaje de mazorcas infestadas con *O. nubilalis* desde cerca del 13% en los testigos al 6% (el umbral usado por los productores es del 5%) (Wright *et al.*, 2002). Esta estrategia de liberación aumentativa es algo única porque una liberación realizada cuando la planta de maíz es pequeña, resulta en el establecimiento y reproducción del parasitoide, lo que logra la supresión de la plaga en toda la estación.

Estos resultados sugieren un potencial de uso para este parasitoide en maíz dulce. *Trichogramma ostriniae* estuvo comercialmente disponible en los Estados Unidos ya en 2005 y se requerirá algún tiempo para determinar el nivel de adopción por el productor. Es más probable que los agricultores orgánicos adopten este enfoque. En maíz de campo, las variedades transgénicas ya han sido ampliamente adoptadas en los Estados Unidos y es posible que los productores convencionales excluyan el uso significativo de *Trichogramma*.

CHINA

En contraste con Europa y los Estados Unidos, en China el uso de *Trichogramma* spp. contra plagas del maíz ocurre en grandes extensiones, especialmente en el norte, donde se tratan así más de 4 millones de hectáreas (Wang *et al.*, 2005). Los principales parasitoides son *T. dendrolimi* y *T. chilonis*, los que pueden ser criados masivamente en huevos del gusano de seda del encino. También existe interés en la producción masiva de *T. ostriniae* en *S. cerealella*. *T. dendrolimi* y *T. chilonis* también han sido criados en huevos artificiales, siendo usado este método para la producción comercial contra *O. nubilalis* y *H. armigera* (Feng *et al.*, 1999; Wang, 2001). El control del barrenador del maíz en el norte de China (donde sólo hay una generación de la plaga por año) está basado en dos liberaciones estacionales de 150,000-300,000 *T. dendrolimi* por ha. Las liberaciones son efectuadas monitoreando el empupamiento de la plaga y para lograr de 60-85% de parasitismo (Piao y Yan, 1996). El control en áreas más sureñas, donde hay varias generaciones por año, requiere de liberaciones adicionales. El uso de *Trichogramma* en China es una parte básica del sistema MIP para el manejo de plagas del maíz (Wang *et al.*, 2003).

CONCLUSIONES DE ESTE CASO

El fuerte contraste del uso de *Trichogramma* en China y los Estados Unidos, con Europa en posición intermedia, ilustra que el apoyo financiero del gobierno para la producción o liberación de *Trichogramma* puede afectar significativamente su uso. Las oportunidades de cría y el costo siguen siendo aspectos claves para el uso aumentativo de los parasitoides. La disponibilidad incidental de un costo de cría barato (el gusano de seda del encino) y la mano de obra disponible para la producción económica de parasitoides, ha estimulado fuertemente el uso del método en China. Los métodos mecanizados basados en huevos artificiales también parecen ofrecer potencial pero todavía no es posible evaluar la eficacia de este enfoque. Hasta la fecha, el uso de hospederos artificiales no ha dominado la producción, aún en China. El interés en el método en los Estados Unidos para usarlo en maíz de campo ha sido sustituido por el temprano desarrollo y despliegue del maíz Bt. Sin embargo, el uso de *Trichogramma* por los productores en maíz dulce sigue siendo posible. Los agricultores que más probablemente adopten este enfoque son los orgánicos y los convencionales cuyos terrenos sean demasiado pequeños para justificar la compra de los aspersores de espacio alto, necesarios para aplicar plaguicidas al cultivo.

USO EN TOMATES PARA PROCESADOS

Las liberaciones de *Trichogramma* también han sido utilizadas para el control de *Helicoverpa zea* (Boddie) en tomates para procesados. En México, unos 10,000 acres de tomates son tratados con *T. pretiosum* (dosis de 100,000 avispidas/ha/semana hasta 9 semanas por ciclo), en combinación con la interrupción del apareamiento y con *B. thuringiensis* para *Keiferia lycopersicella* (Walsingham) y *Spodoptera exigua* (Hübner), respectivamente (Trumble y Alvarado-Rodríguez, 1998). Esta práctica está bien establecida en varios estados mexicanos (Sinaloa, Baja California), produciendo tomates con un nivel aceptable de daños (<3%) y con costos muy por debajo de los programas convencionales con plaguicidas. Los parasitoides son producidos en forma económica en instalaciones estatales o de los procesadores de tomate. La importancia de las liberaciones de *Trichogramma*, separadas del resto del paquete MIP, no ha sido establecida. Tampoco está clara la viabilidad económica del uso de este parasitoide que depende de los subsidios del gobierno o de los insectarios de los procesadores.

Otros enemigos naturales (*T. chilonis*, *T. pretiosum* y *Trichogramma brasiliense* Ashmead) han sido usados para controlar *H. armigera* en tomate en varias partes de India. Se liberan entre 50,000-100,000 avispidas/ha, produciendo niveles de parasitismo de alrededor del 40%, con niveles de daño similares a los campos tratados con plaguicidas y aumentando los rendimientos de fruta (Praveen y Dhandapani, 2003; Kumar *et al.*, 2004).

USO EN MANZANO Y NOGAL DE CASTILLA CONTRA LA POLILLA DE LA MANZANA

La polilla de la manzana *Cydia pomonella* (L.) ha sido investigada como un objetivo potencial para *Trichogramma platneri* Nagarkatii en huertos de manzano, peral y nogal de Castilla en los Estados Unidos y Canadá. A diferencia de las plagas tratadas

anteriormente, este insecto es una plaga directa de un producto de valor muy alto, con un umbral de daño muy bajo (cerca de 1% de infestación en manzano). Las liberaciones de 200,000 avispitas/ha reducen el daño en un 60% en relación al testigo. Esto puede ser suficiente cuando la presión de la plaga es baja (Mills *et al.*, 2000) pero puede ocurrir un daño significativo cuando la presión de la plaga es alta (Cossentine y Jensen, 2000). Actualmente, este sistema no compite con los insecticidas, los que pueden reducir el daño en 80-100%. Además, el costo (\$300 de EU/ha en 1998) exceden los del control químico. La investigación posterior podría mejorar la eficacia y el mayor uso podría reducir los costos (Mills, 1998). Se han estudiado métodos de aplicación aérea para liberar el parasitoide en los huertos (**Figura 26-4**). En este sistema, se ha desarrollado un método alternativo de control – disrupción del apareamiento – que podría competir o integrarse a las liberaciones de parasitoides.



Figuras 26-4a,b,c. Dispositivos en desarrollo para la aplicación aérea de *Trichogramma* (en huevos parasitados del hospedero) en los huertos: (a) dispositivo de liberación en la ala, (b) la avioneta y (c) acercamiento del dispositivo de liberación. (Fotografías cortesía de Nick Mills.)

USO EN BOSQUES

En Canadá, las explosiones de población de defoliadores nativos como el gusano de la yema de la picea *Choristoneura fumiferana* (Clemens) ocurren periódicamente. Sin embargo, la política pública ha estado restringiendo la aplicación aérea de plaguicidas en los bosques públicos. Tal prohibición crea un mercado para los plaguicidas microbiales o para las liberaciones aumentativas de parasitoides. La aplicación aérea de *Trichogramma minutum* Riley fue investigada durante los 1980s e inicio de los 1990s por su posible uso contra esta plaga en el este de Canadá (Smith *et al.*, 1990; Smith, 1996). Smith *et al.* (1990) demostraron que la cantidad de larvas puede ser reducida en 70% al año de la liberación, reduciendo la defoliación en 50% (Smith *et al.*, 2001). Datos posteriores mostraron que la liberación del parasitoide aumenta el parasitismo por taquínidos nativos que se creía regulaban las densidades de la plaga (Bourchier y Smith, 1998). Sin embargo, las tasas de liberación necesarias para lograr este nivel de control biológico eran bastante altas, excediendo los 10 millones de avispietas/ha, por lo que el costo resultante estimado fue de cerca de \$200 canadienses/ha, lo que excedía el costo de control con aplicaciones aéreas de *B. thuringiensis* (Smith, com. pers.). En consecuencia, este enfoque no fue adoptado aunque la situación fue confusa por el colapso concurrente de las poblaciones de la plaga en el este de Canadá (de 1995 al presente), evitando la necesidad de control por cualquier método.

USO DE ÁCAROS DE PREDADORES PHYTOSEIIDAE

RAZONES NECESARIAS: DESTRUCCIÓN DE ENEMIGOS NATURALES Y RESISTENCIA A LOS ACARICIDAS

Los ácaros se convirtieron en plagas de muchos cultivos después de 1950, debido al gran incremento en el uso de plaguicidas que eliminó a sus depredadores. Los problemas se intensificaron después por el desarrollo de resistencia a los acaricidas, especialmente en cultivos como manzanos y fresas. El aumento en el estatus de los ácaros como plaga condujo a la investigación del papel de los fitoseídos y de otros depredadores, en la regulación natural de los ácaros. Una rama de este trabajo estudió las formas de reestablecer el control natural, modificando el uso de plaguicidas en formas que conducirían al incremento de los fitoseídos y de otros depredadores. Otra respuesta fue la cría comercial de varios fitoseídos para liberarlos en cultivos como fresas, flores en exteriores y en algunas hortalizas de alto precio, como la berenjena. Una variación a las respuestas señaladas, en pocos cultivos, fue la liberación inoculativa de razas de fitoseídos resistentes a plaguicidas en las huertas. En los Capítulos 21 y 22 se discuten los esfuerzos del control biológico por conservación propuestos para reestablecer poblaciones de campo saludables de los enemigos naturales de ácaros. Aquí se discuten los fitoseídos criados para liberaciones inoculativas y masivas.

FITOSEÍDOS USADOS COMÚNMENTE

Algunas especies de fitoseídos pueden ser criados en forma económica. *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot puede ser criado comercialmente en hojas de fríjol con tetraníquidos. *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) puede ser reproducido masivamente en ácaros de granos o en polen. El número de especies de fitoseídos que ha sido criado y considerado para ser usado en el control biológico aumentativo se ha incrementado con el tiempo. Especies como *P. persimilis*, *Galendromus occidentalis* (Nesbitt), *Neoseiulus californicus* (McGregor) y *Neoseiulus fallacis* (Garman) han sido investigadas en muchos cultivos y países mientras que otras especies sólo se han estudiado en algunas regiones.

PHYTOSEIULUS PERSIMILIS

Éste fue el primer fitoseído criado masivamente y es usado con amplitud en hortalizas de invernadero (ver Capítulo 25). Se alimenta solamente de tetraníquidos. Es producido en la araña de dos manchas (*Tetranychus urticae* Koch) que se desarrolla en plantas jóvenes de fríjol, en invernaderos con pisos de tierra. Los ácaros depredadores son introducidos después que se han desarrollado grandes poblaciones de tetraníquidos y más tarde son colectados al cortar las hojas infestadas. El uso de esta especie es más exitoso si la humedad relativa es de cerca de 50% y la temperatura es menor de 32° C (90° F) (Osborne *et al.*, 2004). Este depredador puede detectar colonias de tetraníquidos desde cierta distancia, los localiza rápidamente y consume la mayoría de la colonia. Es más adecuado para la supresión de poblaciones localizadas de alta densidad que para la prevención del incremento de poblaciones en áreas grandes. El uso en exteriores de esta especie incluye su aplicación al follaje de plantas de sombra en Florida (EU) (Osborne, 1987; Osborne *et al.*, 1998). Ha sido usado en Australia desde 1984 para prevenir explosiones de población de *T. urticae* y de *Tetranychus ludeni* Zacher en fresas de campo (Waite, 2001). Este depredador también ha sido efectivo para controlar la araña de dos manchas en lúpulo en el Reino Unido, cuando es usado en dosis de 10 ácaros/planta, en combinación con el acaricida ovicida clofentizina (Lilley y Campbell, 1999).

En Australia, el gran apoyo del personal de extensión incrementó la aceptación de los productores de este depredador en fresas. Las liberaciones estuvieron basadas en el sistema de liberación “la plaga primero”, en el cual algunas plantas son inoculadas primero con la plaga. La liberación de la presa incrementa la confiabilidad y la eficacia del control biológico al promover el establecimiento del depredador. En Florida, *P. persimilis* ha sido usado en fresas desde 1999 debido a la resistencia de los tetraníquidos a la abamectina, el principal acaricida (Price *et al.*, 2002a). Sin embargo, aunque la adopción del control biológico de ácaros en Florida inicialmente se incrementó del 15 al 30% en los productores de fresas, las compañías de plaguicidas respondieron desarrollando nuevos acaricidas (p. ej., Savey [hexythiazox] 50 PH) y los plaguicidas recapturaron el mercado perdido (Price *et al.*, 2002b). Esto ilustra la dinámica y, a veces, la naturaleza no sostenible del control biológico aumentativo. Ya que las liberaciones de ácaros deben competir contra todas las alternativas, su uso puede aumentarse o disminuirse súbitamente.

NEOSEIULUS CALIFORNICUS

Este ácaro es más tolerante a la baja humedad que *P. persimilis* (Osborne *et al.*, 1998) y puede sobrevivir más tiempo sin comida. Esto hace posible el uso preventivo de esta especie, cuando los ácaros plaga todavía son escasos. Puede ser criado en tetraníquidos (Henrickson, 1980) o en polen (Dindo, 1995). Es muy móvil y ha sido usado en fresas, cultivos ornamentales de follaje y en frutales (Castagnoli y Simoni, 2003). Las liberaciones de 2000 ácaros/árbol logran controlar al ácaro del aguacate (*Oligonychus perseae* Tuttle, Baker & Abbatiello) en aguacates de California, equivalente a la aplicación de un aceite hortícola (Hoddle *et al.*, 2000). Sin embargo, el costo de las aplicaciones de ácaros es 10 veces mayor que la aplicación aérea de aceite hortícola, por lo que los ácaros no son usados por los productores.

GALENDROMUS OCCIDENTALIS

Esta especie ha sido probada para controlar ácaros en varios cultivos, incluyendo manzanos (Croft y MacRae, 1992), lúpulo (Strong y Croft, 1995), aguacate (Hoddle *et al.*, 1999) y algodón (Colfer *et al.*, 2004) pero sólo con un mínimo éxito.

NEOSEIULUS CUCUMERIS

Este ácaro puede ser criado en forma económica en ácaros de los granos y es usado extensamente en cultivos hortícolas de invernadero en climas fríos para el control de trips (Shipp y Ramakers, 2004). Tiene una dieta amplia, se alimenta y reproduce rápidamente en polen. Su uso en exteriores está limitado pero controla parcialmente al ácaro tarsonémido *Phytonemus pallidus* (Banks) en fresas en Finlandia (Petrova *et al.*, 2002). Los ácaros tarsonémidos no son controlados por las especies como *P. persimilis* que son liberadas comúnmente para controlar tetraníquidos (Fitzgerald y Easterbrook, 2003).

ALGUNOS ÁCAROS DEPREDADORES RESISTENTES A PLAGUICIDAS

En Norteamérica, los investigadores han tratado de incrementar las poblaciones de *N. fallacis* y de *Typhlodromus pyri* Scheuten en huertas de manzanas o peras, a través de liberaciones inoculativas de razas resistentes a plaguicidas. Las liberaciones de 500-2,000 *N. fallacis* por árbol (Prokopy y Christie, 1992; Lester *et al.*, 1999) fallaron en disminuir la densidad de tetraníquidos pero los estudios en huertos de manzanas en Canadá (Hardman *et al.*, 2000) sugieren que las liberaciones de *T. pyri* son más efectivas. Esto puede ser debido a los hábitos invernantes de los ácaros: *T. pyri* inverna en los árboles de los huertos mientras que *N. fallacis* inverna en otros habitats, por lo que sus necesidades de sobrevivencia en invierno son más complejas. En Japón, una raza de *Neoseiulus womersleyi* (Schicha) resistente a piretroides ha sido probada en plantaciones de té para controlar a *Tetranychus kanzawai* Kishida, cuando se requieren aplicaciones concurrentes de piretroides para controlar chicharritas y trips (Mochizuki, 2002).

LECCIONES DEL USO DE ÁCAROS DEPREDADORES

El uso de fitoseídos se ha caracterizado en varios aspectos. Primero, hay muchos fitoseídos y en cada país es posible tener especies disponibles localmente que podrían ser comercializadas. De hecho, hay presión política para hacerlo y así evitar el establecimiento en el campo de fitoseídos exóticos aunque no se ha demostrado que hayan ocurrido daños por tales establecimientos. Diferentes fitoseídos son posibles de emerger como las especies más prometedoras en distintas localidades, dado las variaciones en el clima local y por otros factores. La investigación local a menudo es requerida para separar las opciones existentes.

Los fitoseídos varían en el grado de especialización en su dieta. Algunas especies se alimentan estrictamente de tetraníquidos mientras que otras comen varios tipos de presas y muchas comen grandes cantidades de polen. Se ha desarrollado un esquema basado en la dieta que clasifica a los grupos de fitoseídos (McMurtry y Croft, 1997). Los especialistas extremos en tetraníquidos como *P. persimilis* son mejores si se requiere control curativo pero pueden no persistir si la densidad de la presa es baja. En contraste, las especies aptas para alimentarse en un rango más amplio de alimentos pueden estar mejor adaptadas para desarrollarse y persistir al inicio de la estación de cultivo, cuando las presas son escasas, logrando mejor control a largo plazo.

En segundo lugar, algunos detalles de la biología de Phytoseiidae han demostrado ser crucialmente importantes. El mejor control logrado por *T. pyri* contra *N. fallacis* en manzano en el noreste de los Estados Unidos, por ejemplo, es atribuible a la biología de la hibernación de estas especies.

En tercer lugar, la resistencia a los acaricidas ha sido una fuerza clave que impulsa el interés en el uso de ácaros depredadores en exteriores. Sin embargo, los productores abandonan rápidamente el control biológico cuando nuevos acaricidas son desarrollados ya que los ácaros no son resistentes a ellos. Esta situación introduce inestabilidad en el mercado de fitoseídos, haciendo su producción más costosa y reduciendo su disponibilidad.

Finalmente, muchos cultivos tienen otras plagas, además de los tetraníquidos. Pueden incluir ácaros (en fresas, grupos como los tarsonémidos) que no son controlados por fitoseídos producidos comercialmente o especies de otros grupos de plagas (en té, chicharritas y trips). En tales casos, puede requerirse un programa MIP más complejo. Los fitoseídos resistentes a plaguicidas son un medio potencial para resolver este problema.

CONTROL DE MOSCAS DEL ESTIÉRCOL

Las moscas que se crían en estiércol, dentro o cerca de las instalaciones de producción animal, han sido elegidas para el control por conservación o el aumentativo de parasitoides o depredadores larvales o pupales (Rutz, 1986; Petersen y Greene, 1989; Rutz y Patterson, 1990). Las principales moscas plaga han sido la mosca casera *Musca domestica* L. en varias situaciones

(lotes de aves y corrales para ganado lechero o de carne) y la mosca del establo *Stomoxys calcitrans* (L.) en corrales para ganado vacuno.

Varias avispa pteromálicas están asociadas con estas moscas en las áreas de producción de animales (ver p. ej., Rutz y Axtell, 1980, 1981). Los agentes de control biológico potenciales incluyen especies principalmente de los géneros *Muscidifurax*, *Spalangia*, *Pachycrepoides* y *Nasonia*, tales como *Muscidifurax raptor* Girault & Sanders, *M. zaraptor* Kogan, *M. raptorellus* Kogan, *Spalangia cameroni* Perkins, *S. endius* Walker y *Nasonia vitripennis* (Walker). Estos parasitoides generalmente son nativos de donde son estudiados pero *M. raptorellus* es una especie gregaria altamente promisorio que parece haber invadido los Estados Unidos (donde fue evaluada como agente de control biológico) desde Suramérica (Antolin *et al.*, 1996).

Se han efectuado pruebas de campo para controlar moscas que se crían en el estiércol en gallineros, en corrales para ganado vacuno y en establos lecheros. Rutz y Axtell (1979) reportaron que las liberaciones de 40,000 *M. raptor*/semana en gallineros fueron parcialmente efectivas, disminuyendo el número de moscas en los gallineros con jaulas angostas pero no en los de jaulas altas. En las instalaciones de aves de corral, el estiércol varía en humedad y profundidad de deposición, y ambos factores afectan los niveles de parasitismo (Geden, 1999, 2002). Debido a esta importante variabilidad, las liberaciones de combinaciones de parasitoides con características complementarias del nicho parecen mejorar la eficacia (Geden y Hogsette, 2006).

Pruebas iniciales en corrales para ganado vacuno probaron que varias especies de parasitoides (Stage y Petersen, 1981), incluyendo *S. endius* (Petersen *et al.*, 1983), fallaron en incrementar las tasas de parasitismo. Este parasitoide parece comportarse bien solamente en climas más cálidos. En contraste, las liberaciones de *M. zaraptor* elevaron el parasitismo desde el 2% hasta el 38% en la tasa de liberación probada más alta (37,000/semana/15 semanas) (Petersen *et al.*, 1995). El impacto más alto (96% de parasitismo) fue observado con una sola liberación de 200,000 *M. raptorellus* (Petersen y Currey, 1996). Otras tasas de liberación e intervalos entre liberaciones variaron en su impacto pero todos mostraron que el parasitismo podría ser elevado al rango del 40-80% y ser mantenido así por varias semanas. En instalaciones de ganado lechero en Nueva York, liberaciones de 10-12,000 *M. raptor* (como pupas parasitadas del hospedero) redujeron los niveles de moscas en 50% (Geden *et al.*, 1992).

Se han hecho esfuerzos para identificar plaguicidas potencialmente compatibles con las liberaciones de parasitoides (Scott *et al.*, 1988, 1991). Los parasitoides de moscas que se crían en el estiércol continúan vendiéndose en insectarios comerciales. Hay alrededor de una docena de especies comunes de parasitoides de moscas en los ecosistemas naturales, pero las más efectivas son *S. cameroni* y cualquiera de las tres especies comunes de *Muscidifurax*. *Nasonia vitripennis* a veces es incluida en los envíos comerciales, debido a que es un contaminante común en las colonias de cría masiva pero generalmente es considerada ineficiente (Patterson *et al.*, 1981, Rutz y Patterson, 1990). Aunque no hay datos disponibles del porcentaje de productores de aves de corral y de ganado que usan parasitoides, el mercado de los parasitoides producidos comercialmente ha permanecido estable durante los últimos 15 años en los Estados Unidos y Europa, quizá porque la plaga más común (*M. domestica*) desarrolla resistencia a los plaguicidas rápidamente.

OTROS EJEMPLOS DE AGENTES ESPECIALIZADOS

Además de los grupos ya mencionados, otros parasitoides y depredadores especializados han sido considerados para ser usados en el control biológico aumentativo en exteriores. La mayoría de estas especies han sido estudiadas por investigadores universitarios o gubernamentales para ser usadas contra plagas específicas.

ESCAMAS Y PIOJOS HARINOSOS EN CÍTRICOS

ESCAMAS

Las áreas productoras de cítricos alrededor del mundo han sido invadidas repetidamente por plagas exóticas. La mayoría – especialmente escamas, moscas blancas y minadores de hojas – han sido suprimidas exitosamente con el control biológico clásico (Bennett *et al.*, 1976). Éste ha sido el método dominante del control biológico aplicado al cultivo en el sur de California. Sin embargo, varios enemigos naturales clave que proporcionan control biológico permanente allí, no persisten en el Valle de San Joaquín, California, debido al clima. En respuesta, los productores de esa región han dependido de los plaguicidas. El control biológico aumentativo ha sido sugerido entonces como un enfoque alternativo para los cítricos del Valle de San Joaquín (Luck *et al.*, 1996).

En limones, la liberación de 50,000-200,000 adultos del afelínido *Aphytis melinus* DeBach controlaron con éxito a la escama roja de California *Aonidiella aurantii* (Maskell) (Diaspididae). Las liberaciones fueron competitivas económicamente con los plaguicidas y, a diferencia de ellos, no afectaron a los enemigos naturales de otras plagas de los cítricos, lo cual evitó las explosiones de población de plagas secundarias (Moreno y Luck, 1992; Luck *et al.*, 1996). Las liberaciones de parasitoides resultaron en frutas de igual o mejor calidad que las obtenidas con el programa tradicional de plaguicidas de amplio espectro, con una reducción del 40% en los costos de control de la plaga (Luck *et al.*, 1996). Sin embargo, desde la invasión de la chicharrita de alas cristalinas *Homalodisca coagulata* (Say), se han aplicado plaguicidas para suprimir a esta nueva plaga en cítricos (su principal área de cría, aún cuando no está dañando a los cítricos) para proteger la producción de uvas de la enfermedad de Pierce, de la cual es vectora la chicharrita. Estas aplicaciones de plaguicidas hacen imposible el uso del control biológico aumentativo en cítricos con chicharritas, ya que no hay control biológico de esta plaga.

Otras plagas en cítricos de California para las que se ha buscado el control biológico aumentativo incluyen dos escamas suaves (Coccidae): la escama citrícola *Coccus pseudomagnoliarum* (Kuwana) y la escama negra *Saissetia oleae* (Olivier). En cada caso, dos especies de parasitoides del género *Metaphycus* (Encyrtidae), *M. helvolus* (Compere) y *M. ca flavus* (Howard) fueron evaluadas (Bernal *et al.*, 1999; Schweizer *et al.*, 2002, 2003ab), comparando las liberaciones tempranas, intermedias y tardías. Sin embargo, ningún sistema de liberación probó ser altamente efectivo para contro-

lar la plaga. En parte, el nivel de control fue condicionado por el efecto que tuvo el tiempo de liberación en el tamaño de las escamas disponibles para la oviposición ya que los hospederos más pequeños tienden a originar un porcentaje desproporcionado de parasitoides machos en la siguiente generación, reduciendo la eficacia. Ese mismo fenómeno afecta las colonias en la cría masiva (Weppler *et al.*, 2003). Estos estudios destacan el papel relativamente pequeño que tiene el control biológico aumentativo en cítricos, comparado con el clásico pero el éxito logrado contra la escama roja de California ilustra que, en algunos casos, los problemas de disrupción por plaguicidas pueden ser eliminados cambiando a las liberaciones aumentativas de parasitoides, donde sean efectivas económica y biológicamente.

PIOJOS HARINOSOS

En general, los piojos harinosos son receptivos a la supresión permanente por el control biológico clásico, existiendo muchos casos exitosos (ver p. ej., Clausen, 1978). Sin embargo, dicho tipo de control de piojos harinosos puede fallar en algunas áreas, particularmente en las partes menos tropicales de su rango de distribución, debido a la alta mortalidad invernal de los enemigos naturales clave. En California, el piojo harinoso de los cítricos *Planococcus citri* (Risso) y el piojo harinoso citrófilo *Pseudococcus calceolariae* (Maskell) fueron invasores incontrolables en los distritos citrícolas costeros durante las primeras décadas del siglo 20. Aunque existían parasitoides que atacaban estas plagas, eran insuficientes. Similarmente, la efectividad del coccinélido *Cryptolaemus montrouzeri* Mulsant, un depredador significativo de estos piojos harinosos, era limitada por el invierno. Smith y Armitage (1926) desarrollaron un método de cría masiva para este depredador, criando piojos harinosos en papas con brotes. La inoculación en primavera de 10 marquitas/árbol logró un control efectivo en las áreas donde su control era inadecuado. Esto condujo a que un número grande de insectarios produjeran dicha especie para usarse en cítricos de California (Bennett *et al.*, 1976). Esta práctica continuó a gran escala desde los 1930s hasta los 1960s (con liberaciones de hasta 42 millones de mariquitas anualmente) pero el volumen de uso declinó grandemente cuando uno de los piojos harinosos, *P. calceolariae*, fue controlado con control biológico clásico a través de introducciones de parasitoides adicionales (Kennett *et al.*, 1999). Actualmente, sólo un pequeño número de insectarios continúa produciendo *C. montrouzeri*, el cual es liberado para controlar explosiones localizadas de población de *P. citri*, cuando ocurren.

PARASITOIDES DE HUEVOS DE CHINCHES EN FRESAS

El daño en California a las fresas por un mrido occidental, *Lygus hesperus* Knight, presenta algunas características que sugieren que la chinche podría ser potencialmente una plaga viable para el control biológico aumentativo. El cultivo tiene un valor por hectárea muy alto, con un daño significativo por la plaga (los frutos con deformidades causadas por la alimentación de la chinche no son comercializables). Como tal, aún los controles relativamente caros de la plaga podrían ser factibles económicamente si fueran más efectivos que las aplicaciones convencionales de plaguicidas. Ambas, las aplicaciones de plaguicidas y las

liberaciones del parasitoide son menos efectivas por la inmigración significativa al cultivo de chinches *Lygus* desde otros cultivos o desde la vegetación natural. Esto incrementa la presión de la plaga y requiere de una forma de acción casi continua de protección. Aún con múltiples aplicaciones de plaguicidas, la densidad de la plaga en pruebas de campo se redujo solamente en 45%, comparada con el testigo (Udayagiri *et al.*, 2000a).

El enemigo natural visto como potencialmente útil fue el mimárido parasitoide de huevos *Anaphes iole* (Girault). En algunas plantas, esta avispa parasita hasta el 100% de los huevos de la chinche. En fresas, liberaciones semanales de 37,000 parasitoides/acre lograron 50% de parasitismo de huevos en las orillas pero 12,300 avispas/acre causaron muy poco parasitismo (6-7%). El parasitismo fue alto solamente por unos pocos días, aún en las parcelas con las mayores liberaciones, y después cayó a niveles bajos. La cantidad de chinches fue reducida en 43% y el daño a la fruta en 22% (Norton y Welter, 1996). Algunas mejoras posteriores permitieron que liberaciones semanales de 15,000 avispas/acre se comportaran mejor, causando un 65% de parasitismo (Udayagiri *et al.*, 2000a). Incrementar la frecuencia de liberación a dos veces/semana fue más efectivo pero el aumento fue marginal y no proporcionado con la tasa de liberación. En parte, la eficacia disminuida de este parasitoide en fresas ocurrió porque los huevos de *Lygus* puestos en la fruta (especialmente en el receptáculo) estaban protegidos parcialmente del ataque del parasitoide (Udayagiri *et al.*, 2000a). Basadas en estos hallazgos, se efectuaron dos tentativas más. Una se enfocó en mejorar los métodos de cría para reducir costos (Smith y Nordlund, 2000) y la otra en encontrar plaguicidas que pudieran ser compatibles con las liberaciones de parasitoides (Udayagiri *et al.*, 2000b). Ninguno de estos esfuerzos produjo un aumento significativo en la viabilidad del sistema. Ninguno de los plaguicidas disponibles actualmente para la supresión de *Lygus* es compatible con *A. iole*.

Este programa ilustra cómo las características del cultivo pueden alterar las tasas de parasitismo alcanzables (en este caso, por la protección de los huevos puestos en frutos), cómo el movimiento de plagas entre el cultivo puede estructurar la naturaleza del reto de la plaga y cómo la falta de plaguicidas compatibles para usarse en el cultivo puede limitar el control integrado.

CHINCHES APESTOSAS EN LA SOYA BRASILEÑA

En Brasil, un grupo de chinches apestosas, principalmente *Nezara viridula* (L.), *Piezodorus guildinii* (Westwood) y *Euschistus heros* (Fabricius), ataca a la soya y reduce la producción de semilla. El parasitoide sceliónido de huevos *Trissolcus basalus* (Wollaston) ha sido criado en laboratorio y probado para conocer el nivel de control alcanzable con su liberación. La liberación de 15,000 avispas/ha en un cultivo joven de soya (usado como cultivo trampa en el campo principal) resultó en una reducción del 54% de la densidad de la chinche en el cultivo trampa y de un 58% en el cultivo principal (Corrêa-Ferreira y Moscardi, 1996). Las liberaciones en el cultivo trampa retardaron la invasión del cultivo principal, disminuyeron las poblaciones de chinches y condujeron a una mayor calidad de la semilla. La cría masiva del parasitoide se hace en huevos de *N. viridula* y los estudios posteriores sugieren que puede ser útil en el MIP de la soya en algunas partes de Brasil (Corrêa-Ferreira *et al.*, 2000). El aspecto económico de la cría masiva, en comparación con el valor del control logrado de la plaga no ha sido reportado.

PICUDO DE LA BELLOTA DEL ALGODÓN EN TEXAS, MÉXICO Y BRASIL

El picudo del algodnero (*Anthonomus grandis* Boheman) es una plaga en los Estados Unidos y México y, desde su invasión en 1983, en Brasil. Es atacado en su rango nativo (sur de México y norte de Centroamérica) por la avispa pteromávida *Catolaccus grandis* (Burks) (**Figura 26-5**), la cual es un parasitoide de larvas maduras en los cuadros y bellotas del algodón. Las pruebas en el sur de Texas (Summy *et al.*, 1995, 1997), México (Vargas-Camplis *et al.*, 2000) y Brasil (Ramalho *et al.*, 2000) han demostrado claramente que las liberaciones de 700-2,000 hembras/ha/semana (por cerca de 8 semanas) pueden causar altos niveles de mortalidad (70-90%). Los parasitoides presentan tasas de crecimiento de población más altas que las de la plaga en el campo y tienen buena capacidad de búsqueda. Estas características resultaron en la supresión de las infestaciones del picudo en las bellotas a niveles por debajo del nivel de daño económico (Summy *et al.*, 1995).



Figura 26-5. El parasitoide pteromávido *Catolaccus grandis* (Burks) puede ser criado en su hospedero natural, el picudo del algodón (*Anthonomus grandis* Boheman) o en dietas artificiales en celdas artificiales, tal como se muestra aquí. Aunque es efectivo, la economía de este sistema no ha sido competitiva respecto a la erradicación continua del picudo en los Estados Unidos; las investigaciones continúan en Brasil. (Fotografía cortesía de Randy Coleman.)

Un factor limitante en la oportunidad de emplear este parasitoide comercialmente ha sido el costo relativamente alto de la cría. Se ha desarrollado un método de cría *in vitro* para producir larvas hospederas en celdas con dieta pero los parasitoides tienen menor calidad que los criados en larvas normales del picudo (Morales-Ramos *et al.*, 1998). La cría *in vivo* en el brúquido del frijol *Callosobruchus maculatus* F. es factible como un hospedero alternante pero ha sido insatisfactoria porque después de varias generaciones, los parasitoides pierden su preferencia por las larvas del picudo del algodón en favor del picudo del frijol (Rojas *et al.*, 1999). En Brasil, el picudo *Euscepes postfaciatus* (Fairmaire) ha sido empleado con éxito como hospedero alterno (Ramalho *et al.*, 2000).

Este parasitoide no fue adoptado para usarse en Texas debido al programa de erradicación existente contra el picudo. Sin embargo, el uso del parasitoide puede probar ser económico y socialmente factible en Brasil.

DEPREDADORES GENERALISTAS VENDIDOS PARA PROBLEMAS NO ESPECIFICOS

Varios depredadores y unos pocos parasitoides son vendidos no como soluciones para problemas específicos sino más bien como productos para el control de plagas para el público en general o como soluciones potenciales para grupos de plagas como los “áfidos”, en varios cultivos. El uso de varias especies de crisopas (*Chrysopa*) y de mariquitas ilustra este enfoque, el cual tiene poco valor y una justificación científica limitada.

MARIQUITAS

Varias especies de coccinélidos (mariquitas) han sido vendidas ampliamente como depredadores generalistas de áfidos. Dos de las especies más comercializadas son *Hippodamia convergens* Guerin y *Harmonia axyridis* (Pallas). La gente compra *H. convergens* para el control de áfidos en sus jardines (Lind, 1998). Existen algunas evaluaciones experimentales sobre esta especie. Controla *Aphis spiraeicola* Patch en el piracanto ornamental (*Pyracantha coccinea* (L.) Roem var. *lalandei*) en Maryland (EU) pero no tuvo efecto en piojos lanudos del género *Eriosoma* (Raupp *et al.*, 1994). *Hippodamia convergens* es parte de un programa MIP del nogal pecanero en Nuevo México (EU) para suprimir áfidos del nogal (LaRock y Ellington, 1996). Sin embargo, su rápida dispersión lejos de los sitios de liberación puede hacerla ineficiente (p. ej, en crisantemo en exteriores en California [Dreistadt y Flint, 1996]). Liberaciones en rosas de miles de mariquitas por planta fueron necesarias para controlar el áfido del rosal en una prueba en California (Flint y Dreistadt, 2005). Esta prueba demostró que para obtener un control efectivo de la plaga, se requerían liberaciones del orden de 2,300 mariquitas/m², en dramático contraste con lo recomendado por los insectarios, de 11-22 mariquitas/m². Esto ilustra que muchos usos menores de los insectos criados en insectario, como lo recomiendan las compañías productoras, no es sostenido por una investigación adecuada y que probablemente no funcione.

El coccinélido *H. axyridis* ha sido usado en invernaderos y en exteriores para el control general de áfidos pero su uso ahora no es recomendado porque establece poblaciones en exteriores que entran a los hogares y pueden desplazar a las mariquitas nativas. Sin embargo, todavía es vendido y ha sido estudiado para ser liberado en varios cultivos, incluyendo melones en Italia (Orlandini y Martellucci, 1997), habas en Egipto (El-Arnaouty *et al.*, 2000) y grosellas rojas en Holanda (Balkhoven y van Zuidam, 2002). Además de los problemas ambientales causados por esta especie, el control que logra de las plagas es muy costoso, p. ej., 569€ por 1000 m² de grosellas (Balkhoven y van Zuidam, 2002).

CRISOPAS VERDES

Las larvas de las crisopas verdes se alimentan fácilmente de áfidos y de otras plagas de cuerpo suave en muchos cultivos (McEwin *et al.*, 2001). Numerosos esfuerzos se han hecho para evaluar el potencial de varias especies de *Chrysoperla* y de *Chrysopa*, incluyendo el uso de *Chrysoperla carnea* (Stephens) para las chinches de encaje de la azalea *Stephanitis pyrioides* (Scott) en viveros (Shrewsbury y Smith-Fiola, 2000) y contra *Scirtothrips perseae* Tuttle, Baker & Abbatiello en aguacate (Hoddle y Robinson, 2004); el uso de *Chrysoperla rufilabris* (Bermeister) para el control del piojo harinoso de cola larga *Pseudococcus longispinus* (Targioni Tozzetti) en plantas de interiores (Goolsby *et al.*, 2000b) y contra el áfido del algodón *Aphis gossypii* Glover (Knutson y Tedders, 2002) en dicho cultivo; además del uso de *Chrysoperla plorabunda* (Fitch) para el control del áfido café de los cítricos *Toxoptera citricida* (Kirkaldy) (Michaud, 2001).

De los ejemplos anteriores, el uso de *C. carnea* en aguacates de California contra los trips no funcionó, en parte porque los huevos de las crisopas eran aplicados mecánicamente



Figura 26-6. Aplicación mecánica de huevos de crisopas verdes en huertas de aguacate en California. (Fotografía cortesía de Mark Hoddle.)

(Figura 26-6) o porque las larvas caían al suelo y no podían encontrar a sus hospederos antes de morir, lo que ocurría en uno o dos días (Hoddle y Robinson, 2004).

La liberación de *C. rufilabris* contra áfidos en algodón de Texas falló, aún a razón de 400,000 huevos/acre no hubo efecto discernible en la densidad del áfido (Knutson y Tedders, 2002). La liberación de 116-275 larvas de *C. plorabunda* contra el áfido café de los cítricos en Florida falló en producir

diferencias en la tasa de maduración de la colonia de áfidos, entre los árboles testigo y los que recibieron crisopas (Michaud, 2001). Sin embargo, la liberación de huevos de *C. rufilabris* (cuando se les proporciona huevos de la polilla de los granos como alimento inicial) en plantas de la hiedra pothos en interiores de edificios en Texas, suprimió las poblaciones del piojo harinoso de cola larga por cuatro semanas (Goolsby *et al.*, 2000b). Además, la liberación de 10 larvas de *C. carnea*/planta en viveros de Maryland logró un control aceptable de las chinches de encaje de la azalea (Shrewsbury y Smith-Fiola, 2000).

Estos resultados variables sugieren que en campo, las larvas de crisopas son relativamente ineficientes, en parte debido a la complejidad física y biótica del ambiente en el cual son colocadas. Los obstáculos incluyen necesidades altas de alimento, pobre contacto con el hospedero a controlar, canibalismo y la ocurrencia natural de crisopas y de otros depredadores. En contraste, en lugares más simples como en plantas de interiores y en viveros en exteriores, las liberaciones de crisopas han logrado mayores impactos.