

Control biológico de plagas de papas en Norte América

L. A. Lacey¹, D. R. Horton¹, T. R. Unruh¹, K. Pike², and M. Márquez¹
¹USDA-ARS, Yakima Agricultural Research Laboratory, ²Washington State University

Una extensa variedad de plagas de insectos y ácaros son encontrados en la papa. Los que ofrecen las mayores oportunidades para el control biológico usando el manejo integrado de plagas son el escarabajo de la papa de Colorado, *Leptinotarsa decemlineata*, y el áfido o pulgón verde duraznero, *Myzus persicae*. Enfocaremos nuestra presentación en estas dos especies, pero también daremos ejemplos de algunas otras plagas de insectos cuando sea apropiado. Algo de historia sobre los principios generales del control biológico usando el manejo integrado de plagas será útil para entender los beneficios y el costo del control biológico en la producción de papa.

Introducción a los principios de control biológico

Control biológico es el método de mejorar a propósito las actividades de las especies benéficas para reducir las actividades dañinas de ciertas plagas. Esto representa la base o el punto inicial para el manejo integrado de plagas (IPM, MIP) (Stern et al., 1959). El control biológico toma tres formas en la práctica: clásica, conservadora, y aumentativa. En el **control biológico clásico** los enemigos naturales son hallados en su lugar nativo, importados y establecidos en un área en donde ellos no ocurren naturalmente. Típicamente ésta es un área geográfica donde la plaga ya se ha colonizado y es substancialmente libre de mortalidad causada por enemigos naturales de su lugar nativo. El control biológico provisto por la introducción del enemigo natural resulta en una reducción a largo plazo de la población de la plaga en los habitats elegidos. Típicamente, el control biológico clásico a sido el más exitoso en el sistema agro-económico perenne como en los cultivos de árboles, viñedos, plantas ornamentales, y bosques. Aunque los éxitos de la introducción del control biológico son dramáticos, el futuro es muy difícil de predecir. Casi solo el 30% de las introducciones han permanecido estables, y la exitosa supresión de plagas a ocurrido menos frecuente (Hall y Ehler 1979). La clave para el éxito en casi todos los proyectos de control biológico es el descubrimiento y la importación de enemigos naturales que produzcan altos niveles de parasitismo o depredación en los lugares nativos de la plaga (Hawkins y Cornell, 1994). Otros factores, tales como la adaptación de los enemigos naturales al clima del nuevo lugar, búsquedas adecuadas y habilidades de utilización que les permita descubrir y controlar la plaga cuando todavía la abundancia es poca, aún se piensa que son críticos.

Control biológico conservador es la base real del manejo integrado de plagas (Stern et al., 1959). Su meta es promover la abundancia de enemigos naturales reduciendo influencias dañinas y resaltando las positivas. Esto implica el cambiar un insecticida con amplio espectro por la táctica específica de las especies o por insecticidas con espectro reducido, cambiar el tiempo de aplicación del insecticida para evitar etapas cuando los enemigos naturales son mas expuestos, proveyendo

habitats alternativos para que los enemigos naturales tengan alimentación, un lugar para reproducir o invernarse, provisión de néctar- ya sea por plantas que cubren el suelo o por seleccionar una variedad de plantas que tienen nectarios- como alimento para los enemigos naturales.

Control biológico aumentativo consiste de dos tipos de tácticas: control inoculativo y control inundativo. Cuando las prácticas temporales de agricultura interfieren directamente con los enemigos naturales o con la habilidad de los huéspedes o la población de las presas, la población de los enemigos naturales podrían ser reducidas a tal grado que no podrían alcanzar el incremento requerido por el crecimiento rápido de plagas y prevenir daños por las plagas a los productos antes de la cosecha. El control inoculativo puede ser usado para dirigir estos problemas temporales que son típicos de un sistema anual de cultivos tales como las papas. Los enemigos naturales pueden ser introducidos mas temprano en la temporada de como normalmente ocurre, dándoles tiempo para reproducir y disminuir las plagas antes del ciclo de la cosecha. El control biológico inoculativo es la base para el control de plagas en muchos sistemas de invernaderos (Van Lenteren y Woets, 1988) y ha sido intentado para las papas, como se describe mas abajo.

Los enfoques inundativos son diferentes de las estrategias clásicas e inoculativas, por lo que la actividad de la liberación de enemigos naturales--y no de sus descendientes--son los agentes activos de control. Típicamente, liberaciones a gran escala de enemigos naturales son hechas y repetidas muchas veces durante el ciclo de la cosecha.

¿Entonces, dónde queda el usar insectos para control biológico en el manejo de la papa? Un resumen de las especies de insectos benéficos mas notable y patógenos que atacan al escarabajo de la papa de Colorado y el áfido verde duraznero se provee a continuación para dar una idea clara sobre este tema.

Depredadores y parásitos del escarabajo de la papa de Colorado

Un número de especies de artrópodos atacan los huevecillos, las larvas, o los adultos de los escarabajos de la papa de Colorado, y se infiere que los enemigos naturales proveen algún nivel de control biológico para el escarabajo (Hough-Goldstein et al., 1993; Hilbeck y Kennedy, 1996). En esta sección, analizaremos esta especie, resumiremos el consenso actual de su importancia, y proveeremos algunas ideas en donde investigaciones futuras puedan ser dirigidas para mejorar su eficacia.

Heteróptero- insectos depredadores

Dos especies de Pentatomidae son conocidos como depredadores efectivos del escarabajo de la papa de Colorado: la chinche soldado, *Podisus maculiventris*; y la chinche apestosa de dos manchas, *Perillus bioculatus*. Una tercera especie, *Opolomus dichrous*, a sido estudiada también, pero parece que no se ha adaptado a las regiones más templadas de cultivo de la papa (Ferro 1994).

De las tres especies, *P. bioculatus* se tienen mas estudios. Este depredador se alimenta en todas las etapas del escarabajo, aunque el alimentarse de adultos

parece no ser muy común y probablemente esta restringido por el depredador adulto. Un sólo insecto puede consumir hasta 300 huevecillos del escarabajo durante su desarrollo (Tamaki y Butt, 1978). La ninfa del depredador en segundo instar consume aproximadamente 5 escarabajos recién nacidos por día, o casi 30 larvas por ninfa durante ese instar.

La densidad natural actual de este depredador aparenta ser muy baja para mantener el nivel del escarabajo debajo del nivel de daño económico, aunque considerable atención ha sido puesta en usar una liberación inundativa. El depredador ha sido criado en un criadero de insectos en grandes cantidades, y se han llevado acabo estudios usando insectos de criaderos para determinar el impacto en el escarabajo de la papa de Colorado bajo condiciones a campo. Liberaciones de *P. bioculatus* en una proporción de 1 por planta causaron reducciones en la densidad de los escarabajos por casi el 30% mientras liberaciones de 3 por planta redujeron los números del escarabajo a casi el 60% (Biever y Chauvin, 1992). Combinando las liberaciones de *P. bioculatus* con un patógeno microbiano se puede proveer mejor control del escarabajo que ningún otro organismo por si solo (Poprawski et al., 1997; Cloutier y Jean, 1998). Los intentos por establecer a *Perillus* como un agente de control biológico clásico en Europa han resultado no ser exitosos (Jermy, 1980).

No es probable que estos depredadores puedan ser criados económicamente para ser usados en liberaciones inundativas bajo condiciones comerciales, (Ferro, 1994). No obstante, a pesar de considerables investigaciones, aún no queda claro cual es el tiempo para las liberaciones o proporción que es mas eficaz para el control del escarabajo. Investigaciones más basicas sobre la biología de esta especie fuera de los campos de papa son justificadas para que nosotros tengamos oportunidades para modificar habitats cerca de los campos de papa para enriquecer la abundancia de *Perillus*. Finalmente, más investigaciones son necesarias acerca de la compatibilidad de estos depredadores con otros productos de control, ambos biológicos y químicos.

Coleópteros

Las catarinas (Coccinellidae) pueden ser comunes en los campos de papa, particularmente si hay áfidos presentes. Algunas especies pueden alimentarse extensamente de huevecillos de escarabajo de la papa de Colorado, una de las más notables es la *Coleomegilla maculata*, un depredador común en los campos de papa en el este de Estados Unidos. Esta especie llega a altas densidades en la parte tardía de la temporada del maíz. Se mueve hacia sitios invernantes sobre maíz y a la siguiente primavera se puede pasar a campos vecinos de papa (Ferro, 1994). Experimentos llevados acabo en laboratorios indican que un solo adulto de *C. maculata* consume más de 10 huevecillos de escarabajo de la papa de Colorado por día, pero la proporción de consumo, disminuye cuando los áfidos están presente en el cultivo. Estudios hechos por Hazzard et al., (1991) indican que la depredación de huevecillos en los cultivos de papa en Massachusetts varía entre 40 y 58%, en el cual la mayoría fue atribuida a la actividad de *C. maculata*. No hay experimentos significantes sobre la liberación inundativa de *C. maculata*

para la supresión del escarabajo de la papa de Colorado que hayan sido publicados.

Escarabajos de suelo o gallinas ciegas (Carabidae) son depredadores muy comunes en los campos de papa no fumigados, pero su impacto sobre el escarabajo de la papa de Colorado, no es mayormente conocido. Esto es en parte porque en casi todos los campos de papa que han sido examinados, un complejo de especies de carábidos es encontrado y su actividad alimenticia es oculta o nocturna. Estudios en laboratorios han demostrado que el número de diferentes especies de escarabajo de suelo se alimentan del escarabajo de la papa de Colorado, en ambos experimentos escogidos y no escogidos (Ferro, 1994). Una especie, *Lebia grandis*, ha probado que se alimenta de huevecillos de escarabajo de la papa de Colorado, consumiendo hasta 45 huevecillos por día por depredador. La larva de este depredador son ectoparásitos del estado precrisalidar del escarabajo de la papa (Grodén, citado en Ferro, 1994). Sorokin (1981), Boiteau (1983) y otros han provisto más información referente a la actividad depredadora de los carábidos en el escarabajo de la papa de Colorado.

Los carábidos se reproducen muy despacio y son difíciles de criar para que puedan ser considerados en formas aumentativas de control biológico. Aún así, recientes experimentos de conservación -que usan paja para cubrir el suelo en parcelas de papa- han demostrado que el número de instar intermedios en la primera generación de escarabajo de la papa de Colorado (mediados de Mayo a mediados de Junio) pueden ser significativamente reducidos por la depredación de los carábidos (Burst, 1994). En el mismo estudio, la depredación de huevecillos y de larva joven de la segunda generación del escarabajo (fines de Junio hasta Julio) aumentó con la paja cuando *Coleomagilla*, crisopas, y *Perillus* fueron los depredadores que fueron encontrados más abundantes en las plantas de papa. Juntos, la actividad de estos depredadores, redujo el daño a la papa y aumentó el rendimiento en 30% o más. La paja provee un abrigo seguro para los depredadores, aumenta la biodiversidad en la capa de paja, y es más probable que puedan proveer efectos benéficos para los patógenos del insecto en el suelo, microbios que promueven el crecimiento de las plantas, y mejora la humedad del suelo.

Parasitoides

Myopharus doryphorae es un parasitoide de la larva del escarabajo de la papa de Colorado. La mosca adulta inyecta orugas dentro del cuerpo de las larvas del escarabajo. El parasitismo de la mosca típicamente no se forma hasta más tarde en la temporada y la segunda generación de los escarabajos usualmente sufren más altos niveles de parasitismo que la primera generación (Tamaki et al., 1983). Aunque la efectividad de este parásito en controlar al escarabajo bajo situaciones comerciales sea baja, aun así, el nivel de parasitismo se ha notado cerca del 70% en ambos la papa y en otras plantas silvestres adjuntas (*Solanum saccharoides*) en la primavera en Colorado (Horton y Capinera, 1987). No se han hecho esfuerzos significantes para modificar el hábitat alrededor de la papa para proteger huéspedes alternativos del escarabajo, y de este modo *M. doryphorae* se ha intentado.

Edovum puttleri es un parásito Eulofido de los huevecillos del escarabajo de la papa de Colorado. Fue primeramente encontrado en Colombia atacando a un pariente cercano del escarabajo de la papa de Colorado y subsecuentemente fue encontrado atacando al escarabajo de la papa de Colorado en México (Logan et al., 1987). Los intentos para establecer esta especie como un agente de control biológico del escarabajo fallaron porque la avispa no tiene diapausa que le permita pasar el invierno en las áreas de producción del noroeste. Las liberaciones aumentativas de *Edovum* fueron experimentadas abundantemente en la última década. En un estudio, la liberación, al principio de la temporada, de *E. puttleri* causó el 50% de parasitismo de huevecillos del escarabajo. Su eficacia es subestimada por el nivel de parasitismo sólo, porque matando los huevecillos por penetración sin parasitismo, puede a veces exceder el nivel de parasitismo (Lashbomb et al., 1987). Finalmente, *Edovum* es conocido porque depende de la secreción dulce del áfido como fuente de energía, pero los áfidos típicamente no son muy abundantes en la papa hasta Julio. Estudios adicionales de *Edovum*, particularmente en las áreas de producción de papa en el oeste están justificados.

Especies de depredadores varios

Las especies de Neurópteros (crisopas), Himenópteros (avispa véspide), Nabidae (chinche damisela), Lygaeidae (chinche ojona), Reduviidae (chinche asesina), y Araneae (arañas) han sido reportadas que se alimentan de los huevecillos, las larvas o los adultos de escarabajo de la papa de Colorado. En general, su impacto sobre el escarabajo bajo las condiciones comerciales no es conocida pero en estudios recientes usando jaulas de exclusión para depredadores se demuestra que la sobrevivencia de los huevecillos aumentó 3 veces más si los depredadores son excluidos (Hilbeck et al., 1997). Lo importante en ese estudio fue demostrar que la actividad depredadora fue independiente de la densidad del escarabajo. De esta manera el uso de tácticas no disruptivas que disminuyen la población del escarabajo son completamente compatibles con la actividad de la comunidad general de depredadores. Estudios para fomentar depredadores como un complejo más grande de diferentes especies, tales como através del uso de paja ya mencionada antes, son justificados en las áreas de producción del oeste.

Áfido verde duraznero

Van Emden et al. (1969) resumieron de la literatura sobre el áfido verde duraznero y reportaron que hay 150 especies diferentes de insectos conocidos que se alimentan de esta plaga, de las cuales una tercera parte (51 de 150) son miembros de los Coccinellidae. La otra taxa dominante incluye la de las moscas ensimosas (Syrphidae; 49 de 150) y crisopas (Neurópteros; 25 de 150). La lista de van Emden es anticuada, y ciertamente registros más recientes están ahora disponibles.

Numerosos estudios en diferentes cultivos que han demostrado que los enemigos naturales de la clase de artrópodos suprimen al áfido verde del durazno, y no es posible resumir esos estudios aquí en su totalidad. Estudios de laboratorio han comparado los niveles de alimentación de diferentes especies de depredadores,

para proveer información sobre cual taxa pudiera ser la más eficiente en el campo. Por ejemplo, Tamaki y Olsen (1997) demostraron una diferencia de 10 veces más en el nivel de consumo diario de cierta catarina (53 áfidos consumidos por día) comparado a ciertos insectos depredadores (chinche pirata; 5 áfidos consumidos por día). Tamaki (1984) considera que la catarina podría ser de particular importancia al reducir el áfido verde duraznero en papas. Tomar el tiempo de infestación del áfido, el tiempo de infestación del depredador, y las densidades de las plagas inmigrantes y depredadores son factores críticos en determinar si los enemigos naturales reducen exitosamente las plagas de la papa.

Una extensa diversidad de los Himenópteros parasíticos, más notablemente en las familias Braconidae (Aphidiinae) y Aphelinidae, parasitan áfidos. Pike et al. (2000) reportan algunas especies de parásitos del áfido verde duraznero en el noroeste de los Estados Unidos del genero aphidiine *Aphidius*, *Diaeretiella*, *Ephedrus*, *Lysiphlebus* y *Praon*. Dos avispas del Viejo Mundo, *Aphidius colemani* y *A. matricariae*, que atacan el áfido verde duraznero están ahora establecidas en las áreas de producción de papa del estado de Washington. *A. matricariae* aparenta tener una alta preferencia por el áfido verde duraznero, y rápidamente se esta haciendo común en los campos de colección de áfidos verdes del durazno. La mayoría de los principales insecticidas usados en la papa en el pasado, han tenido un impacto adverso sobre los insectos benéficos, incluyendo los Himenópteros parasíticos. En el futuro, cuando más material selectivo tales como Success® y Fulfill® lleguen a ser un producto de uso primario, la sobrevivencia del parásito y depredador y su presencia en las papas, incrementarán. Un parásito adicional del Viejo Mundo, *Praon gallicum*, descubierto atacando el áfido verde duraznero en el año pasado en el oeste de Washington, se encuentra en los cultivos en WSU-Prosser, y será producido en grandes cantidades a principios de este año y subsecuentemente liberados contra del áfido verde duraznero en el este de Washington. Estas nuevas liberaciones de esta especie están mejorando y continuarán para mejorar el grupo ya existente de insectos benéficos, e impactarán las poblaciones del áfido verde duraznero no sólo en papas, sino también en malezas herbáceas. Estos parásitos no eliminarán al áfido, pero se esperan puedan jugar un rol más importante en el futuro mientras que químicos más suaves entren en más amplio uso.

Los parasitoides del áfido son rápidamente producidos en grandes cantidades, pero su potencial para liberaciones aumentativas a principios de la temporada antes que los áfidos sean muy numerosos, aún no se ha estudiado adecuadamente. El cultivo de plantas silvestres que alojan a los áfidos de principio de temporada que servirían como huéspedes alternativos o "especie de puente" para mejorar los parasitoides de temporada temprana, tampoco han sido estudiados sistemáticamente.

El mayor problema en confiar en el control biológico para manejar el áfido verde duraznero en la papa es que el mayor daño causado por el áfido es su capacidad de transmitir virus. Hay muy poca evidencia que los áfidos sean lo suficientemente abundantes para causar reducción en la producción o daños

directos a la papa ya cultivada. Por esto, solo densidades extremadamente bajas son toleradas en campos comerciales de papa, particularmente en Julio cuando los áfidos vuelan de una planta huésped a la papa. De esta manera, aunque los enemigos naturales fueran altamente eficientes para mantener el áfido en densidades bajas, los números podrían ser altos y causar daños económicos por la transmisión de patógenos virales. Estudios serios de depredadores y parasitoides para el control biológico del áfido verde del durazno en campos comerciales no ocurrirán hasta que el problema del virus sea resuelto. Trabajo actual para mejorar o diseñar papas resistentes al virus es muy prometedor.

Patógenos de las plagas de la papa

Numerosos organismos patógenos han sido descubiertos con capacidad de control biológico contra las plagas de insectos, incluyendo esos que atacan la papa (Burges, 1981; Tanada y Kaya, 1993; Proprawski y Wraight, 2000). Nosotros nos enfocaremos en los que tienen mayor capacidad para control microbiano.

Algunos patógenos de insectos tienen numerosas ventajas sobre los pesticidas químicos convencionales (Tanada y Kaya, 1993; Kaya y Lacey, 2000). Estos incluyen:

- Especificidad para los organismos objetivo o a un número limitado de especies huésped,
- poco o ningún impacto directo sobre parásitos y depredadores invertebrados,
- no dañino a vegetales y plantas,
- no residuos tóxicos,
- poca o ninguna contaminación de medio ambiental,
- poco o no desarrollo de resistencia por el organismo clave,
- no hay brote secundario de la plaga,
- compatibilidad con otros agentes de control biológico,
- posibilidad de control a largo término,
- aplicación fácil
- adaptable a la modificación genética de la biotecnología

A pesar de las ventajas de los pesticidas que son muchas, algunos también tienen sus desventajas. En adición a esto, los pesticidas microbianos tienen otras desventajas comparadas a los pesticidas químicos.

Estas incluyen:

- específico para sólo el organismo objeto,
- tiempo estricto de aplicación para máximo efecto,
- período largo para infección letal (Ej., poco o no efecto total),
- inactivación por factores ambientales (Ej., luz ultravioleta, desecación, temperaturas extremas, etc.) y por esto, poca persistencia en el campo,
- costosos de producir, especialmente para patógenos obligatorios, y difíciles de formular,
- corta vida,

- Posibilidad de desarrollar resistencia por el organismo objeto, especialmente de las toxinas bacterianas
- No económicos excepto para mercados únicos y,
- riesgos asociados con organismos genéticamente modificados.

Bacteria para el control del escarabajo de papa

El descubrimiento y desarrollo de *Bacillus thuringiensis var tenebrionis* en Alemania (Langenbruch et al., 1985) con actividad contra ciertos escarabajos en la familia Chrysomelidae ha resultado en un control selectivo y efectivo para el control del escarabajo de la papa. Otras razas con actividad en contra del escarabajo han sido descubiertas y desarrollado por Baum et al. (1996) y otros. La actividad larvicida de la bacteria es debida al cristal parasporal que es producido por la bacteria al momento de esporulación. Toxinas proteínicas en el cristal parasporal, conocidas como delta endotoxinas, deben ser ingeridas para ser activadas. Después de ser comidas, el cristal es disuelto en el medio alcalino del intestino medio y enzimáticamente activado. La parte molecular de la toxina que es responsable por la actividad larvicida, se adhiere a sitios específicos en la membrana del intestino medio y rompen el equilibrio osmótico del epitelio medio intestinal. Las células se hinchan y por ultimo se rompen permitiendo que los contenidos del intestino medio entre a la cavidad del cuerpo. Los insectos mueren poco después. Dosis subletales resultan en menos consumo de follaje y reducida sobrevivencia, en desarrollo tardío y emergencia tardía (Nault et al., 2000), en longevidad reducida y fecundidad en adultos que fueron expuestos como larvas (Costa et al., 2000).

Un número de factores influyeron en la actividad larvicida de *Bt*, tales como la edad de la larva objetivo, temperatura, la dosis del *Bt* y la cobertura de las plantas, el horario, el número de aplicaciones y la inactivación por la luz del sol. Larvas más jóvenes son mas susceptibles (Zehnder y Gelernter, 1989). Aunque los adultos no son susceptibles, tal vez sean repelidos por plantas tratadas con *Bt* (Ghidui et al., 1996).

Formulaciones de *Bt* activas para escarabajos, han sido producidas y vendidas por algunas compañías para el control del escarabajo de la papa. Los resultados de los experimentos de campo en Norte América han sido reportados por Ferro y Gelernter (1989), Zehnder y Gelernter, (1989), Ferro y Lyon (1991), Zehnder et al. (1992), Ghidui y Zehnder (1993) y Lacey et al(1999) y otros investigadores. El control de insectos comparable a aquellos de ciertos pesticidas químicos es posible usando la proporción indicada en la etiqueta especialmente cuando la aplicación es hecha cuando la mayoría de la primera generación está entre el primero o segundo instar. Investigaciones conducidas en el estado de Washington sobre el producto Raven que contiene una fase diseñada ha revelado que la excelente protección del follaje de la papa fue obtenida con las dosis recomendada de la etiqueta (1.2 a 7.0 litros / ha) aplicado cinco veces por temporada en intervalos de semanas, resultando en un buen rendimiento de papa(33-40 toneladas/ha) (Lacey et al. 1999).

Las diferentes ventajas de las formulaciones de *Bt* sobre los pesticidas químicos convencionales son la seguridad para los aplicadores y trabajadores de campo y falta de actividad en los organismos benéficos incluyendo enemigos naturales. En el desierto irrigado del estado de Washington, la biodiversidad de los insectos no fue afectado en las parcelas tratadas. Sin embargo en las plantaciones fumigadas con Temik, ciertos depredadores hemípteros casi fueron eliminados (Lacey et al., 1999).

Hongos para el control del escarabajo de la papa y el áfido verde duraznero

Los hongos patógenos son importantes enemigos naturales para una gran mayoría de plagas como insectos y ácaros en virtualmente cada agro ecosistema (Goettel et al., 2000). Las plagas de la papa que han sido estudiadas para conocer el potencial de los hongos como enemigos naturales y agentes de control microbiano son el áfido verde duraznero y el escarabajo de la papa de Colorado. También se han reportado hongos de doradillo, saltahojas, y otras plagas de la papa, pero su potencial como agente de control microbiano ha recibido una atención limitada.

El hongo, *Beauveria bassiana* ha sido producido por varias compañías y comercializado para el control del escarabajo de la papa y algunos otros insectos (Feng et al. 1994). Los resultados de los experimentos en el campo han sido altamente variables, desde niveles de control no aceptables (Fargues et al., 1980; Hajek et al. 1987) hasta control efectivo (Hajek et al., 1987; Poprowski et al., 1997). Los factores que afectan su actividad larvicida incluyen: temperatura, humedad, edad y fase de los insectos, el tiempo y el número de aplicaciones, dosis, prácticas agrícolas, y la desactivación por la luz del sol (Fargues, 1972; Fargues et al., 1996). El hongo invade el cuerpo del insecto, usualmente por la cutícula. Después de invadir al huésped, el hongo crece por todo el cuerpo y bajo condiciones adecuadas las esporas saldrán a la superficie del cadáver del huésped. Esto puede tomar lugar en la planta huésped o en el suelo antes de o durante la etapa de crisalidar. Otro beneficio al usar *B. bassiana* es que los adultos que invernan en el suelo pueden ser infectados. La producción de un inóculo secundario en el insecto huésped puede contribuir al crecimiento de mortalidad del escarabajo en ambos la planta huésped y en el suelo. En adición de matar a la larva, el hongo ha sido reportado en retrasar el apetito de los escarabajos que han recibido una infección subletal (Fargues et al., 1994).

Patógenos de hongos para áfidos

Los hongos son los únicos patógenos de insectos usados actualmente para el control de áfidos (Hall, 1981; Latgé y Papierok, 1988). Puesto que los áfidos, para obtener su comida usan las partes de la boca para penetrar las plantas y chupar, los patógenos que deben ser ingeridos, tales como bacterias y virus, no son efectivos. Algunos hongos en la clase de Entomoftorales son importantes patógenos para los áfidos, incluyendo especies económicamente importantes para la papa (Latgé y Papierok, 1988). Estos hongos tienen un ciclo de vida más complicado que esos en la clase de Hyphomycetes y, bajo condiciones de alta humedad, a veces son responsables por epizootias y la reducción total de la población de áfidos. Aunque estos causen una caída dramática en la población de

áfidos, la confianza en las epizootias naturales en casi todos los agro-ecosistemas es riesgosa. Poca densidad del áfido verde duraznero puede ser perjudicial para la papa por la transmisión del virus del enrollamiento de la hoja de la papa y otros patógenos de plantas. En la ausencia de la transmisión de la enfermedad, epizootias pueden proveer beneficios reduciendo severamente el número de áfidos bajo el umbral económico (Steinkraus, 2000). Es importante notar que algunas prácticas agrícolas pueden interferir con el hongo y otros enemigos naturales de las plagas de papa. Langnaoui y Radcliffe (1998) reportaron que ciertos fungicidas usados para el control de enfermedades de planta en papa podrían interferir con la infección del áfido verde duraznero.

Una especie de hongo de buena a excelente actividad hacia el áfido verde duraznero en un ambiente húmedo es *Verticillium lecanii* (Hall, 1981; Burges, 2000). Sin embargo, el uso de *V. lecanii* y otros Hyphomycetes para el control del áfido en papa aún no ha sido investigado en detalle. En el desierto irrigado del noroeste la humedad tal vez no es suficientemente alta para facilitar la germinación rápida e infección.

Virus

La mayoría de los patógenos virales usados en control microbiano son los báculovirus aplicados contra los Lepidópteros. Algunas especies de Lepidópteros han sido reportados como deshojadores de papa, pero su importancia es variable y eclipsada por el escarabajo de la papa de Colorado. La plaga Lepidoptera más seria en la papa en las Américas es la polilla de la papa, *Phthorimaea operculella* (Gelechiidae). Las larvas pueden minar el follaje y atacar el tubérculo en el suelo o almacén donde puede hacer un túnel a través de la pulpa de la papa. En adición de causar daño directo, ellos facilitan la entrada y los daños de plagas y enfermedades secundarias. Sólo un virus es actualmente usado en contra de las plagas de insectos de papa en las Américas. Programas pilotos que aplican el granulovirus de la polilla de la papa, han tenido notable éxito en Sud América y son, económicamente más seguro y más sostenible que otras alternativas químicas. Casi toda la producción de virus de polilla de la papa es en escala pequeña.

Integración del Control Biológico al Manejo Integrado de Plagas

La agricultura sustentable en el siglo 21 dependerá en intervenciones alternativas a los pesticidas químicos para el manejo de plagas que son ambientalmente amigables y reducen la cantidad de contacto humano con los pesticidas. La estrategia del manejo integrado de plagas (IPM, MIP), en la cuál los enemigos naturales (parásitos, depredadores y patógenos) de artrópodos plaga y otras medidas alternativas juegan roles significativos en la protección de cultivos (Hoy y Herzog, 1985), puede contribuir a un verdadero planteo integrado para el manejo de plagas en la producción de papas (Boiteau et al., 1995; Cloutier et al., 1995). Aún así, un verdadero planteo integrado en todas las prácticas agrícolas serán requeridas para obtener una máxima efectividad en una intervención o práctica sin interferir con la eficacia de otras prácticas.

Bibliografia

- Baum, J. A., M. Kakefuda and C. Gawron-Burke. 1996. Engineering *Bacillus thuringiensis* bioinsecticides with an indigenous site-specific recombination system. *Appl. Environ. Microbiol.* 62: 4367-4373.
- Biever, K. D. and R. L. Chauvin. 1992. Suppression of the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) with augmentative release of predaceous stinkbugs (Hemiptera: Pentatomidae). *J. Econ. Entomol.* 85: 720-726.
- Boiteau, G. 1983. Activity and distribution of Carabidae, Arachnida, and Staphylinidae in New Brunswick potato fields. *Can. Entomol.* 115: 1023-1030.
- Boiteau, G., R.-M. Duchesne and D. N. Ferro. 1995. Use and significance of traditional and alternative insect control technologies for potato protection in a sustainable approach. In: R.-M. Duchesne and G. Boiteau (eds), *Symposium 1995, Lutte aux Insectes Nuisibles de la Pomme de Terre. Proceedings of a Symposium held in Quebec City. Ministere de l'Agriculture, des Pecheries et de l'Alimentation du Quebec, Sainte-Foy.* pp. 169-188.
- Brust, G. E. 1994. Natural enemies in straw-mulch reduce Colorado potato beetle populations and damage in potato. *Biol. Contr.* 4: 163-169.
- Burges, H. D. (ed.). 1981. *Microbial Control of Pests and Plant Diseases 1970-1980.*, Academic Press, London, 949 pp.
- Burges, H. D. 2000. Techniques for testing microbials for control of arthropod pests in greenhouses. In: L. A. Lacey and H. K. Kaya (eds.). "Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology: Application and evaluation of pathogens for control of insects and other invertebrate pests." Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 505-526.
- Cloutier, C. and C. Jean. 1998. Synergism between natural enemies and biopesticides: a test case using the stinkbug *Perillus bioculatus* (Hemiptera: Pentatomidae) and *Bacillus thuringiensis tenebrionis* against Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *J. Econ. Entomol.* 91: 1096-1108.
- Cloutier, C., C. Jean, F. Baudin and U. Laval. 1995. More biological control for a sustainable potato pest management strategy. In: R.-M. Duchesne and G. Boiteau (eds), *Symposium 1995, Lutte aux Insectes Nuisibles de la Pomme de Terre. Proceedings of a Symposium held in Quebec City. Ministere de l'Agriculture, des Pecheries et de l'Alimentation du Quebec, Sainte-Foy.* pp. 15-52.
- Costa, S. D., M. E. Barbercheck, and G. G. Kennedy. 2000. Sublethal acute and chronic exposure of Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) to the delta-toxin of *Bacillus thuringiensis*. *J. Econ. Entomol.* 93: 680-689.
- Edwards, C. A. 1990. The importance of integration in sustainable agricultural systems. In: *Sustainable Agricultural Systems*, (C. A. Edwards, R. Lal, P. Madden, R. H. Miller and G. House, eds.), St. Lucie Press, Delray Beach, 249-264.

- Fargues, J. 1972. Etude des conditions d'infection des larves de doryphore, *Leptinotarsa decemlineata* Say, par *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. [Fungi Imperfecti]. Entomophaga 17: 319-337.
- Fargues, J., J. P. Cugier and P. Van de Weghe. 1980. Experimentation en parcelles du champignon *Beauveria bassiana* (Hyphomycete) contre *Leptinotarsa decemlineata* (Col., Chrysomelidae). Acta Oecologica, Oecol. Appl. 1: 49-61.
- Fargues, J., J. C. Delmas and R. A. Lebrun. 1994. Leaf consumption by larvae of the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) infected with the entomopathogen, *Beauveria bassiana*. J. Econ. Entomol. 87: 67-71.
- Fargues, J., M. S. Goettel, N. Smits, A. Ouedraogo, C. Vidal, L. A. Lacey, C. J. Lomer and M. Rougier. 1996. Variability in susceptibility to simulated sunlight of conidia among isolates of entomopathogenic Hyphomycetes. Mycopathologia 135: 171-181.
- Feng, M. G., T. J. Poprawski, and G. G. Khachatourians. 1994. Production, formulation and application of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* for insect control: current status. Biocontr. Sci. Technol. 4, 3-34.
- Ferro, D. N. 1994. Biological control of the Colorado potato beetle. In: G. W. Zehnder, M. L. Powelson, R. K. Jansson and K. V. Raman (eds), Advances in Potato Pest Biology and Management. APS Press, St. Paul, pp. 357-375.
- Ferro, D. N. and W. D. Gelernter. 1989. Toxicity of a new strain of *Bacillus thuringiensis* to Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). J. Econ. Entomol. 82: 750-755.
- Ferro, D. N. and S. M. Lyon. 1991. Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) larval mortality: operative effects of *Bacillus thuringiensis* subsp. *san diego*. J. Econ. Entomol. 84: 806-809.
- Ferro, D. N., Q. C. Yuan, A. Slocombe and A. F. Tuttle. 1993. Residual activity of insecticides under field conditions for controlling the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). J. Econ. Entomol. 90: 574-582.
- Ghidiu, G. M. and G. W. Zehnder. 1993. Timing of the initial spray application of *Bacillus thuringiensis* for control of the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) in potatoes. Biol. Contr. 3: 348-352.
- Ghidiu, G. M., D. E. Collins, and G. W. Kirfman. 1996. Laboratory and field studies of *Bacillus thuringiensis* subsp. *tenebrionis* as a feeding deterrent to Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelide). J. Agri. Entomol. 13: 349-357.
- Goettel, M. S. and G. D. Inglis. 1997. Fungi: Hyphomycetes. In: L. A. Lacey (ed), Manual of Techniques in Insect Pathology Academic Press, London, UK, pp. 213-249.
- Goettel, M. S., G. D. Inglis, and S. P. Wraight. 2000. Fungi. In: L. A. Lacey and H. K. Kaya (eds.). "Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology: Application and evaluation of pathogens for control of insects and other invertebrate pests." Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 255-282.
- Hajek, A. E., R. S. Soper, D. W. Roberts, T. E. Anderson, K. D. Biever, D. N. Ferro, R. A. LeBrun and R. H. Storch. 1987. Foliar applications of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin for control of the Colorado

- potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* (Say) (Coleoptera: Chrysomelidae): An overview of pilot test results from the northern United States. *Can. Entomol.* 119: 959-974.
- Hall, R. A. 1981. The fungus *Verticillium lecanii* as a microbial insecticide against aphids and scales. *In: Microbial Control of Pests and Plant Diseases 1970-1980* (H. D. Burges, Ed.), pp. 483-498. Academic Press, London
- Hawkins, B. A. and Cornell, H. V. 1994. Maximum parasitism rates and successful biological control. *Science* 266: 1886.
- Hazzard, R. V., D. N. Ferro, R. G. Van Driesche and A. F. Tuttle. 1991. Mortality of eggs of Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) predation by *Coleomegilla maculata* (Coleoptera: Coccinellidae). *Environ. Entomol.* 20: 841-848.
- Hilbeck, A. and G. G. Kennedy. 1996. Predators feeding on the Colorado potato beetle in insecticide-free plots and insecticide-treated commercial potato fields in Eastern North Carolina. *Biol. Contr.* 6: 273-282.
- Hilbeck, A. Eckel, C. and G. G. Kennedy. 1997. Predation on Colorado potato beetle eggs in research and commercial potato plantings. *Biol. Contr.* 8: 191-196.
- Horton, D. and J. L. Capinera. 1987. Seasonal and host plant effects on parasitism of the Colorado potato beetle by *Myiopharus doryphorae* (Riley) (Diptera: Tachinidae). *Can. Entomol.* 119:729-734.
- Hough-Goldstein, J., G. E. Heimpel, H. E. Bechmann and C. E. Mason. 1993. Arthropod natural enemies of the Colorado potato beetle. *Crop Protec.* 12: 324-334.
- Hough-Goldstein, J. and C. B. Keil. 1991. Prospects for integrated control of the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) using *Perillus bioculatus* (Hemiptera: Pentatomidae) and various pesticides. *J. Econ. Entomol.* 84: 1645-1651.
- Hoy, M. A. and D. C. Herzog. 1985. *Biological Control in Agricultural IPM Systems*. Academic Press. New York. 589 pp.
- Jermey, T. 1980. The introduction of *Perillus bioculatus* into Europe to control the Colorado potato beetle. *Bull. Org. Eur. Med. Protec. Plant.* 10: 475-479.
- Kaya, H. K. and L. A. Lacey. 2000. Introduction to microbial control. *In "Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology: Application and evaluation of pathogens for control of insects and other invertebrate pests"* (L.A. Lacey and H. K. Kaya, eds.), pp. 1-4. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Lacey, L. A., D. R. Horton, R. L. Chauvin and J. M. Stocker. 1999. Comparative efficacy of *Beauveria bassiana*, *Bacillus thuringiensis*, and aldicarb for control of Colorado potato beetle in an irrigated desert agroecosystem and their effects on biodiversity. *Entomol. Exp. Applic.* 93: 189-200.
- Langenbruch, G. A., A., Krieg, A. M., Huger and W. Schnetter. 1985. Erst Feldversuche zur Bekämpfung der Larven des Kartoffelkäfers (*Leptinotarsa decemlineata*) mit *Bacillus thuringiensis* var. *tenebrionis*.

- Mededelingen Faculteit Landbouwkunde, Rijksuniversiteit Gent 50: 441-449.
- Langnaoui, A. and E. B. Radcliffe. 1998. Potato fungicides interfere with entomopathogenic fungi impacting population dynamics of green peach aphid. *Amer. J. Potato Res.* 75: 19-25.
- Latgé, J. P. and B. Papierok. 1988. Aphid pathogens. In "Aphids Their Biology, Natural Enemies and Control, Vol. B." (A. K. Minks and P. Harrewijn, eds.), pp. 323-335. Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam.
- Nault, B. A., S. D. Costa, and G. G. Kennedy. 2000. Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) feeding, development, and survival to adulthood after continuous exposure to *Bacillus thuringiensis* subsp. *tenebrionis*-treated potato foliage from the field. *J. Econ. Entomol.* 93: 149-156.
- Pike, K. S., P. Stary, T. Miller, G. Graf, D. Allison, L. Boydston and R. Miller. 2000. Aphid parasitoids (Hymenoptera: Braconidae: Aphidiinae) of Northwest USA. *Proc. Entomol. Soc. Wash.* 102: 688-740.
- Poprawski, T. J., R. I. Carruthers, J. Speese III, D. C. Vacek and L. E. Wendel. 1997. Early-season applications of the fungus *Beauveria bassiana* and introduction of the Hemipteran predator *Perillus bioculatus* for control of Colorado potato beetle. *Biol. Contr.* 10: 48-57.
- Poprawski, T. J. and S. P. Wraight. 2000. Application and evaluation of entomopathogens in vegetable row crops: potatoes. In: L. A. Lacey and H. K. Kaya (eds.). "Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology: Application and evaluation of pathogens for control of insects and other invertebrate pests." Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp.371-388.
- Sorokin, N.S. 1981. Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) as natural enemies of the Colorado beetle *Leptinotarsa decemlineata* Say. *Entomol. Rev.* 60: 44-52.
- Steinkraus, D. C. 2000. Documentation of naturally-occurring pathogens and their impact in agroecosystems. In: L. A. Lacey and H. K. Kaya (eds.). "Field Manual of Techniques in Invertebrate Pathology: Application and evaluation of pathogens for control of insects and other invertebrate pests." Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 303-320.
- Stern, V. M., Smith, R. F., van den Bosch, R., and Hagen, K. S. 1959. The integration of chemical and biological control of the spotted alfalfa aphid. *Hilgardia* 29: 81-101.
- Tamaki, G. and B. A. Butt. 1978. Impact of *Perillus bioculatus* on the Colorado potato beetle and plant damage. *USDA Tech. Bull.* 1581. 11pp.
- Tamaki, G. and D. Olsen. 1977. Feeding potential of predators of *Myzus persicae*. *J. Entomol. Soc. Brit. Columbia* 74: 23-26.
- Tamaki, G. 1981. Biological control of potato pests. In: J. H. Lashomb and R. Casagrande (eds.), *Advances in Potato Pest Management*. Pp. 178-192. Hutchinson Ross Publ., Strasburg, PA.
- Tamaki, G., R. L. Chauvin and A. K. Burditt, Jr. 1983. Field evaluation of *Doryphorophaga doryphorae* (Diptera: Tachinidae), a parasite, and its host the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environ. Entomol.* 12: 386-389.

- Tanada, Y. and H. K. Kaya. 1993. *Insect Pathology*. Academic Press, New York. 666 pp.
- Van Emden, H. F., V. F. Eastop, R. D. Hughes, and M. J. Way. 1969. The ecology of *Myzus persicae*. *Annu. Rev. Entomol.* 14: 197-270
- van Lenteren, J. C. and J. Woets. 1988. Biological and integrated pest control in greenhouses. *Annu. Rev. Entomol.* 33: 239-269.
- Zehnder, G. W. and W. D. Gelernter. 1989. Activity of the M-One formulation of a new strain of *Bacillus thuringiensis* against the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae): relationship between susceptibility and insect life stage. *J. Econ. Entomol.* 82: 756-761.
- Zehnder, G. W., G. M. Ghidui and J. Speese III. 1992. Use of the occurrence of peak Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) egg hatch for timing of *Bacillus thuringiensis* spray applications in potatoes. *J. Econ. Entomol.* 85: 281-288.