

SECCIÓN VII. MIDIENDO EL IMPACTO DE LOS ENEMIGOS NATURALES SOBRE LAS PLAGAS

CAPÍTULO 19: ESTABLECIMIENTO DE LOS ENEMIGOS NATURALES EN EL CAMPO

El establecimiento de los enemigos naturales en el campo es un paso crítico del control biológico clásico porque sin él no hay posibilidad de dispersión y consecuentemente no hay impacto. Las liberaciones pueden fallar por muchas razones, algunas de las cuales están relacionadas con el agente, otras con el sitio o comunidad receptora y algunas con las técnicas usadas. Además, pueden ser liberados pocos agentes o la liberación puede ser mal manejada (Beirne, 1985; Hågvar, 1991). Beirne (1975) encontró que las tasas de establecimiento más altas de parasitoides y depredadores en Canadá fueron asociadas con grandes liberaciones en sitios ecológicamente simples, semi-aislados. Ninguna evidencia fue encontrada de que la cría masiva incrementara las tasas de establecimiento. Sin embargo, una colonia criada en masa facilita las liberaciones en un gran número de sitios, lo cual puede acelerar el impacto de los programas dirigidos contra plagas con rangos geográficos grandes y puede permitir que los proyectos sobrevivan a los reveses de los eventos oportunistas. Las liberaciones también pueden fallar si la comunidad receptora carece de algunos componentes bióticos esenciales, tales como un hospedero requerido para la hibernación o si los enemigos naturales locales atacan al agente liberado en una tasa alta.

LIMITACIONES DEL AGENTE DE CONTROL O DE LA COMUNIDAD

RECEPTORA

Las características biológicas inadecuadas del agente de control o la falta de correspondencia entre el agente y la comunidad receptora pueden ser causas significativas del fracaso en su establecimiento. Estas incluyen (1) agentes incapaces para sobrevivir en el clima local, (2) parasitoides o depredadores con una preferencia inadecuada para atacar a la plaga en su planta hospedera, (3) agentes de control de malezas que adquieren enemigos naturales nativos en la comunidad receptora que los reducen en número, (4) agentes pobremente sincronizados con la fenología de la plaga en el nuevo rango de distribución, o (5) agentes que carecen de un hospedero alternante esencial.

Cuando sea posible, las limitaciones biológicas de los agentes pobres deberían ser reconocidas y evitadas escogiendo especies o biotipos mejor adaptados. Sin embargo, los problemas arraigados en la comunidad receptora, como el ataque a los enemigos naturales por depredadores, parasitoides o hiperparasitoides locales, son predecibles solo en forma general y no pueden ser evitados.

ADAPTACIÓN AL CLIMA Y A LA ESTACIONALIDAD DEL PAÍS RECEPTOR

Para sobrevivir en un área nueva, un agente de control debe ser capaz de sobrevivir a los extremos físicos de calor y frío, humedad y sequía del sitio donde sean liberados. Además, los agentes deben responder apropiadamente al ambiente al (1) emerger en sincronía con el hospedero o el estado atacable de la planta y (2) entrar en diapausa, si se requiere, en la época apropiada. En general, las introducciones son más exitosas si los enemigos naturales vienen de áreas donantes con climas similares al área receptora (Messenger *et al.*, 1976) aunque algunos agentes han sido transferidos exitosamente entre climas muy diferentes (ver p. ej., Bustillo y Drooz, 1977). Existen pocos estudios reales de la importancia de la región donante como indicadores del establecimiento. Sin embargo, existen ejemplos contrarios: para dos insectos de Argentina liberados en Australia contra el mezquite (*Prosopis* spp.), el clima de la localidad de colecta no indicaba el éxito del establecimiento en al menos uno de los agentes (una polilla Gelechiidae, *Evippe* sp #1), la cual ha llegado a estar ampliamente establecida pero que desarrolló las poblaciones más altas en localidades significativamente más cálidas que su rango nativo (van Klinken *et al.*, 2003).

Los factores climáticos que se supone son importantes para el establecimiento incluyen en los extremos de temperatura y humedad, los efectos de patrones de lluvia estacional sobre la disponibilidad de hospederos y plantas hospederas, y el fotoperíodo. Las suposiciones iniciales, sin embargo, pueden ser erróneas y fallar en la identificación correcta del aspecto del clima que realmente restringe el establecimiento de un organismo. Cuando el escarabajo tortuga *Gratiana spadicea* (Klug) (Coleoptera: Chrysomelidae) no pudo establecerse en algunos sitios de gran altitud en Sudáfrica, se culpó a los fríos inviernos. Sin embargo, estudios posteriores demostraron que el factor limitante fue la baja humedad (<57% HR), la cual afectó a los huevecillos del escarabajo (Byrne *et al.*, 2002).

Los mapas climáticos o los datos meteorológicos computarizados pueden ser usados para mapear similitudes entre regiones y para ayudar en forma directa en la colecta en el extranjero en las áreas con climas similares a las áreas donde se intenta liberar (Yaninek y Bellotti, 1987; ver Capítulo 14). Sin embargo, los estudios directos en campo de las tasas de ataque de los enemigos naturales sobre la plaga, en algunas localidades que varían en el clima, pueden revelar información importante acerca de la amplitud similar de la tolerancia ecológica climática poseída por el agente. Goolsby *et al.* (2005b), por ejemplo, al estudiar el ácaro eriófido *Floracarus perrepae* Knihinicki & Boczek en Australia, Nueva Caledonia e India, fueron capaces de predecir que el clima en la localidad receptora destinada (sur de Florida, EU) no sería un impedimento para su establecimiento.

Los agentes que toleran el clima de la región aún pueden fallar si el clima local induce una sincronía pobre con el estado crítico de su hospedero o si el agente no es estimulado para entrar en diapausa en el tiempo justo. Por ejemplo, una población de la avispa braconídea *Cotesia rubecula* (Marshall) colectada en British Columbia (Canadá) entra en diapausa cuando la longitud del día es menor de 15 a 16 horas (Nealis, 1985). Esto induce la diapausa a fines de agosto, lo cual es razonable, dado el comienzo inminente del otoño frío y húmedo. Cuando esta raza fue trasladada a Missouri (cerca de 12 grados de latitud más al sur) (Puttler *et al.*, 1970), la sensibilidad a esta longitud del día causó que el parasitoide entrara en diapausa a principios de septiembre, cuando el promedio de

temperatura era $>15^{\circ}$ C. Ahora se reconoce que la sobrevivencia de este parasitoide es baja si es expuesto a tales temperaturas mientras está en diapausa. Como consecuencia, el establecimiento en Missouri fracasó. Otra población, colectada en Beijing, China, fue liberada posteriormente en Massachusetts. Estas localidades están a dos grados de latitud de diferencia y el parasitoide se estableció fácilmente (Van Driesche & Nunn, 2002).

El clima puede causar que un agente potencialmente efectivo falle si se afecta la sincronía con el hospedero. En Nueva Zelanda, el picudo de la semilla *Apion ulicis* (Forster) introducido no pudo ejercer el impacto máximo sobre la maleza *Ulex europaeus* L. porque la diapausa reproductiva ocasionó una pobre sincronía con las semillas de la planta. En Nueva Zelanda, el picudo emergió después que la mayoría de las semillas de primavera y estuvo disponible solamente para atacar las semillas del verano. Esta incompatibilidad ocurrió porque la planta en el nuevo hábitat producía semillas dos veces por año, en lugar de una sola vez como en Europa. Aunque realmente no se estaba evitando el establecimiento, esta incompatibilidad redujo significativamente la eficiencia del agente (Cowley, 1983). Similarmente *Rhinocyllus conicus* (Frölich) se estableció en menor proporción sobre *Carduus acanthoides* L. que sobre *Carduus nutans* L., debido a la pobre sincronización entre la floración de *C. acanthoides* y la oviposición del escarabajo (Surles y Kok, 1977).

Finalmente, la tolerancia climática del agente y la de la plaga podrían sobreponerse sólo parcialmente, tanto que un agente puede no estar disponible en algunas localidades donde la especie invasora es una plaga. El picudo *Perapion antiquum* (Gyllenhal), por ejemplo, es efectivo contra *Emex australis* Steinheil en Hawaii pero no es de utilidad en Australia porque las áreas donde este picudo podría establecerse son físicamente distantes y climáticamente diferentes de las áreas donde *E. australis* causa problemas, para las cuales el agente de control está pobremente adaptado (Scott, 1992).

INCAPACIDAD PARA PARASITAR A LA PLAGA EN SU PLANTA HOSPEDERA TÍPICA

Las características de la planta como la composición química, textura de la hoja, pubescencia y arquitectura de la planta pueden afectar la capacidad de los parasitoides y de los depredadores para atacar a hospederos que de otra forma estarían disponibles (e.g., Elsey, 1974; Keller, 1987). Si un agente de control es colectado en la planta hospedera principal de la plaga, la disponibilidad de la planta hospedera está probablemente asegurada. Sin embargo, si el parasitoide o depredador es colectado de la plaga en una planta diferente, entonces pueden originarse problemas si la planta donante y la planta del área receptora afectan en forma diferente a los agentes exóticos o a la sobrevivencia de los estados inmaduros. Por ejemplo, el parasitoide *Habrolepis rouxi* Compere es capaz de atacar y desarrollarse bien en la escama roja de California, *Aonidiella aurantii* (Maskell) en cítricos pero si el mismo insecto se alimenta en la palma de Sagú *Cycas revoluta* Thunb., la planta le causa un 100% de mortalidad a los estados inmaduros del parasitoide (Smith, 1957).

GRADO DE ATAQUE POR ENEMIGOS NATURALES LOCALES

Los enemigos naturales liberados en programas de control biológico pueden ser atacados por especies locales. Por ejemplo, los cocones de *C. rubecula* (un braconido liberado contra la polilla del repollo, *P. rapae*) son atacados por hiperparasitoides en Virginia, EU, y esto puede haber contribuido a su fracaso para establecerse permanentemente en ese lugar (McDonald y Kok, 1992).

Los insectos herbívoros liberados contra malezas pueden ser atacados por parasitoides generalistas y por los depredadores presentes en la región receptora, un proceso que ha sido llamado *interferencia biótica*, la cual es un componente de la resistencia biótica (Goeden y Louda, 1976). Los ejemplos incluyen (1) el ataque sobre la mosca de las agallas de lantana *Eutreta xanthochaeta* Aldrich por *Diachasmimorpha tryoni* (Cameron), un parasitoide introducido para controlar tefrítidos que atacan frutas (Duan *et al.*, 1998); (2) el ataque sobre el escarabajo *Galerucella californiensis* L. por la chinche mívrida *Plagiognathus politus* Uhler (Hunt-Joshi *et al.*, 2005) y (3) el ataque sobre la mosquita de las agallas de la hierba esqueleto *Cystiphora schmidtii* Rubsamen por el parasitoide pteromárido *Mesopolobus* sp., en el estado de Washington (EU) (Wehling y Piper, 1988).

Si los ataques son triviales o si reducen completamente la eficiencia del agente de control biológico varía enormemente. Entre los agentes de control biológico de malezas en Sudáfrica (Hill y Hulley, 1995), 40 de 62 especies fueron atacadas en algún grado por parasitoides nativos. Los agentes que estuvieron pobremente ocultos, como los endofitos (como los minadores de hojas) frecuentemente fueron más atacados que los que estaban expuestos. Los minadores de hojas y los ácaros introducidos atraen típicamente a parasitoides y depredadores generalistas, por ejemplo el ácaro *Tetranychus lintearius* Dufour, el cual fue atacado después de su liberación en Oregon (EU) por varios fitoseídos, incluyendo *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Pratt *et al.*, 2003). Sin embargo, no está claro si el grado en el cual falla en establecerse se deba a dicho ataque porque esta interacción es un evento breve que es raramente el objetivo de la investigación.

CARENCIA DE HOSPEDEROS ALTERNOS ESENCIALES EN LA COMUNIDAD

RECEPTORA

Algunas localidades receptoras físicamente favorables pueden carecer de componentes bióticos esenciales para el establecimiento de las nuevas especies. El parasitoide eulófido *Pediobius foveolatus* (Crawford) no puede sobrevivir al invierno en la plaga objetivo *Epilachna varivestis* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) porque requiere una especie que inverne como larva (no como un adulto, como lo hace *E. varivestis*) (Schaefer *et al.*, 1983). Como en Norteamérica no se encuentra ningún hospedero con dicha biología, *P. foveolatus* no se estableció.

MANEJO DE SITIOS DE LIBERACIÓN

Las poblaciones pequeñas de enemigos naturales son vulnerables al disturbio y a los eventos fortuitos. Para minimizar el potencial de disrupción, los sitios de liberación deberían ser escogidos para proporcionar al enemigo natural suficientes insectos hospederos o plantas para su alimentación, y ser manejados para proteger el sitio de los plaguicidas, fuego, inundaciones o la destrucción deliberada. El criterio de selección del sitio sería menos importante si puede hacerse un gran número de liberaciones porque la pérdida de unos pocos sitios sería insignificante. Las liberaciones podrían ser hechas en varios sitios a través del rango de climas locales y de los hábitats ocupados por la plaga, para descubrir el tipo de localidad en la que el enemigo natural esté mejor adaptado.

El aumento de las poblaciones de los hospederos, si se requiere, puede ser alcanzado por la liberación de artrópodos hospederos de crías de laboratorio o para los agentes de control de malezas, por la siembra o la fertilización (Room y Thomas, 1985). El manejo de los sitios de liberación para otros propósitos puede estar en proceso, como la quema de pastizales. En tales casos, será importante descubrir cómo tales prácticas podrían afectar el establecimiento o la persistencia de los agentes de control (Fellows y Newton, 1999). Los sitios de liberación no deben ser asperjados con plaguicidas y deberían ser dejados sin cosechar, si esta labor puede destruir la parcela. En el caso de los agentes contra malezas, los sitios de liberación no deberían ser cortados o asperjados con insecticidas o herbicidas, a menos que las aplicaciones de herbicidas ayuden al agente a atacar a la planta. Si el hábitat crítico es un cultivo a corto plazo, una serie de plantaciones del cultivo espaciadas en el tiempo pueden estabilizar al cultivo (y a la plaga) en un período largo. Los sitios de liberación seguros, con mínimo acceso al público, podrían ser escogidos para minimizar el disturbio físico. Deberían elaborarse acuerdos claros que describan el manejo del sitio, junto con el propietario o el encargado del sitio de liberación.

CALIDAD DE LA LIBERACIÓN

La calidad de una liberación para el control biológico puede ser afectada por (1) el número de individuos liberados, (2) su diversidad genética, salud, nutrición y estatus de apareamiento, (3) el acondicionamiento previo al hospedero, (4) la protección adecuada durante el transporte, y (5) la elección apropiada del estado de vida por liberar.

NÚMERO LIBERADO

Es más probable que un agente se establezca si es liberado en números grandes, en muchos sitios y en varios años seguidos (Beirne, 1975; Memmott *et al.*, 1998, 2005; Grevstad, 1999b; Clark *et al.*, 2001). Para algunas especies, la liberación de más insectos por sitio no es lo mejor, habiendo un mínimo necesario para ser liberado (Center *et al.*, 2000). Un número más grande de liberaciones por sitio, sin embargo, puede acortar el tiempo que lleva a un agente para alcanzar los niveles que causen impactos visibles sobre la plaga (p. ej., De Clerck-Floate *et al.*, 2005). En ausencia de información específica, las liberaciones de algunos cientos de individuos por sitio son probablemente razonables. Una vez que

se obtiene experiencia específica con un enemigo natural en particular, puede definirse el número mínimo de liberaciones por sitio que se deba hacer.

EL ESTADO FÍSICO Y LA SALUD DE LOS AGENTES DE CONTROL

Los enemigos naturales usados para una liberación necesitan estar en buena salud al tiempo de las liberaciones, libres de infecciones de patógenos, bien alimentados, apareados (si son liberados los adultos), además de tener una amplia representación de las características genéticas de la población original de campo que fue la fuente para la cría.

La salud genética de los enemigos naturales realmente liberados afecta significativamente el resultado de una liberación (Hopper *et al.*, 1993). Hufbauer y Roderick (2005) revisaron las vías por las cuales la microevolución afecta el éxito y la seguridad del control biológico. Existen algunos problemas potenciales, los más importantes son (1) los efectos del fundador, (2) la deriva, (3) la depresión por endogamia, y (4) la selección a las condiciones del laboratorio (Roush, 1990a). *Los efectos del fundador* se refieren a la falla en la colecta inicial en incluir una representación adecuada de la variación genética de la especie. La evidencia de que esto ha afectado el resultado del control biológico es poca, pero ciertamente podría ocurrir. Los análisis moleculares de la diversidad de haplotipos entre poblaciones de agentes de control biológico en localidades donantes y receptoras ahora hace posible cuantificar dichos efectos (Hufbauer *et al.*, 2004). *La deriva* se refiere a la pérdida de la variación mientras está en la cría, debida al proceso aleatorio conduciendo a la pérdida de algunos alelos. Esto es un problema principalmente cuando el tamaño de la colonia es muy pequeño (<100 individuos). Sin embargo, la *endogamia* y la *selección para la adaptación a las condiciones del laboratorio* son frecuentes, son eventos progresivos de preocupación durante la cría en laboratorio de un enemigo natural. El deterioro genético puede ocurrir cuando los agentes son criados durante algunas generaciones en laboratorio (como es típicamente necesario para el ensayo de la especificidad de hospederos) (Center *et al.*, 2006) (Figura 19-1).

La cría en laboratorio selecciona por la sobrevivencia en un ambiente artificial. La endogamia, aunque en general es indeseable, puede ser usada como una herramienta para evitar tal adaptación. Ya que las aisladas mantenidas como colonias de cría separadas presentan menor diversidad genética, responderán menos a la selección para las condiciones de laboratorio. Pero colectivamente, un grupo de tales colonias todavía preserva toda la diversidad genética de la colonia fundadora original. Un beneficio adicional de muchas líneas de cría separadas es un mejor control de enfermedades porque es probable que la contaminación sea limitada a sólo una parte de la

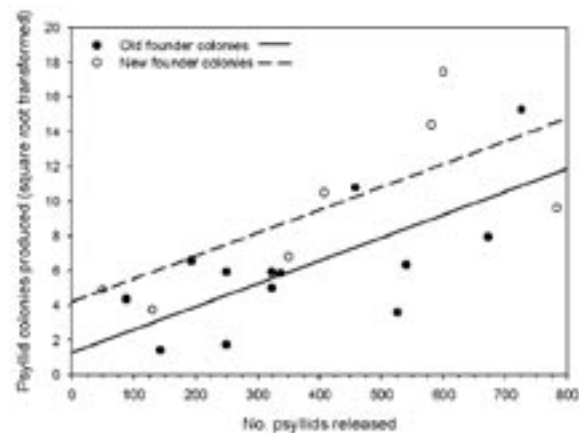


Figura 19-1. La evidencia de alguna pérdida de la calidad genética se ve en las tasas más bajas del crecimiento de población del psílido de la melaleuca (*Boreioglycaspis melaleucae* Moore) después de su liberación en la Florida, si los insectos fueron tomados de una colonia de laboratorio más vieja, en comparación con una colonia establecida recientemente (Según Center *et al.*, 2006: *Biological Control* 39: 363-374.)

colonia. En general, es ventajoso liberar poblaciones en los sitios de campo tan rápidamente como sea posible, pero desafortunadamente, esto es ahora posible en muy pocos casos. Para conservar la diversidad en las crías de laboratorio, las crías deberían ser tan grandes como sea posible y ofrecer un ambiente tan natural como sea posible, incluyendo la necesidad de dispersarse, localización de la pareja y encontrar al hospedero. La selección genética puede continuar después de la liberación, conforme las nuevas poblaciones sean seleccionadas para el ambiente en el país receptor, permitiendo posiblemente un mejor desempeño a través del tiempo (Hopper *et al.*, 1993).

Los individuos sanos son esenciales para el establecimiento exitoso. La cría debe ser mantenida con números óptimos de hospederos para promover la salud del agente de control. Los enemigos naturales deberían ser criados en los estados más preferidos de sus hospederos para asegurar que la descendencia se desarrolle adecuadamente y que no se reduzca su longevidad y fecundidad. A los adultos se les debe ofrecer agua y, para muchas especies, una fuente de carbohidratos como la miel de abeja, antes de la liberación. La cópula antes de la liberación es muy deseable. Las jaulas grandes y la luz natural pueden necesitarse para estimular el cortejo y la cópula en algunas especies de enemigos naturales.

ACONDICIONAMIENTO AL HOSPEDERO

Muchos insectos muestran un incremento en la respuesta a sus hospederos después de un contacto inicial con ellos. Consecuentemente, los individuos usados en las liberaciones deberían tener oportunidades de alimentarse u ovipositar en la plaga. Para muchos organismos esto pasará naturalmente en la cría. Para organismos criados en hospederos alternantes, la exposición al hospedero puede ser arreglada en el laboratorio antes de su liberación. Los entomopatógenos cultivados en medios artificiales pueden perder patogenicidad hacia la plaga, la cual puede ser restablecida si el patógeno es cultivado por una generación en la plaga, inmediatamente antes de la liberación.

PROTECCIÓN DURANTE EL TRANSPORTE AL SITIO DE LIBERACIÓN

Durante el transporte al sitio de liberación, los agentes de control deben ser colocados en recipientes aislados para prevenir el sobrecalentamiento. Si el transporte o envío requiere más de unas pocas horas, también deben tener agua y, posiblemente, alimento. Se debe evitar la baja humedad excesiva durante el envío. Las liberaciones deben tomar lugar, si es posible, temprano en la mañana o en la tarde para evitar extremos de temperatura. Las liberaciones a campo abierto al anochecer pueden inhibir la dispersión de las especies que son voladores fuertes. Los enemigos naturales deben ser liberados hacia las plantas con refugios. Las liberaciones no deben ser hechas inmediatamente después de llover (cuando el follaje está húmedo) o cuando haya amenaza de tormenta.

ELEGIR EL ESTADO DE VIDA USADO EN LA LIBERACIÓN

Algunos estados de vida pueden estar disponibles para la liberación y las ventajas varían según la especie (Van Driesche, 1993). Los adultos pueden atacar inmediatamente a la plaga, pero las especies altamente móviles pueden sobredispersar a su progenie, haciendo

difícil encontrar pareja después de la emergencia. Los estados inmaduros pueden ser un producto abundante, más durable, en algunos programas de cría masiva. Sin embargo, por su limitada movilidad y capacidad de defensa, los estados inmaduros están en riesgo de morir por la depredación o por otras causas, antes de madurar y reproducirse. Para el coccinélido *Chilocorus nigritus* (Fabricius), Hattingh y Samways (1991) encontraron que el éxito del establecimiento fue mayor con las mariquitas adultas, seguido por las larvas más viejas y después las larvas más jóvenes. La liberación de huevos falló en producir el establecimiento de la mariquita.

Para los parasitoides, la liberación de hospederos parasitados, criados en laboratorio, es otra opción. Este enfoque está particularmente disponible para grupos con adultos delicados, tales como los parasitoides de huevecillos; Moorehead y Maltby (1970) describen las liberaciones en campo de los huevecillos parasitados por el mimárido *Anaphes flavipes* (Förster). En algunos casos, puede ser posible coleccionar hospederos parasitados en campo en números suficientes para usarlos en su redistribución en nuevas localidades, como fue el caso de la larva del escarabajo de las hojas de los cereales, *Oulema melanopus* (L.), parasitado por *Tetrastichus julis* (Walker) (Dysart *et al.*, 1973). En otros proyectos, los piojos harinosos, las moscas blancas u otras plagas parasitadas, han sido usados efectivamente para redistribuir enemigos naturales claves. Se debe tener cuidado al evaluar las condiciones de tales colectas, sin embargo, para evitar que individuos enfermos o hiperparasitoides se redistribuyan también. Los parasitoides pueden ser liberados también como colonias en plantas con hospederos parasitados. Esto permite que los enemigos naturales emerjan con el tiempo, proporcionando una continua inoculación de adultos al medio ambiente.

Los patógenos de plantas e insectos pueden ser liberados al dispersar el estado infeccioso sobre un estado susceptible de la plaga. Los ventiladores mecánicos, por ejemplo, fueron usados para aplicar esporas del hongo *Puccinia chondrillina* Bubak & Sydow en plantas de la maleza esqueleto (*Chondrilla juncea* L.) (Watson, 1991). Para insectos, los patógenos sólo han sido usados ocasionalmente como agentes de control biológico clásico. Cuando son empleados, los estados infecciosos pueden ser aplicados directamente si la plaga se presenta como colonias accesibles o, en algunos casos, hospederos infectados pueden ser liberados para llevar el patógeno hacia la población en el campo. El virus *Oryctes* del escarabajo del cocotero *Oryctes rhinoceros* (L.), por ejemplo, fue inoculado en poblaciones de campo del oeste de Samoa para alimentar con soluciones de virus a los escarabajos adultos, los cuales fueron liberados después en el campo. Los escarabajos infectados ponían al virus en contacto con las larvas en los sitios de cría comunales en troncos podridos de palma, donde ocurre la oviposición de muchas hembras (Waterhouse y Norris, 1987).

JAUAS Y OTROS MÉTODOS DE LIBERACIÓN

Los artrópodos pueden ser liberados en jaulas (**Figura 19-2**) o libremente en el ambiente (**Figura 19-3**). Ambos enfoques pueden tener algunas ventajas, dependiendo de los detalles de la biología de los enemigos naturales en particular. Las jaulas tienen la ventaja de evitar la dispersión rápida excesiva de los individuos liberados y de proporcionar protección temporal de los depredadores. La falla para formar una población reproductiva, debido a la sobredis-



Figura 19-2. Uso de jaulas para el establecimiento del díptero *Hydrellia pakistanae* Deonier, agente de control biológico de malezas, liberado en Florida (EU) contra la planta acuática invasora *Hydrilla verticillata* (L. f.) Royle. (Fotografía cortesía de Ted Center, USDA-ARS.)



Figura 19-3. Liberación en forma "libre" del mimárido *Gonatocerus ashmeadi* Girault contra la chicharrita de alas cristalinas *Homalodisca coagulata* Say, en Tahití. (Fotografía cortesía de Julie Grandgirard y Jerome Petit.)

persión es un problema en algunas especies y esto ha sido llamado el *efecto Allee* (Allee *et al.*, 1949; Hopper y Roush, 1993). Ver Taylor & Hastings (2005) para un resumen de literatura sobre cómo influye este proceso en las invasiones biológicas.

Los hospederos dentro de jaulas también proporcionan un punto de muestreo que puede ser evaluado después para saber si los enemigos naturales se reprodujeron. Cuando son usadas las jaulas, deben ser lo suficientemente grandes para encerrar un número grande de hospederos (con respecto al potencial de reproducción de las hembras colocadas en las jaulas). Las jaulas deben ser capaces de resistir el viento, la lluvia, animales inquisitivos u otras condiciones que sean probables de presentarse en el sitio de liberación. Las jaulas usualmente deberían ser removidas unos pocos días después de que los individuos son liberados, para evitar la sobreexplotación de los recursos y para liberar cualquier agente de control sobreviviente. Las jaulas son usadas en la liberación de agentes de control de malezas en una forma muy similar a la de los parasitoides (Briese *et al.*, 1996). Por ejemplo, se usaron jaulas para intentar obtener el establecimiento de *Spodoptera pectinicornis* Hampson (Lepidoptera: Noctuidae), liberado en los Estados Unidos contra la lechuga del agua (*Pistia stratiotes* L.), después de que las liberaciones “libres” habían fracasado, probablemente por la depredación y la dispersión excesiva. También pueden ser utilizadas jaulas muy grandes para establecer insectarios en el campo, de los que los agentes pueden ser obtenidos convenientemente, para su posterior liberación.

Cuando son usadas las liberaciones abiertas, los insectos liberados deben ser colocados donde existan poblaciones adecuadas de la plaga, en un estado susceptible de ataque y cuando las condiciones del clima sean favorables. Si el enemigo natural es un depredador o un herbívoro, capaz de alimentarse sobre la plaga en diversas edades o estados de vida, es menos probable que el tiempo de liberación afecte el éxito. En contraste, para los parasitoides o para los insectos herbívoros como los que se alimentan en las cápsulas de semillas y que atacan sólo ese estado específico de la planta, las liberaciones deben ser realizadas oportunamente y más cuidadosamente para que coincidan con el hospedero o el estado de la planta necesario. En general, el momento adecuado para las liberaciones puede ser asegurado mejor al muestrear directamente la población hospedera, para confirmar la presencia de estados disponibles, lo cual requiere de un entendimiento claro de cuáles estadios son preferidos por el agente de control para ser atacados.

Cuando las liberaciones pueden ser efectuadas en áreas grandes, los sistemas de liberación mecánica pueden ser de utilidad. En áreas con acceso limitado por carretera, pueden usarse avionetas para dejar caer los paquetes de liberación, diseñados para que los enemigos naturales escapen exitosamente después del impacto. *Apoanagyrus* (anteriormente como *Epidinocarsis*) *lopezi* (De Santis), por ejemplo, fue liberado desde avionetas contra el piojo harinoso de la yuca en lugares sin caminos de África tropical, dejando caer recipientes con avispas adultas, las cuales fueron capaces de escapar después de que los recipientes tocaron el suelo (Herren *et al.*, 1987).

PERSISTENCIA Y CONFIRMACIÓN

La colonización de un agente de control puede requerir de repetidos intentos, con variaciones sobre los enfoques usados, antes de que se logre el éxito en el establecimiento. Debe tenerse material biológico para hacer muchas liberaciones repetidas, si es necesario. Debe usarse la

creatividad para explorar los mejores métodos de colonización para las especies disponibles. Después de que ha sido descubierto un método efectivo para el establecimiento de una especie en particular, el establecimiento en otras localidades puede ser logrado al repetir el método ya probado con éxito.

Después de que se han hecho las liberaciones de un enemigo natural, son necesarios los monitoreos para detectar su reproducción, dispersión e impacto. El muestreo puede ser efectuado usando algunos enfoques. Si ningún otro enemigo natural está presente en el sistema, como puede ser el caso para el primer enemigo natural introducido en una población de la plaga, la simple inspección visual en el campo (o la examinación de especímenes criados en el laboratorio a partir de muestras colectadas en los sitios de liberación) puede ser suficiente para confirmar el establecimiento. Los adultos criados de las muestras o directamente en el campo pueden entonces ser comparados con especímenes ya clasificados para confirmar la identificación, con ayuda de un taxónomo experto en el grupo.

Las herramientas moleculares pueden ayudar a confirmar el establecimiento, particularmente si (1) el agente es muy similar a otras especies que se presenten en el mismo hospedero en la región o (2) si las detecciones están basadas en estados inmaduros en diapausa (tal como las larvas de parasitoides) que pudiesen requerir de largos períodos de cría, antes de obtener adultos para la identificación. Las recuperaciones de los braconidos *Peristenus*, liberados contra las chinches *Lygus* en los Estados Unidos, fueron evaluadas con marcadores moleculares para evitar la necesidad de un proceso de cría de diez meses, durante el cual muchos hospederos de la muestra frecuentemente se perdieron por otras causas (Erlandson *et al.*, 2003; Ashfaq *et al.*, 2004).

Una especie recién liberada puede ser considerada tentativamente como establecida si es detectada después de un período de al menos dos años. Sin embargo, la carencia de la detección en este período de tiempo no es evidencia concluyente de fracaso porque, en algunos casos, la primera recuperación de un agente liberado puede ocurrir después de varios años. Sólo después de que los esfuerzos concertados en el establecimiento en todos los ambientes disponibles hayan fallado, puede concluirse que una especie probablemente no se estableció en una región en particular. Se puede aprender mucho al investigar los factores que impiden el establecimiento en el campo para que dichos errores no sean repetidos con otros agentes.