



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN



GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA
INNOVACIÓN AGRARIA



FACULTAD DE AGRONOMÍA



GONZALO SILVA AGUAYO

Se tituló de Ingeniero agrónomo en 1997 en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Talca. Cursó sus estudios de postgrado, gracias a una beca Presidente de la República, en el Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas de México, donde obtuvo el grado de Magíster en Ciencias (Mg Sc) en la especialidad de Entomología y Acarología.

Sus principales líneas de investigación son la búsqueda de insecticidas de origen natural para el control de plagas, Toxicología y manejo de la resistencia a insecticidas y Manejo Integrado de Plagas agrícolas y urbanas. Desde agosto de 1997 se desempeña como profesor de Entomología en el Departamento de Producción Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción en el campus Chillán. Imparte las cátedras de Manejo de Plagas Agrícolas y Urbanas y Seminario General en el programa de pregrado y Toxicología y Manejo de Insecticidas junto con Extensión y Divulgación Técnica en el programa de postgrado. Desde el año 2002 se desempeña como presidente del comité de extensión de la Facultad de Agronomía.

Bases para el manejo racional de insecticidas

Editores
GONZALO SILVA AGUAYO
RUPERTO HEPP GALLO



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN



GOBIERNO DE CHILE
FUNDACIÓN PARA LA
INSURANCIÓN AGRARIA



FACULTAD DE AGRONOMÍA

Bases para el manejo racional de insecticidas

Editores
GONZALO SILVA AGUAYO
RUPERTO HEPP GALLO

EDITORES

Gonzalo Silva Aguayo, Ingeniero Agrónomo Mg Sc.
Ruperto Hepp Gallo, Ingeniero Agrónomo Ph D.

Silva, G., Hepp. 2003. Bases para el manejo racional de insecticidas.
Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía / Fundación
para la Innovación Agraria (FIA). Chillán, Chile. 310p.

Registro propiedad Intelectual Incripción N° 136.020
ISBN 956-8020-02-0.

Permitida su reproducción total o parcial previa consulta
y autorización de los autores.

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Ricardo González Toro.

IMPRESIÓN

TRAMA Impresores S.A.

Cantidad de ejemplares 1.000.

Chillán, 2003.

*A*nuestras familias
por todos los minutos
que a diario nos roba nuestro trabajo.

CONTENIDO

	AGRADECIMIENTOS	7
	INDICE DE AUTORES	9
	PRESENTACIÓN	11
	PRÓLOGO	13
Capítulo 1	BREVE HISTORIA DE LOS INSECTICIDAS <i>Gilberto Casadei DeBaptista</i>	17
Capítulo 2	ROL DE LOS INSECTICIDAS EN EL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS <i>Myron Shenk, Marcos Kogan</i>	29
Capítulo 3	INSECTICIDAS Y RESISTENCIA VEGETAL <i>José Djair Vendramim, Cesáreo Rodríguez H.</i>	51
Capítulo 4	INSECTICIDAS Y CONTROL BIOLÓGICO <i>Carlos Blanco, Julio Bernal</i>	69
Capítulo 5	INSECTICIDAS DE ORIGEN VEGETAL <i>Cesáreo Rodríguez H., Gonzalo Silva A. José Djair Vendramim</i>	87
Capítulo 6	INSECTICIDAS MICROBIALES <i>Luis G. Leite, Sérgio Batista Alves, Roberto Pereira</i>	113
Capítulo 7	EVALUACIÓN DE INSECTICIDAS EN LABORATORIO <i>Gonzalo Silva A., José C. Rodríguez, Diana Pizarro D.</i>	157
Capítulo 8	EVALUACIÓN DE INSECTICIDAS EN CAMPO <i>Pedro Casals Bustos</i>	175
Capítulo 9	MANEJO DE INSECTICIDAS EN AMBIENTES URBANOS <i>Husssein Sánchez A.</i>	203
Capítulo 10	RESISTENCIA A LOS INSECTICIDAS <i>Gonzalo Silva A.</i>	237
Capítulo 11	MANEJO DE LA RESISTENCIA A INSECTICIDAS <i>José C. Rodríguez, Gonzalo Silva A.</i>	261
Capítulo 12	LOS INSECTICIDAS EN LA AGRICULTURA DEL NUEVO SIGLO <i>Eduardo Fuentes C.</i>	291

AGRADECIMIENTOS

A l programa de Promoción de la Innovación Agraria de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), sin cuyo apoyo no habría sido posible realizar la presente publicación.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción por su permanente apoyo a nuestras labores de docencia e investigación.

A los autores nacionales y extranjeros por su tiempo, disponibilidad y compromiso permanente con el proyecto.

A todos nuestros colegas que en forma desinteresada colaboraron en la revisión y edición de los diferentes capítulos de este volumen.

ÍNDICE DE AUTORES

SERGIO BATISTA ALVES Departamento de Entomología, Fitopatología y Zoología Agrícola. Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidad de Sao Paulo. Rua Pádua Dias, 11 13418-900 Piracicaba. Sao Paulo. Brasil.
sebalves@carpa.ciagri.usp.br

JULIO S. BERNAL Biological Control Laboratory. Department of Entomology. Texas A&M University. College Station, Texas 77843-2475. U.S.A.
juliobernal@tamu.edu

CARLOS A. BLANCO Dow AgroSciences. Wayside Field Laboratory, 753 Highway 438, Greenville, Mississippi 38701, U. S. A.
cblanco@dowagro.com

GILBERTO CASADEI DeBAPTISTA Departamento de Entomología, Fitopatología y Zoología Agrícola. Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidad de Sao Paulo. Rua Pádua Dias, 11 13418-900 Piracicaba. Sao Paulo. Brasil.
gcbaptis@carpa.ciagri.usp.br

PEDRO CASALS B. Departamento de Producción Vegetal. Facultad de Agronomía. Universidad de Concepción. Vicente Méndez 595. Casilla 537. Chillán. Chile.
pecasals@udec.cl

JOSÉ DJAIR VENDRAMIM Departamento de Entomología, Fitopatología y Zoología Agrícola. Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidad de Sao Paulo. Rua Pádua Dias, 11 13418-900 Piracicaba. Sao Paulo. Brasil.
jdvendra@carpa.ciagri.usp.br

EDUARDO FUENTES C. Departamento de Producción Agrícola. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Talca. Avenida Lircay s/n. Talca. Chile.
efuentes@utalca.cl

LUÍS GARRIGÓS LEITE Laboratorio de Control Biológico, Instituto Biológico, Caixa Postal 70, CEP 13001-970, Campinas, Sao Paulo. Brasil.
lgleite@biologico.sp.gov.br

MARCOS KOGAN Integrated Plant Protection Center. Oregon State University. 2040 Cordley Hall, Corvallis, Oregon 97330. U.S.A.
kogarm@bcc.orst.edu

- ROBERTO M. PEREIRA** Center for Medical Agricultural and Veterinary Entomology Agricultural Research Service. United States Department of Agriculture (USDA). 1600 SW 23rd Drive, P.O. Box 14565, Gainesville, Florida. 32608, U.S.A.
rpereira@gainesville.usda.ufl.edu
- DIANA PIZARRO D.** Departamento de Producción Vegetal. Facultad de Agronomía. Universidad de Concepción. Vicente Méndez 595. Casilla 537. Chillán. Chile.
dianapizarro@entelchile.net
- CESÁREO RODRÍGUEZ H.** Programa de Entomología y Acarología. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. CP 56230. Montecillo. Texcoco. México.
crhernan@colpos.colpos.mx
- JOSÉ C. RODRÍGUEZ M.** Programa de Entomología y Acarología. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. CP 56230. Montecillo. Texcoco. México.
concho@colpos.colpos.mx
- HUSSEIN SÁNCHEZ A.** Programa de Entomología y Acarología. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. CP 56230. Montecillo. Texcoco. México.
hussein@colpos.colpos.mx
- MYRON SHENK** Department of Crop and Soil Sciences. College of Agricultural Sciences. Oregon State University. Cordley Hall 2036 A. Corvallis, Oregon 97331. U.S.A.
shenkm@science.oregonstate.edu
- GONZALO SILVA A.** Departamento de Producción Vegetal. Facultad de Agronomía. Universidad de Concepción. Vicente Méndez 595. Casilla 537. Chillán. Chile.
gosilva@udec.cl

La Agricultura Nacional ha tenido que evolucionar incorporando principios básicos que hoy nos parecen indispensables para proteger el medio ambiente e incorporar el concepto de agricultura sustentable. Por otra parte, la economía chilena ha seguido el modelo de libre mercado para insertarse en el mundo global y como consecuencia de ello se han firmado importantes acuerdos comerciales, dentro de los cuales se destacan por su importancia el Tratado de Libre Comercio con la Comunidad Europea y el Tratado de Libre Comercio con EEUU recientemente firmado.

Estas Políticas de Comercio, impulsadas por el Gobierno de Chile, obligan a modernizar los sistemas de Producción, tendiendo hacia lo que se ha llamado la Producción Limpia y las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) que hoy en día son indispensables para la exportación de productos agropecuarios. Cada día, el consumidor es más exigente, y reacciona rápidamente rechazando el uso de productos que puedan ser nocivos para la salud. Sin embargo, la agricultura comercial e industrializada, debe utilizar este tipo de productos, para mantener su nivel de competencia en los mercados y para ello debe saber que productos y en que época puede aplicar; cual es su persistencia en el ambiente y que concentración de residuos pudiese quedar en los productos cosechados.

En este contexto, la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción está preocupada a través de su docencia e investigación, de entregar respuestas a los sistemas productivos modernos para que puedan usar en forma racional insecticidas, ya sean de origen químico o biológico, y al mismo tiempo sean inocuos o de lo contrario se conozca claramente el grado de peligrosidad que puedan tener al consumir los alimentos que han sido producidos utilizándolos. Por ello, la Facultad ha patrocinado la edición del libro **“Bases para el Manejo Racional de Insecticidas”** editado por los Profesores Gonzalo Silva A y Ruperto Hepp G., los cuales forman parte del cuerpo de Profesores de la carrera de Agronomía de la Universidad de Concepción. Dentro de los capítulos de este libro se encuentra la inapreciable contribución de connotados especialistas de prestigiosas Universidades de Brasil, México y Estados Unidos, los cuales en conjunto con investigadores de las Universidades de Talca y de Concepción, han conformado esta obra, que será de gran utilidad para programar adecuadamente la aplicación de insecticidas para una Agricultura limpia y sustentable.

ALFREDO VERA MANRIQUEZ
DECANO

Los insecticidas son el método de control de plagas más utilizado a nivel mundial. Su rápida acción, permanente disponibilidad en el mercado y facilidad de uso hacen que muchos agricultores los adopten como la única alternativa para la supresión de insectos plaga. De hecho cuando aparecieron en el mercado a mediados de los años cuarenta se pensó que todos los problemas de pérdidas de cosechas a causa de los insectos serían cosa del pasado. Incluso algunos señalaron que el dedicarse a la protección vegetal sería solo una entretención ya que nunca más serían necesarias otras alternativas para el control de plagas. Todas estas actitudes redundaron en un manejo irracional de los insecticidas que desembocaron en problemas como los residuos en los alimentos, contaminación de fuentes de agua, intoxicaciones de consumidores y aplicadores, resurgencia de plagas, irrupción de plagas secundarias y últimamente insectos y ácaros fitófagos resistentes a los plaguicidas. Con la aparición del Manejo Integrado de Plagas la filosofía de uso de estos compuestos cambió diametralmente. Se estableció claramente que el objetivo no consiste en erradicar a la plaga sino que en mantener la población de insectos a niveles que no provoquen daño. También se hizo énfasis en que los insecticidas constituyen una alternativa de manejo de plagas entre varias. Es decir, los insecticidas deben ser usados en forma coordinada y complementaria con las otras técnicas de manejo de plagas como son el control biológico, la resistencia vegetal y el control físico entre muchos otros.

La nueva situación comercial de Chile, especialmente en lo que se refiere a los tratados comerciales recientemente firmados, han traído una serie de nuevas exigencias que deberán ser tomadas en cuenta al momento de decidir sobre alguna medida de control ya que de modo contrario no será posible exportar lo producido con las consabidas pérdidas económicas para nuestra agricultura. Esto no significa que tendremos que abandonar el uso de los insecticidas sino que estaremos obligados a realizar un manejo más racional de ellos.

Los nuevos insecticidas con que contaremos para el mediano y largo plazo serán compuestos mucho más específicos y menos agresivos con el ambiente. Esto, principalmente porque las legislaciones que norman el registro de estos productos serán más rigurosas ya que solicitarán antecedentes sobre su impacto en la artropodofauna benéfica, seres humanos y sobre el medio en general. Lamentablemente, estos plaguicidas también serán de mayor costo ya que la inversión para el desarrollo de un nuevo insecticida resultará más elevada para las empresas multinacionales lo que evidentemente significará que cada vez serán menos los nuevos insecticidas con los que contaremos anualmente.

La investigación que se realice tanto en nuestro país como en el extranjero en la búsqueda de nuevos insecticidas será de vital importancia para poder contar en el futuro con nuevas herramientas de manejo de insectos. En Chile, esta importante labor normalmente ha sido

desarrollada por las universidades y el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Es imposible dejar de mencionar el trabajo realizado por la Universidad de Chile que desde muy atrás sentó las bases con las primeras investigaciones cuando los insecticidas comenzaron a llegar a nuestro país. Hoy en día se destaca su investigación en el uso de los insecticidas como parte de la producción integrada de frutales. Tampoco podemos olvidar el trabajo realizado en la Pontificia Universidad Católica, principalmente en hortalizas, y de la Universidad Austral en praderas y cultivos en general. En lo referente a la Universidad de Concepción, durante muchos años se han realizado una gran cantidad de pruebas de efectividad de insecticidas con el objetivo de buscar las mejores alternativas para el manejo de plagas. Cabe además destacarse que con el apoyo de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) se encuentra en desarrollo un proyecto que tiene por objetivo la búsqueda de insecticidas de origen vegetal para el control de plagas de los granos almacenados y áfidos. Dentro de esta misma línea también se destacan los trabajos de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile con *Calceolaria andina* planta en la que se encontraron dos compuestos que seguramente en pocos años darán origen a una nueva familia de insecticidas.

La resistencia a insecticidas es un elemento al que se debe tratar en forma separada ya que cuando apareció se pensó que se trataba de aplicaciones mal realizadas ya sea por usar dosis menores a las letales o equipos e insecticidas en mal estado entre otros. Sin embargo, el tiempo ha demostrado lo contrario y hoy en día la resistencia es un hecho asumido e incluso se ha llegado a cambiar el concepto de manejo de insecticidas por manejo de la resistencia a insecticidas. Tal vez suene un poco melodramático este último término pero la resistencia es un fenómeno natural que se va a producir de todas maneras y que dependiente del manejo que hagamos de los insecticidas esta se desarrollará en un mayor o menor plazo.

Desde el punto de vista del rol de los insecticidas en la demanda de alimentos debemos señalar que la población mundial crece a un ritmo del 2% por lo que en 30-40 años perfectamente los que poblamos este planeta podríamos llegar a ser el doble y por ende la demanda por alimentos también. Si a esto le agregamos que los suelos arables disminuyen anualmente en un 0,1% y en promedio un 30% de las cosechas a nivel mundial se pierden a causa de las plagas el poder suplir la creciente demanda de alimentos va a ser cada vez más complejo. Aquellos que plantean en forma extrema que se debe producir sin ningún tipo de agroquímico de origen sintético aunque el rendimiento sea menor no tendrán argumentos para justificarse. En base a esto no se puede negar que los insecticidas organosintéticos y naturales tienen un rol muy importante en la producción presente y futura de alimentos.

Por último, consideramos que la literatura disponible sobre el tema es también de vital importancia para realizar un manejo racional de agroquímicos ya que de no contarse con información actualizada, en español y acorde a la realidad del medio se hace aún más difícil el poder disminuir todos los riesgos que conlleva el mal uso de ellos. Durante mucho

tiempo la única información disponible en español era proveniente de países como España, México, Costa Rica y Venezuela entre otros, la cual no siempre era información propia sino que constituían traducciones de libros norteamericanos o europeos que estaban bastante alejados de la realidad nacional. Además, no siempre eran aplicados a algún área específica sino que podían cubrir en forma muy exhaustiva la parte química dejando de lado el manejo en el ámbito agrícola, urbano y médico. Es justamente este vacío el que pretendemos suplir con este volumen poniendo a disposición de todo el ámbito agrícola las experiencias en el tema de importantes investigadores de países como Brasil, Estados Unidos, México y Chile. El libro comienza con una breve historia de los insecticidas, luego se señala cual es su rol en el Manejo Integrado de Plagas, se describen los diferentes tipos de insecticidas y su relación con otros métodos de control y finalmente se cubre la resistencia a insecticidas y las perspectivas futuras de estos compuestos en la agricultura nacional y mundial. Esperamos que esta publicación sea de utilidad y ayude a sentar las bases de un manejo racional de insecticidas que permitan disminuir los riesgos y problemas que durante tanto tiempo ha provocado el mal manejo de los insecticidas que como señalamos tendrán un rol de suma importancia en la producción de alimentos tanto nacional como mundial.

Gonzalo Silva Aguayo
Ruperto Hepp Gallo

EDITORES

Chillán, Chile, Noviembre de 2003.

BREVE HISTORIA DE LOS INSECTICIDAS

Gilberto Casadei DeBaptista

BREVE HISTORIA DE LOS INSECTICIDAS

Gilberto Casadei DeBaptista

Departamento de Entomología, Fitopatología y Zoología Agrícola
Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
Universidad de Sao Paulo
Piracicaba. Brasil

1

INTRODUCCIÓN

Los daños económicos causados por insectos a la agricultura y ganadería, merecieron la atención y acción de autoridades y profesionales para minimizarlos o disminuirlos a niveles aceptables. Con este objetivo, son empleados métodos culturales, físicos, mecánicos, biológicos y principalmente métodos químicos, a través del uso de insecticidas que ofrecen respuestas rápidas y muchas veces de emergencia para problemas de plagas que afectan al hombre, sus cultivos, animales y propiedades.

A pesar de ser utilizados hace más de un siglo en la protección química de cultivos, los insecticidas incrementaron su uso notablemente en América Latina a partir de la segunda mitad del siglo pasado, en virtud de la intensificación de la actividad agrícola, cuando los daños causados por insectos nocivos se convirtieron en problemas económicos evidentes.

Partiéndose inicialmente de materiales inorgánicos y botánicos, pasando posteriormente por organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides, muchos de los cuales se encuentran en estado de obsolescencia y abandono, las opciones de uso para control actualmente también incluyen, neonicotinoides, reguladores del crecimiento de insectos y productos microbianos, entre otros.

Las consecuencias adversas resultantes del uso de estos compuestos químicos, tales como su persistencia en los alimentos (residuos) y en el medio ambiente (bioconcentración en las cadenas tróficas) además de implicaciones en la salud de los trabajadores expuestos, contribuyeron para que algunos tuvieran un uso restringido o fueran cancelados. Como resultado de ello, la industria química actualmente busca productos alternativos más seguros y selectivos, como por ejemplo aquellos que actúen en eventos como la ecdisis y la metamorfosis.

Las nuevas ideas y prácticas de manejo integrado de plagas que se basan en la utilización armoniosa de varios métodos de control, aplicables a situaciones específicas, incluyen también el uso de insecticidas, que son y serán indispensables en su segundo siglo de existencia.

DESARROLLO DE LOS INSECTICIDAS

El surgimiento y uso de insecticidas en el mercado obedece didácticamente a una sucesión de generaciones, cuyo marco significativo fue el descubrimiento de los organosintéticos neurotóxicos, introducidos a partir de 1940. Una sinopsis de dichas generaciones puede ser visualizada en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Desarrollo de insecticidas.

GENERACION	GRUPO QUÍMICO	EJEMPLOS
Primera	Inorgánicos	S, As, fluorados
	Botánicos	Nicotina, piretrinas naturales, rotenona
	Aceites minerales	Aceites minerales en general
Segunda	Organoclorados	DDT y análogos, BHC y lindano, ciclodienos
	Organofosforados	Paration, malation, clorpirifos, disulfoton, forato, terbufos
	Carbamatos	Carbaril, aldicarb, carbofuran
	Piretroides	Aletrina, permetrina, deltametrina, bifentrina
Tercera	Microbianos	Hongos, bacterias y virus
	Feromonas sexuales	-
Cuarta	Agonistas de la hormona juvenil	Piriproxifen, metopreno
	Agonistas de la ecdisona	Metoxifenozone, tebufenozone
	Inhibidores de la síntesis de quitina	Diflubenzuron, triflumuron
Quinta	Neonicotinoides	Imidacloprid, acetamiprid,
	Agonistas y antagonistas del GABA	Abamectina, fipronil.

PRIMERA GENERACIÓN

Antes de los organosintéticos, un grupo de productos **inorgánicos** fue utilizado con cierta frecuencia. Entre ellos están incluidos el azufre, todavía ampliamente usado en Brasil como acaricida en cítricos, compuestos de arsénico, con excelente y conocida acción de ingestión, y fluorados, los que fueron desarrollados con el objetivo de sustituir a los arsenicales, y de esta manera obtener insecticidas que no dejaran residuos tóxicos en cultivos comestibles.

Pertenecientes también a esta generación, el uso de productos **botánicos** fue consecuencia de la búsqueda de químicos y biólogos, en razón de su selectividad potencial. No obstante, muchos presentaban la limitante de ser fotodegradables. Las **piretrinas naturales**, extraídas de flores de crisantemo, fueron los insecticidas de origen botánico más importantes e inclusive sirvieron de referencia para otra clase de productos: los piretroides. La nicotina también fue importante, constituyendo la base para los nuevos neonicotinoides;

la **rotenona** fue menos relevante. El programa más notorio y reciente ha sido el uso de extractos de semillas de **neem**.

Dentro de esta generación, se incluyen también los **aceites minerales** que fueron usados principalmente, para el control de conchuelas y escamas.

SEGUNDA GENERACIÓN

DDT y otros hidrocarburos clorados

El descubrimiento del DDT, en 1939 por Paul Müller, es considerado un evento decisivo en el uso de productos organosintéticos, por su prolongada actividad en el control de numerosas plagas. Los resultados positivos obtenidos de su utilización en la agricultura fueron acompañados por un gran entusiasmo, pues se pensaba que muchos problemas de plagas serían simplemente eliminados, lo que más tarde fue considerado excesivamente optimista. Algunos problemas serios de salud pública fueron minimizados con el uso del DDT, especialmente el tifus y la malaria, transmitidos por piojos y mosquitos anofelídios, respectivamente. Fue tal el éxito del DDT para el control de esas y otras enfermedades, que Müller fue condecorado con el Premio Nobel de Fisiología y Medicina, en 1948.

De esta forma, el DDT estimuló la búsqueda de otros insecticidas similares y diferentes, con el objetivo de obtener nuevos compuestos de bajo costo y persistencia. Uno de los nuevos insecticidas descubiertos fue el BHC o hexaclorociclohexano (HCH) y el lindano, específicamente su isómero γ , en 1942.

El crecimiento en el uso del BHC a partir de la década del 40, se debió a su eficiencia para controlar plagas del algodón, lo que ya había sido observado anteriormente en el combate de la broca del café. Fueron los cultivos de café y algodón las principales razones de la introducción en Brasil de los denominados insecticidas organosintéticos. La demanda de productos, tales como el BHC técnico con 12% de isómero γ , seguido del DDT y paration impulsó el desarrollo de la industria brasileña de formulaciones y de producción, en 1948.

También en la década del 40 aparecieron los insecticidas clorados ciclodienos, entre los cuáles pueden ser citados el aldrin, dieldrin, heptacloro, endrin y más tarde el endosulfan y dodecacloro, cerrando el período más importante de lanzamiento de insecticidas hidrocarburos clorados. Algunos de ellos, tales como aldrin y heptacloro fueron bastante utilizados para controlar plagas de suelo (hormigas, termitas, etc.), otros como endrin y endosulfan tuvieron gran importancia para plagas del algodón y del café.

A partir de la década del 80, estos hidrocarburos clorados fueron prohibidos, su uso fue restringido o directamente fueron abandonados por ser obsoletos, ya sea por falta de nuevos análogos, por problemas toxicológicos o de contaminación ambiental. No obstante, el endosulfan y el dicofol todavía son considerados insecticidas importantes para controlar plagas, especialmente en cultivos de soya, café, algodón y caña de azúcar.

Organofosforados y Carbamatos

Los insecticidas **organofosforados**, ésteres de ácidos minerales de fósforo, inhibidores de acetilcolinesterasas, aparecieron en el mercado a fines de la década del 40. Entre los primeros pueden ser citados el paration y el TEPP, seguidos de otros con destacada acción en la protección de plantas, pero también, lamentablemente, como es el caso de compuestos tóxicos más volátiles, como armas químicas de guerra. Hasta 1965 ya habían sido introducidos los principales insecticidas de este grupo, productos de acción de contacto, no sistémicos, tales como el paration metil, malation, diazinon, diclorvos, triclorfon, fenitroton, clorpirifos y muchos otros, además de los sistémicos, como disulfoton, forato y más recientemente el terbufos, éste último también con acción nematicida. Muchas plagas fueron y son controladas por productos no sistémicos tales como especies nocivas del algodónero, hortalizas y frutales, además de insecticidas destinados a la protección de granos contra el ataque de gorgojos y polillas (malation y fenitroton). La acción de productos sistémicos circulando por el xilema, en dirección ascendente, se mostró importante, no sólo por el control ejercido sobre insectos chupadores como pulgones, chinches, langostinos, etc., sino también por la ventajosa selectividad ecológica que presentan al no afectar especies entomófagas útiles, que de otra forma serían perjudicadas por una aplicación convencional a través de pulverizaciones.

Los insecticidas **carbamatos**, ésteres de ácidos carbámicos, también inhibidores de acetilcolinesterasas, surgieron en el mercado a partir de la segunda mitad de la década del 50, siendo los representantes más conocidos el insecticida carbaril, de acción no sistémica, sino que de contacto, que fue utilizado principalmente en el cultivo de tabaco. También existen productos sistémicos, tales como aldicarb y carbofuran, muy tóxicos y por eso mismo apenas autorizados para aplicación en tratamiento de semillas o en surcos, y cuyos principales mercados son cítricos, papa y café (aldicarb) y maíz, arroz, trigo y caña de azúcar (carbofuran).

Piretroides

Los insecticidas **piretroides**, inicialmente productos de uso doméstico, alcanzaron una significativa importancia, para la agricultura, a principios de los años 70, con la introducción de los más conocidos y relevantes hasta 1979. En su gran mayoría ésteres de los ácidos ciclopropano-carboxílicos, estos insecticidas presentan notable acción de contacto, siendo desarrollados a partir de piretrinas naturales, extraídas de flores de crisantemo. Éstas, conocidas como excelentes insecticidas selectivos para animales homeotérmicos, presentaban el inconveniente de ser rápidamente fotodegradadas, necesitando aplicaciones frecuentes. De este modo, los piretroides intentan combinar la baja toxicidad de las piretrinas para los animales superiores con un mayor poder residual, estando menos sujetos a fotodegradación. Actúan en los canales de Na^+ , de la membrana del axón, manteniéndolos abiertos por períodos de tiempo más prolongados, de manera similar al DDT.

Entre los más importantes se destacan la aletrina de uso doméstico, la permetrina, cipermetrina y deltametrina de uso agrícola, ésta última también empleada en la protección de granos almacenados y para uso doméstico. Deben ser citados también, otros piretroides importantes, como por ejemplo: bifentrina, zetacipermetrina y lambda-cialotrina, entre otros.

TERCERA GENERACIÓN

Insecticidas microbianos

El gran debate acerca de la dependencia provocada por el uso de insecticidas orgánicos en el control de plagas agrícolas, generó una enorme preocupación pública sobre su seguridad, ya en el final de la década del 50, teniendo su principal apoyo en la publicación de la obra de Rachel Carson «Primavera Silenciosa», en 1962.

De esta manera, nuevas opciones fueron evaluadas, especialmente en procura de insecticidas que actuasen en eventos fisiológicos de insectos, con bajo o ningún impacto sobre la salud humana y preservación del medio ambiente, con resultados positivos en determinadas situaciones.

Como resultado, aparecieron algunos insecticidas denominados microbianos, productos de bacterias, hongos y virus, que actúan principalmente a través de la producción de toxinas. Un ejemplo notable es la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt), usada fundamentalmente para controlar larvas de lepidópteros y cuya toxina actúa en el mesenterón del sistema digestivo de los insectos, a nivel de algunas proteasas que intervienen en la digestión. La membrana peritrófica, que reviste internamente el mesenterón, pierde la capacidad selectiva de nutrientes y de enzimas digestivas; produciéndose perforaciones en la membrana peritrófica y epitelio, causando septicemia. Actualmente, se trata de incorporar a plantas cultivadas (algodón, por ejemplo), genes de Bt obtenidos de razas seleccionadas, para producción de endotoxinas, a través de ingeniería genética. El uso de plantas genéticamente modificadas enfrenta una gran resistencia en varios países y particularmente en Brasil.

Entre los hongos, *Metarhizium anisopliae* fue usado en ciertas formulaciones comerciales para controlar cicadélidos en pasturas y en caña de azúcar. Sus hifas penetran en el insecto a través de los espiráculos, cavidad bucal, ano, y membranas intersegmentales donde las toxinas producidas son letales.

Los *Baculovirus* son específicos para algunas especies de larvas de lepidópteros y no presentan efectos adversos conocidos para la salud o el medio ambiente. En Brasil, son usados en forma limitada para el control de la oruga de las leguminosas.

Feromonas sexuales

Algunos intentos de usar feromonas sexuales, en técnicas de confusión de machos son conocidos. Utilizadas en situaciones específicas, principalmente en programas de monitoreo, como en el caso del curculionido del algodón; son importantes componentes de programas de control de plagas que comúnmente necesitan también de tratamiento con insecticidas convencionales.

CUARTA GENERACIÓN

Aquí están incluidos insecticidas que actúan en ciertos procesos fisiológicos de los insectos, que no tienen relación con la fisiología de animales superiores, tales como la ecdisis y la metamorfosis; por lo cual son considerados altamente selectivos. Son denominados **reguladores del crecimiento de insectos** (en inglés, «insect growth regulators», o IGR) o insecticidas fisiológicos. Actúan en el sistema endocrino de insectos, interfiriendo en la acción de hormonas, especialmente de la hormona juvenil y ecdisona o en la síntesis de la quitina.

Agonistas de la hormona juvenil (juvenoides)

El metopreno y el piriproxifen, entre otros actúan mimetizando la hormona juvenil, cuya acción normal consiste en impedir la metamorfosis precóz; bajo su acción los insectos tienen su metamorfosis afectada, lo que les provoca la muerte.

Agonistas de la ecdisona (diacil-hidrazinas)

Algunos insecticidas, como metoxifenozone y tebufenozone son también denominados ecdisteroides, debido a que mimetizan la acción de la ecdisona (hormona de la ecdisis). Son de esta forma agonistas de la hormona, ligándose a receptores de la misma en las células de la epidermis, provocando en las larvas el inicio de una ecdisis anticipada, incompatible con su crecimiento normal.

Inhibidores de la síntesis de quitina (benzoilfenilureas)

El diflubenzuron y triflumuron, entre otros, pertenecen al grupo de las ureas sustituidas (benzoilfenilureas) y su modo de acción corresponde a la inhibición de la formación normal de la nueva cutícula, en el momento de la ecdisis, posiblemente por inhibición de la enzima quitinasintetasa, responsable por la síntesis de quitina, un polisacárido nitrogenado, que junto con las proteínas forman un complejo muy importante para la resistencia del tegumento de los artrópodos.

QUINTA GENERACIÓN

En ésta, están incluidos insecticidas de acción específica en ciertos locales del sistema nervioso de los insectos, de modo diferente a lo que ocurre en los animales superiores.

Insecticidas que actúan en las sinapsis centrales

Como se mencionó, los insecticidas organofosforados y carbamatos son inhibidores de la enzima acetilcolinesterasa, que en los insectos, actúa en la sinapsis del sistema nervioso central.

En los últimos años, surgió un nuevo grupo de insecticidas, que actúa también en las sinapsis colinérgicas centrales de los insectos. Son estructuralmente semejantes a la nicotina y por esa razón son denominados neonicotinoides o nitroguanidinas. La nicotina es un agonista de la acetilcolina en las sinapsis de este sistema. Insecticidas más recientes, tales como imidacloprid, tiacloprid, acetamiprid, además de spinosad (obtenido por fermentación del hongo *Saccharopolyspora spinosa*), actúan, como agonistas de la acetilcolina en las sinapsis colinérgicas del sistema nervioso central de los insectos. De esta forma, imitan este neurotransmisor, compitiendo por sus receptores, a pesar de ser compuestos de fórmulas estructurales muy diferentes. Sin embargo, contrariamente a la acetilcolina, la nicotina no es hidrolizada por la acetilcolinesterasa y su interferencia en las sinapsis produce hiperexcitación, temblores y muerte.

Insecticidas que actúan en las sinapsis periféricas (unión glutaminérgica)

Las sinapsis periféricas de los nervios motores (unión neuromuscular) de los insectos no son colinérgicas, debido a que utilizan otros dos neurotransmisores: l-glutamato (excitador) y ácido γ -amino butírico o GABA (inhibidor). Esa unión es conocida como glutaminérgica. Algunos insecticidas actúan interfiriendo en el funcionamiento de esas uniones, especialmente en el sistema GABA. Este sistema se encuentra particularmente asociado a la presencia de iones Cl^- . En una situación de funcionamiento normal, el sistema GABA libera iones Cl^- . Si una mayor concentración de Cl^- es liberada, el resultado es el predominio del sistema inhibitor (GABA) sobre el excitador (l-glutamato) y, la consecuencia es una menor actividad en la unión, o sea, menor grado y frecuencia de la contracción muscular correspondiente, y por ende menor actividad locomotora. El razonamiento inverso también puede ser aplicado, o sea, menos Cl^- , predominio del sistema excitador, mayor actividad en la unión y en consecuencia mayor actividad locomotora.

La abamectina, producto de la fermentación del hongo, *Streptomyces avermectilis*, es agonista del GABA, y el resultado de su acción es la muerte del insecto por parálisis. Al contrario, el fipronil, insecticida del grupo de los fenilpirazoles, los ciclodienos, el endosulfan y el

lindano actúan como antagonistas del GABA, provocando temblores intensos seguidos de la muerte.

CONSIDERACIONES FINALES

Los insecticidas continuarán teniendo una importante función en el control de insectos, plagas agrícolas y urbanas en su segundo siglo de existencia. Sin lugar a dudas, habrá así, demanda para el uso de tales insumos, pues por más que se intente tratar a los sistemas agrícolas como ecológicos, ellos son inestables por naturaleza. Además el fenómeno de resistencia, común en tantas plagas, lleva a la necesidad de búsqueda de nuevos compuestos. La práctica de Manejo Integrado de Plagas, aunque lentamente, va transformando en realidad la reducción en el número de aplicaciones, como ocurre en Brasil, con los cultivos de soya, algodón, cítricos y café. De esta manera, la investigación en el área de desarrollo de nuevos insecticidas será direccionada a productos más específicos, más seguros para el usuario, el medio ambiente y el consumidor de productos tratados, junto con ser flexibles y convenientes en su uso además de compatibles con otros componentes para ser usados en programas de Manejo Integrado de Plagas.

Agradecimientos

El autor agradece a la Ing. Agr. (M Sc.) Gabriela Inés Diez-Rodríguez por la traducción del texto al español.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, S.B. 1998. Fungos entomopatogênicos p. 289-381. In: S.B. Alves (ed.) Controle Microbiano de Insetos. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP.

Baptista, G.C. de 2001. Toxicologia e impacto ambiental de produtos fitossanitários. In: Curso de Especialização por Tutoria à Distância. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. Brasília, DF.

Casida, J.E.; Quistad, G.B. 1998. Golden age of insecticide research: past, present, or future? Annu. Rev. Entomol. 43: 1-16.

Cochran, D.G. 1987. Our chemophobic society. Bul. Entomol. Soc. Am. 33: 128-133.

Lara, W.H.; Baptista, G.C. de. 1992. Pesticidas. Quim. Nova 15: 161-166.

Metcalf, C.L.; Flint, W.P.; Metcalf, R.L. 1962. Destructive and useful insects. McGraw-Hill, New York.

Simon, C.W. 1993. O futuro dos inseticidas no Brasil. In: Anais. 14º Congresso Brasileiro de Entomologia. Piracicaba, SP.

ROL DE LOS INSECTICIDAS EN EL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS

Myron Shenk
Marcos Kogan

ROL DE LOS INSECTICIDAS EN EL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS

2

Myron Shenk

Department of Crop and Soil Science
Oregon State University
Corvallis. Oregon. USA.

Marcos Kogan

Integrated Plant Protection Center
Oregon State University
Corvallis. Oregon. USA.

INTRODUCCION

En cualquier discusión de Manejo Integrado de Plagas (MIP), es necesario establecer una definición común. Esto no es tan fácil como pareciera, en vista del hecho que entre 1959 y 1998, se han propuesto más de 67 definiciones. Un compendio de estas fue elaborado por Bajwa y Kogan en 1997, el cual se encuentra disponible en Compendium of IPM Definitions (<http://www.ippc.orst.edu/IPMdefinitions>). Posteriormente Kogan y Bajwa (1999) hicieron un análisis de la frecuencia de uso de conceptos o palabras claves en estas definiciones el cual se presenta en el Cuadro 1.

En vista del hecho de que existen tantas definiciones para el Manejo Integrado de Plagas (MIP), usaremos como base la siguiente definición: *El manejo integrado de plagas es un sistema de apoyo para la toma de decisiones en la selección y uso de los controles culturales, biológicos, químicos y otras tácticas de control de plagas, que son compatibles con el medio ambiente, económicamente viables, y socialmente aceptadas, para mantener poblaciones de plagas a niveles tolerables* (Kogan y Bajwa, 2000). Es notable que el concepto de 'toma de decisiones' esté implícito en la mayoría de las definiciones del MIP, por lo que se puede inferir que el MIP no es una táctica, sino, una filosofía de manejo de plagas.

LA TEORIA DE SISTEMAS

Hart (1980) sugiere la siguiente definición de sistema: "Es un arreglo de componentes físicos, un conjunto o colección de cosas, unidas o relacionadas de tal manera que forman y/o actúan como una unidad, una entidad o un todo." El concepto de 'sistemas' probablemente fue practicado por el ser humano desde sus comienzos. Pero, a medida que la civilización se desarrollaba hacia una mayor complejidad, aumento la necesidad de entender fenómenos cada vez más complejos en la vida cotidiana.

Cuadro I. Frecuencia de uso de términos o expresiones encontrados en 67 definiciones del MIP.

TÉRMINO O EXPRESIÓN	CONTEXTO DE USO	FRECUENCIA(%)
Económico	De los beneficios a los usuarios del sistema	53.8
Medio Ambiente	Efectos positivos de la táctica empleada. Un factor considerado al calcular la relación de beneficios/costos del MIP, comparado con la práctica del productor/usuario	48.1
Poblaciones de plagas	Meta o blanco de las tácticas de control	40.4
Control de plagas	Meta del sistema de MIP	38.3
Métodos o tácticas	Componentes de las acciones de control	26.9
Ecología o ecológico	El fundamento del concepto del MIP, o el sistema impactado por las tácticas del MIP	25.0
Sistema	Programa implementado, o unidad ecológica	24.2
Combinación o múltiple	Tácticas o métodos de control	19.2
Umbral económico o Umbral de daños		
Económicos Optimización/	Base para la toma de decisiones	17.3
Maximización	Beneficios al usuario, a la sociedad, al medio ambiente	13.5
Social/Sociológico	Factor para calcular los beneficios y costos del sistema del MIP, comparado con la práctica del productor/usuario	9.6

Adaptado de Kogan y Bajwa, 1999.

Esto produjo un mayor interés por el concepto de sistema, que hoy en día es considerado como una herramienta básica en muchos tipos de trabajos (Hart, 1980). Becht (1974), indica que el concepto de sistema fue formalizado en la biología por Smuts en 1926, bajo la idea de "totalidad" ('holism,' en inglés). Entre los años 1930 y 1970 Von Bertalanfly (1968) desarrolló su Teoría General de Sistemas (General Systems Theory). Aunque, esta teoría tiene su base en la biología, ha influenciado a muchos científicos en una amplia gama de disciplinas.

Se debe entender que la mayoría de los sistemas son abiertos. Esto quiere decir que cualquier sistema interactúa con otros; casi siempre para influenciar y ser influenciado. Además de los componentes de un sistema, también se debe pensar en insumos y salidas. Por ejemplo, en el sistema del cultivo del trigo, algunos de los componentes incluirán el cultivo, la tierra, el medio ambiente y el complejo de plagas. Los insumos incluirán los esfuerzos del agricultor en preparar la tierra para la siembra, la fertilización, el control de plagas, el manejo del agua, etc. Los componentes bióticos interactúan con los componentes abióticos y son influenciados por las entradas, para producir salidas. En el caso del cultivo

de trigo, las salidas incluyen el grano y el rastrojo. Si se expande el concepto de sistema hasta 'Sistema Finca', podríamos pensar en el subsistema del cultivo de trigo como parte de otros subsistemas, tales como otros cultivos y animales. Ahora, también podemos tomar las salidas de grano y rastrojo, y considerarlos como entradas para alimentar ganado y obtener las salidas de carne y leche. La salida de trigo puede ser usada como insumo o entrada para el subsistema avícola para obtener las salidas de huevos y carne. Además ambos subsistemas, ganado y avícola, producen la salida de estiércol, lo cual puede ser usado como entrada en otros sistemas. Por lo tanto, en el sistema finca, los animales y los cultivos pueden ser considerados como componentes básicos del sistema.

Las interacciones de los componentes dan estructura a un sistema, lo cual afecta la función del mismo. La idea de la forma en que los componentes interactúan (el arreglo de los componentes) dando **estructura** al sistema, lo cual afecta la **función** del mismo, puede ser ilustrada por una casa. Los componentes básicos incluyen el cemento, arena, y piedras (que forman los bloques), la madera, los vidrios, la tubería, los alambres eléctricos, etc. Cuando estos componentes están arreglados en una forma apropiada, forman una casa, la cual tiene varias funciones, incluyendo la de proveer protección y alojamiento para sus habitantes, junto con proporcionar un ambiente para actividades sociales de las personas que habitan en ella. Pero, después de un terremoto que destruye la casa, tendríamos los mismos componentes, pero ahora con un arreglo diferente, de tal manera que se los llama escombros. ¿Cuál es la función de los escombros?. Tal vez, el de llenar unos huecos en un camino, u otro tipo de relleno. Al considerar el concepto de sistemas en el contexto de manejo de plagas, hay que expandir la discusión para examinar los fundamentos del MIP.

FUNDAMENTOS DEL MIP

La Ecología

Uno de los fundamentos básicos del MIP es la ecología. La ecología es la rama de la biología que trata de las relaciones/interrelaciones entre organismos vivos y su medio ambiente (Sutten and Harmon, 1973). Sir Arthur Tansley (1935), presentó la primera definición formal de ecosistema, aunque los principios del concepto comenzaron mucho antes (Major, 1969). Tansley hablaba del punto de vista de la física, pero sugería que se debe considerar al sistema en su totalidad, no solamente el complejo de organismos, sino, todo el conjunto de los factores físicos que forman lo que llamamos 'el ambiente del biome' (Kogan and Lattin, 1999). La palabra 'biome' se refiere a un tipo de comunidad ecológica con características definidas, tal como los llanos o una sabana. Además de incluir los factores físicos y biológicos del medio ambiente, Tansley acentuó la importancia del impacto de actividades culturales sobre el ecosistema y afirmó que 'no podemos limitarnos a las llamadas entidades "naturales" e ignorar los abundantes procesos y expresiones de la vegetación que son provistos por las actividades humanas'. Así, Tansley proporcionó el fundamento para el concepto de ecosistema. Kogan (1986) dio un impulso formal para la aplicación de la teoría de la ecología al MIP, con la publicación del libro *Ecological Theory and Integrated Pest Management Practice* (La Teoría Ecológica y Practicas del MIP). Sutton

y Harmon (1973) declararon que, "el concepto de ecosistemas es fundamental para la ciencia de la ecología." Ellos ilustran la importancia de entender las propiedades individuales y las interacciones entre los componentes de ecosistemas con el ejemplo del agua: H_2O . "El agua tiene propiedades únicas, no encontradas ni en el hidrógeno (H), ni en el oxígeno (O). Aún, si se tuviesen conocimientos completos del hidrógeno y del oxígeno en sus estados libres, jamás se podría predecir que al combinarlos, se produciría algo con las propiedades del agua. Intuitivamente, no se pensaría en el agua, un líquido, sino que se separaría en dos gases altamente inflamables". Es necesario añadir que en la ecología, el conocimiento sobre un ecosistema puede ayudar en el análisis de otro ecosistema, pero cada uno es único con complejidades e interacciones particulares que no pueden ser anticipadas con precisión en base al conocimiento de otro sistema.

La biología se puede organizar en una escala ascendente, desde las células, órganos, organismos, poblaciones y hasta las comunidades y ecosistemas (Odum, 1971). Estos niveles forman una jerarquía de sistemas donde cada nivel es un subsistema de un sistema mayor. Hart (1980) dice que "las poblaciones son subsistemas de comunidades, los organismos son subsistemas de poblaciones, etc. La ecología abarca poblaciones y comunidades y añade un nivel más alto aún, el de ecosistema. Un ecosistema contiene componentes bióticos tales como plantas, animales y micro-organismos y componentes físicos tales como agua, suelo y otros. Estos componentes interactúan para formar una estructura con una función que es un conjunto de procesos físicos y bióticos."

Los componentes bióticos de un ecosistema pueden ser agrupados por tipos, y estos conjuntos de tipos son llamados comunidades. Por ejemplo, se puede hablar de comunidades de plantas, de insectos, de otros animales, o de microorganismos. Las comunidades consisten de diferentes poblaciones de organismos de especies distintas que coexisten e interactúan en una región (Hart, 1980; Odum, 1971). A la vez, estos componentes bióticos también interactúan con los factores abióticos del ecosistema. En la agricultura moderna y el control de plagas en general, en las últimas cuatro o cinco décadas hubo una tendencia a ignorar "el cuadro mayor" de la ecología y las interrelaciones de las diferentes poblaciones en la comunidad biótica. El control de plagas fue generalmente visto como una actividad aislada; como si el control de tal plaga fuera independiente de los demás factores o actividades. Esto resultó en problemas de plagas cada vez más serios. Muchas veces el control de plagas fue enfocado simplemente al nivel de especie. Por ejemplo, en el cultivo del manzano, la polilla de la manzana (*Cydia pomonella*) es una plaga muy seria. Pero, al hacer varias aplicaciones de insecticidas de amplio espectro, repentinamente otras especies de poca importancia llegaron a constituirse en un problema serio. Esto nos lleva a preguntar, ¿cuales son los componentes básicos del ecosistema en el cual estamos trabajando?, y ¿si cambiamos el arreglo de estos componentes, como modificamos la función del sistema?. Tal vez, esto sería el error inicial más serio al adoptar el uso tan ubicuo de los pesticidas; pues no se pensó en las interacciones entre los muchos componentes del ecosistema. Por ejemplo, al adoptar el uso de herbicidas en un campo, se introduce una nueva entrada al sistema agrícola, y en algunos casos, se elimina la entrada del control manual o mecánico de malezas. Estos cambios de entradas influyen sobre las interacciones de los componentes bióticos, e influyen sobre la función del sistema. Se puede

decir que se substituyó la entrada de energía humana por la entrada de energía química, además de afectar el componente malezas. ¿Qué efecto tuvo este cambio sobre el control de insectos?. Pues, si las malezas que escaparon del control mecánico servían como alimento para insectos benéficos, pero al ser eliminadas por el herbicida, puede ser necesario añadir otra entrada de energía química en la forma de un insecticida para combatir los insectos dañinos.

Un punto importante en la discusión de ecosistemas es el de reconocer el rol del ser humano. Frecuentemente, hoy en día, se oyen personas hablar de “condiciones naturales” o de la necesidad de “volver a sistemas naturales.” Muchas veces, implícito en estos comentarios está la idea de que el ser humano no es una parte de la naturaleza, o que el ser humano es un intruso reciente en la naturaleza. Creemos que tal punto de vista es equivocado y puede impedir el desarrollo de un programa razonable de manejo de plagas. Aunque, se crea que el ser humano esté en el universo por medio de procesos mecanísticos, tal como señala la teoría de la evolución, o por que fuera creado por un ser supremo (Dios), se debe reconocer al ser humano como parte integral del ecosistema global. Una vez establecido este hecho, es más fácil ver las actividades humanas como subsistemas de un sistema mayor. Kogan (1986) hace una fuerte argumentación acerca de que el ser humano es una fuerza dominante en la agricultura, determinando la estructura de comunidades al reducir la diversidad y limitando la competencia. Controla la composición genética de muchas especies y dirige factores tales como la fertilidad del suelo y el agua, para favorecer a los cultivos en su lucha en contra de las plagas. A la vez, la humanidad es básicamente dependiente del éxito de los sistemas agrícolas. Hay que decir que la humanidad y las plantas cultivadas han tenido una coevolución mutualista, en la cual ni el uno ni el otro puede sobrevivir por mucho tiempo, sin el otro. Aún, en los llamados ‘sistemas naturales’ de cazar y recolectar, hay disturbios, ya sea por un animal, o por un ser humano. El acto de cosechar frutos de un arbusto en un campo silvestre, o de matar un animal para comer, representa un disturbio significativo en aquel sistema. En la agricultura, algunos subsistemas tienen disturbios más grandes y más frecuentes que otros subsistemas agrícolas. En los sistemas con cultivos anuales donde se prepara la tierra con laboreos mecánicos y con cosechas anuales, los disturbios son más grandes y más frecuentes. Obviamente, la aplicación de un plaguicida representa un disturbio a ciertos componentes del sistema y todas estas actividades representan disturbios en algún ecosistema mayor. ¿Cual es el disturbio más significativo; el arar un campo, o el aplicar un herbicida al mismo campo sin arar, como suele hacer la mínima labranza?. La respuesta no es fácil porque hay muchos niveles que son afectados por ambas opciones. ¿Será válido entonces intentar identificar estos sistemas como ‘más naturales’ o ‘con menores disturbios’?.

Además de ser difícil definir sistemas como “sistemas naturales,” o ‘sistemas con menores disturbios’, es también difícil definir uno u otro sistema como ‘mejor,’ o ‘bueno’ o ‘malo.’ Toda definición o categorización va a ser influenciada por valores antropomórficos, los cuales dependen de las experiencias y variados factores en las vidas de las personas involucradas. Debemos preguntar, ¿en que sentido, se puede decir que cualquier sistema de 200 años atrás fue menos dañino a la ecología que cualquier sistema moderno?. Otra pregunta que impactaría por su respuesta sería, ¿se podría alimentar a la actual población mundial con sistemas de producción comunes apenas 200 años atrás?. A su vez otros

quisieran evaluar sistemas según la cantidad de 'insumos artificiales' que requieren. Otra medida será la cuestión de que ¿si los sistemas son sostenibles al largo de décadas o siglos, con una inversión mínima de insumos externos? . Esto también, requiere definir lo que es 'insumos externos'.

Todas estas medidas tienen aspectos válidos, y hay que considerarlas dentro del cuadro mayor. Tal vez, lo peor que podemos hacer es sugerir repuestas simples a problemas complejos. Creemos que es más válido buscar sistemas de producción con fundamentos ecológicos, que simplemente intentar volver a un sistema de la antigüedad, que apenas producía suficiente comida para una población humana mucho menor que la de hoy día. En gran medida, el 'diseño' de sistemas agrícolas modernos no fue el resultado de un proceso dirigido y guiado por conceptos de sistemas o de principios ecológicos, sino, fue el resultado de factores sociales y del desarrollo económico/industrial. Con la revolución industrial, hubo una migración enorme de personas de las zonas rurales hacia las ciudades, con la resultante escasez de mano de obra en las fincas, y por ende, los agricultores comenzaron a buscar implementos de mayor capacidad para aumentar el área que podrían trabajar en un día. Este proceso se aceleró con la introducción de tractores motorizados. Con un equipo de mayor capacidad, hubo una tendencia de aumentar el tamaño de los campos, resultando en una menor diversidad de cultivos. Fincas que antes tenían un mosaico de muchos campos pequeños de diferentes cultivos, quedaron como campos grandes de monocultivos. Esto produjo las condiciones ideales para el éxito de plagas, como bien lo resume Altieri (1987): campos grandes con monocultivos o con rotaciones frecuentes de pocas especies; producen una agregación de campos con pocas especies o cultivares, reduciendo el mosaico de diversidad a nivel regional; y un aumento en la densidad de plantas susceptibles a una plaga y finalmente un aumento en la uniformidad genética de cultivares comunes.

Así, se produjeron las condiciones ideales para la propagación extensiva de plagas: campos grandes con un solo cultivo susceptible a una plaga. Con el tiempo, grandes regiones fueron sembradas con pocos cultivos. La famosa peste de la papa en Irlanda en 1844/45, causada por el hongo *Phytophthora infestans*, es un ejemplo de un sistema agrícola con grandes extensiones de un cultivo susceptible a un patógeno. El tizón de la papa destruyó miles de hectáreas de este cultivo y murieron más de un millón de personas, y millares más tuvieron que emigrar a otros países (Irish Potato Famine, 2001; Agrios, 1997). Como ejemplo de la interrelación entre sistemas a muchos niveles, se han escrito libros enteros sobre el impacto en la estructura socio-económico de los EE.UU. causado por la inmigración de tantos Irlandeses como consecuencia de la peste de la papa.

Aunque no vamos a desarrollar el concepto de agroecología, vale reconocer su importancia. El término agroecología tiene varias definiciones, pero es un enfoque con vista no solamente en la producción, sino en la sostenibilidad ecológica (viabilidad ecológica a largo plazo) de sistemas de producción (Hecht, 1987). Implícito en el concepto está la idea de que el campo es un ecosistema en el cual hay muchos procesos ecológicos simultáneos, y si entendemos los procesos y las interacciones podemos desarrollar sistemas de producción que son ecológicamente y socialmente más sostenibles con menos dependencia de insumos

exógenos. Se supone que los ecosistemas con mayor diversidad de especies, tanto espacialmente como temporalmente, son más estables. Muchos de los científicos con este enfoque también valorizan el aspecto social, y cultural, además de la sabiduría y experiencia de las personas de origen indígena y sus sistemas de producción que provienen de siglos de práctica. Es un enfoque que merece mayor consideración para el desarrollo de sistemas de producción, sobre todo para pequeños productores en países en vías de desarrollo (Edwards, 1992; Altieri, 1991; Altieri 1987; Cox and Atakins, 1979; Norgaard, 1987, Hecht, 1987).

La Economía

La economía tiene que ser considerada como otro fundamento del MIP. Antes mencionamos la importancia de sistemas de producción que son ecológicamente sostenibles a largo plazo. Desde este punto de vista es esencial que un sistema sea económicamente viable a corto plazo si se espera que los agricultores lo acepten. Esto ha sido un problema con la adopción del MIP, porque la mayoría de los agricultores tienen presiones económicas a corto plazo, que supera las consideraciones económicas a largo plazo. Así, muchos agricultores planean y actúan con la vista al inmediato, y son temerosos del riesgo con un control que demora en proveer resultados positivos. A medida que se formalizaba el concepto de MIP, se aceptada la idea de que el MIP era más costoso porque requería mayores insumos; especialmente en cuanto a tiempo para acumular información esencial para la toma de decisiones como es la información sobre las poblaciones de plagas y de organismos benéficos (Kogan and Bajwa, 1999). Probablemente, todavía es correcto decir que el MIP es un sistema que depende de mayor información que la agricultura moderna clásica, la cual tiende a depender rutinariamente del uso de los pesticidas para manejar las plagas. Sin embargo, en muchos casos, una vez establecido, el MIP no es más costoso, y frecuentemente, puede tener hasta menos costos (Benbrook, 1996). Al discutir el factor económico del MIP, vale recordar que normalmente hay un periodo significativo de transición desde un sistema de control exclusivamente químico, a un sistema MIP. En algunos casos, se demora de tres a cinco años o más para llegar a un sistema de MIP maduro (Benbrook, 1996; Soon, 1996). Durante tal transición, pueden aparecer factores económicos que la hagan aun menos favorables al MIP. Sin embargo, en varios países en vías de desarrollo, el MIP ha resultado económicamente más eficiente que sistemas que dependían básicamente de los pesticidas para el manejo de plagas (Soon, 1996).

Uno de los problemas en cálculos económicos ha sido el de incluir costos sociales y al medio ambiente. Es fácil calcular el costo por hectárea de la aplicación de un pesticida u otros insumos. Pero, ¿como se calcula el costo de los efectos negativos sobre la salud de una persona afectada por un pesticida?. ¿Cuál es el costo real de una napa acuífera contaminada por un pesticida?. O, para ponerlo en términos positivos, ¿que valor tiene cuando se evitan tales problemas?. Cuando se incluyen tales costos/beneficios, el MIP puede ser significativamente ventajoso, aun en términos económicos. Son pocos los casos en que se tratan de incluir los costos a la sociedad y al medio ambiente, asociados con los pesticidas (Benbrook, 1996). Otro costo asociado con sistemas que son intensamente químicos será el costo de pesticidas perdidos por el problema de desarrollo de resistencia

o por daños al medio ambiente/vida silvestre, debido al uso indiscriminado de tal producto. Ciertamente, el DDT podría caer en esta categoría. Hasta hace poco el DDT fue una herramienta muy importante en la campaña contra la malaria. Un comité de la Academia Nacional de Ciencias de los EEUU. (National Academy of Sciences, 1970) declaró; "Hay muy pocos productos químicos con los cuales la humanidad tiene una deuda tan grande como la del DDT. En poco más de dos décadas, unos 500 millones de muertes a causa de la Malaria fueron evitadas gracias al DDT, y que de otro modo hubieran sido inevitables". Sin embargo, por el uso indiscriminado, sobre todo en la agricultura, muchos insectos desarrollaron resistencia al DDT, se acumuló en el medio ambiente y animales, incluyendo los humanos, y como consecuencia de esto, este producto de tanta utilidad fue eliminado del mercado mundial en la década de los 70's.

En muchos casos, todavía falta información precisa sobre los umbrales económicos para plagas específicas en muchas situaciones. Por ejemplo, ¿cuántas moscas blancas se pueden tolerar en un cultivo de algodón antes de justificar un programa de control?. ¿Qué costo económico se puede dar a tales programas?. En algunos casos hay que considerar umbrales estéticos como el caso de malezas en el prado frente a la casa. En otros casos, hay que considerar umbrales de salud humana (plantas o insectos que causan reacciones alérgicas o insectos que son vectores de enfermedades humanas), o umbrales de seguridad pública (cuando hay malezas que interfieren con la visión en las carreteras), o umbrales de molestia/incomodidad (¿cuántas moscas que muerdan a los niños en un parque, se puede aguantar antes de implementar un programa de control de estas? o ¿cuántas malezas con espinas se puede aguantar en el mismo parque, antes de comenzar un programa de control de malezas?), etc. En tales casos, las consideraciones económicas no son tan importantes en la decisión del tipo de intervención que se debe implementar. Sin embargo, la falta de estos datos económicos puede impedir la implementación de un programa de MIP, y sin duda, muchas veces por falta de una buena estimación de costos reales, no se adopta un programa de MIP.

MANEJO INTEGRADO

Manejo conlleva la idea de 'dirigir' o 'guiar' más que 'dominar,' como sucede con la palabra 'control'. Cate y Hinkle (1993) señalaron que, "en realidad, manejo no es un producto, sino que es un proceso continuo con metas y objetivos definidos. En el caso del MIP, manejo involucra la selección, integración, e implementación de tácticas de control de plagas, basados en consecuencias económicas, ecológicas, y sociales, para lograr metas agronómicas y ecológicas. ...Manejo de plagas está influido por ciclos e interacciones de poblaciones y principios ecológicos."

El manejo es un proceso por el cual se cambia una situación por manipulación y habilidad para lograr los propósitos particulares. A su vez, controlar es una meta; en el caso de plagas, esta será la de reducir la incidencia y severidad de un especie a niveles inocuos. La integración es coordinar o unir los componentes de un sistema para formar 'un todo unido' o 'una entidad unida.'

COMPONENTES A INTEGRAR

Podemos identificar por lo menos cuatro componentes que debemos integrar en una entidad unificada para el Manejo Integrado de Plagas. Estos son:

1. Los métodos de control de la plaga de interés.
2. El sistema de apoyo a la toma de decisiones, basado en una evaluación correcta de la situación de la plaga.
3. Las experiencias e informaciones acumuladas y el sentido común de los agricultores, científicos y otros especialistas
4. La certeza de que en el control de plagas, la decisión tomada para un componente del sistema afectará todos los demás componentes del ecosistema

TÁCTICAS DE CONTROL DE PLAGAS

Si consideramos la ecología y la economía como las bases de la casa MIP, se puede considerar las diferentes tácticas de control de plagas como las vigas del techo de la casa. Estas tácticas incluyen resistencia del hospedero, control físico, control cultural, control biológico (incluyendo las feromonas), control químico y control legal.

SELECCIÓN DE TÁCTICAS DE CONTROL

La selección, integración, e implementación de tácticas de control de plagas debe ser basada en los siguientes principios:

- Prevención de plagas
- Monitoreo y evaluación de las plagas, nivel de daños, y resultados posteriores de las intervenciones
- Umbrales: económico, estético, de salud, de seguridad pública, de molestia/incomodidad, etc.
- Uso del control físico, control cultural, control biológico, control químico, control legal, y resistencia del hospedero
- Uso compatible con el ecosistema si las demás tácticas no son adecuadas

INFORMACIÓN DE APOYO EN LA TOMA DE DECISIONES DE CONTROL

Para su máxima eficiencia, el MIP requiere más información que los sistemas que dependen básicamente de los pesticidas. Para implementar un programa de MIP el primer paso es el de ajustar la manera de pensar en el control de plagas; dándose cuenta de la dependencia e interdependencia de los muchos componentes del ecosistema. Con este ajuste, ya estamos preparados para utilizar información sobre el estado de la(s) plaga(s), los organismos benéficos, el (los) cultivo(s), el medio ambiente, los requisitos del mercado, precios de lo producido, etc. Para esto, hay varias maneras de recolectar información.

En vista de la variabilidad de términos en los diferentes países, definir algunos de ellos nos permitirán una mejor comprensión. El 'monitoreo' se refiere a la documentación (identificación/cuantificación) de las tendencias de las poblaciones y de la fenología de plagas y organismos benéficos. Se puede decir que es un proceso a través del tiempo. 'Prospectar' o 'levantamientos' (Scouting en Ingles), se refieren a la documentación de la biodiversidad de plagas y organismos benéficos y el desarrollo de registros históricos. El tomar muestras (muestreo) es determinar niveles poblacionales específicos de plagas y organismos benéficos en un campo o localidad específico, en un tiempo también específico. En contraste al monitoreo, el muestreo es un evento específico. Tal vez, la toma de muestras es el aspecto más abusado y más desagradable en el MIP. Kogan (1980) escribió que "el muestreo de poblaciones de artrópodos es la clave en la investigación básica en los agroecosistemas agrícolas, y la herramienta principal para construir e implementar un programa de manejo de insectos" A la vez, él repite las palabras de Morris (1966), "el muestreo es una combinación de arte, ciencia, y trabajo penoso."

El muestreo requiere un protocolo sistemático y específico para el cultivo/sitio de interés y para el estado de desarrollo específico de las plagas de interés en aquel medio ambiente. Sin embargo, el protocolo debe ser suficientemente simple para que los agricultores o los especialistas estén dispuestos a utilizarlo (Bechinski, 1994; Gerrit and Berberet, 1994). Bechinski (1994) sugiere que es esencial adaptar el proceso a los intereses y capacidades de los agricultores, prospectores y especialistas.

Para controlar el costo, se requiere hacer el muestreo lo más pequeño y al menor costo posible, pero que sea representativo de la población de interés. Además del tamaño de la muestra, hay que aprender como tomar una muestra en la forma más efectiva (Ruesink, 1980; Shepard, 1980). Hay que conocer el tipo de daño que causa la plaga en cada estado de desarrollo tanto de si misma como del cultivo. Por ejemplo, en el primer instar, *Anticarsia gemmatalis* (Hubner), come la epidermis y el mesófilo del envés de las hojas tiernas de la parte superior de una planta de soya. Al final del segundo instar, comienza a 'esqueletizar' la hoja por comer toda el material suave de la hoja, dejando solamente las venas. En los siguientes estados, come toda la hoja menos las venas grandes y el nervio central (Herzog and Todd, 1980). Por último, si la plaga de interés ataca las raíces, no es lógico buscarla en el follaje.

Con los nuevos modelos de grados días y otras medidas climatológicas, es posible anticipar el estado de desarrollo de ciertos insectos (y enfermedades en algunos casos), lo cual ayudará a determinar el tipo y tamaño de muestra que se debe tomar. El desarrollo futuro de modelos más precisos y para más insectos, va a facilitar el muestreo. Para ejemplos de algunos de los modelos disponibles vea la página principal del Integrated Plant Protection Center (<http://ippc.orst.edu/>). Ingresando a la página de "IPM Weather Data and Degree-Days for agricultural and pest management decision making in the Northwest" en: <http://www.orst.edu/Dept/IPPC/wea/> se pueden encontrar modelos para varios insectos. Otras universidades en sus páginas web presentan modelos parecidos. Para un catálogo de otros modelos, vea la página del Programa Estatal de Control Integrado de Plagas de la Universidad de California, en: <http://www.ipm.ucdavis.edu/PHENOLOGY/>

models.html

Uno de los impedimentos a la adopción del MIP es el costo adicional para llevar a cabo el programa, principalmente por requerir más mano de obra para el monitoreo y el muestreo. Consecuentemente, una aplicación preventiva de un pesticida puede ser económicamente más eficiente, sobre todo si el valor del producto o el costo de los plaguicidas son relativamente bajos (National Research Council, 2000, Babcock *et al.*, 1992). Sin embargo, algunos análisis indican que en muchas circunstancias, sistemas que dependen de los plaguicidas tienen mayores fluctuaciones y riesgos económicos que sistemas de MIP (National Reserach Council, 2000; Saha *et al.*, 1997; Horwitz and Lichtenberg, 1994; Babcock *et al.*, 1992; Pannell, 1991). Sin lugar a dudas hay una gran necesidad de educar a los agricultores y a los especialistas en estos hechos.

EL ROL DE INSECTICIDAS EN EL MIP

Una Herramienta Importante

El enfoque de este libro es básicamente sobre los insecticidas, y este capítulo, específicamente, el rol de los insecticidas en el MIP. Obviamente, cada situación va a presentar un caso diferente y especialmente un ecosistema o agroecosistema diferente. Sin embargo, hay que preguntar, ¿habrá un lugar para los insecticidas en el manejo de los insectos?. Respondemos en las palabras de los expertos: "El MIP es ecológicamente y ambientalmente el enfoque más lógico para el manejo de las plagas de artrópodos. Por lo general, los insecticidas y los acaricidas son empleados en sistemas de MIP solamente cuando otras medidas (Ej. biológico, cultural, resistencia de hospedero, físico, reglamentarias) fallan en mantener las poblaciones de plagas a niveles por debajo de los umbrales económicos. Por lo tanto es de suma importancia, que productos químicos efectivos estén disponibles para el éxito de la mayoría de los sistemas de MIP. El control químico tiene un rol primario e indispensable en la mayoría de los sistemas de MIP, especialmente en sistemas de cultivos anuales con un complejo múltiple de plagas. Además, probablemente los pesticidas quedarán como un componente integral y necesario de los sistemas de MIP en el futuro inmediato." (Graves *et al.*, 1999).

Croft (1990) expresa la misma idea al señalar que, "el énfasis reciente en MIP no solamente ha enseñado al especialista en control químico de plagas que debe apreciar y aprovechar del poder regulador natural de los artrópodos depredadores y parásitos, sino también ha convencido a los que insisten exclusivamente en el control biológico, de la necesidad del control químico de plagas en muchos cultivos, y del manejo de enemigos naturales dentro de las restricciones de los agroecosistemas que incluyen plaguicidas.

Una comisión de científicos distinguidos fue nombrada para examinar el rol futuro de los plaguicidas en la agricultura Estadounidense. Esta comisión concluyó que, "no se puede justificar el abandono completo de los plaguicidas como un componente de la caja de herramientas defensivas para el manejo de plagas, y por lo tanto el comité recomienda que se debe mantener una gran diversidad de herramientas para maximizar la flexibilidad,

la precisión, y la estabilidad del manejo de plagas (National Research Council, 2000).” Graves *et al.* (1999) están de acuerdo y declaran que, “cualquier uso de insecticidas tiene que llevar un enfoque ‘holístico’ (considerando el cuadro ecológico y biológico en su totalidad) con la meta de reducir la dependencia en los pesticidas. Es imperativo que se considere el uso de los productos químicos como un componente más de un sistema de manejo de plagas con bases ecológicas y biológicas, para conservar y prolongar la utilidad de un grupo cada vez menor de plaguicidas.”

Hay que evitar el abandono de un producto basado en pocos criterios. Por ejemplo, debido a su alta toxicidad a los mamíferos, y a su tendencia para contaminar aguas subterráneas, el registro del aldicarb para el cultivo de papa fue cancelado en 1998. En el estado de Oregon, EEUU, con el uso de aldicarb, fue posible cultivar la papa con apenas dos aplicaciones de insecticida por ciclo. Al eliminar este producto, fue necesario hacer de 4 a 8 aplicaciones de insecticidas por ciclo. La ‘carga química’ sobre el medio ambiente fue mucho mayor con los insecticidas alternativos. El fabricante eliminó la formulación líquida del producto (para reducir el potencial de envenenamiento al usuario), y con restricciones en la cantidad de agua de riego (para reducir la lixiviación a las aguas freáticas), este producto fue aprobado nuevamente para el cultivo de la papa. Además de reducir la carga química en el medio ambiente, este ha permitido un mejor manejo integrado de insectos en este cultivo (Reed, 2001*).

Insecticidas y la ecología

En cada cita anteriormente mencionada, al apoyar el uso continuo de los plaguicidas, los autores enfatizan la importancia de tomar en cuenta la ecología o los agroecosistemas. Al emplear un plaguicida, se debe preguntar, ¿que impacto va a tener este plaguicida sobre el sistema inmediato y al ecosistema mayor?. Esto incluye el impacto sobre la plaga de interés, las plagas secundarias, las especies benéficas, y todas las otras especies presentes en el área. Además, se deben considerar los demás recursos del medio ambiente, tales como el suelo y el agua.

Por lo general, los que defienden el uso futuro de los plaguicidas (Bradley, 2000; Croft, 1990; Graves *et al.*, 1999; National Research Council, 2000), están de acuerdo en la necesidad de reducir el uso de los compuestos de amplio espectro y emplear pesticidas con acción selectiva. Varios estudios han intentado determinar el impacto de los plaguicidas sobre los insectos benéficos (Croft, 1990; Theiling and Croft, 1988; Croft and Galón, 1982; y Croft and Brown, 1975). El análisis más completo sobre el tema es el de Croft (1990), en el cual resume los datos de más de 1500 reportes, sobre el impacto de unos 500 plaguicidas sobre más de 600 especies de artrópodos benéficos.

En general, los depredadores fueron menos susceptibles a los pesticidas que los parásitoides, aunque la respuesta de los primeros fue más variada. Los insecticidas tuvieron mayor

* Comunicación personal. Dr Gary Reed, Oregon State University Research and Extensión Center, Hermiston, Oregon.USA.

impacto sobre los artrópodos que los herbicidas y fungicidas. Además, los piretroides sintéticos fueron más tóxicos a los artrópodos benéficos que los demás insecticidas, mientras que productos como el Bt y los reguladores de crecimiento fueron los menos tóxicos. Benbrook (1996) hizo un análisis adicional de los datos de Croft (1990), y sugiere que, por la influencia de los insecticidas piretroides, la toxicidad a los artrópodos 'no-plaga' ha aumentado en los últimos años, pero los datos estadísticos que apoyan esta sugerencia no son muy concluyentes.

Graves *et al.* (1999) sugieren que hay que buscar maneras de aumentar la compatibilidad de los insecticidas con otras tácticas de control de insectos. Mencionan la posibilidad de buscar insecticidas con acción más específica, basada en el modo de acción de diferentes compuestos. Fisiológicamente, especificidad de acción de los insecticidas depende de varios factores en cada especie, tales como diferencias en la penetración de la cutícula, penetración en el sitio de acción, metabolismo (lo cual puede activar o inactivar ciertos pesticidas en ciertas especies), almacenamiento, y excreción por el insecto. Sin duda, se necesita más investigación en el desarrollo de insecticidas selectivos a los artrópodos benéficos.

Integración de nuevos insecticidas en el MIP

Hoy en día existe un nuevo grupo de plaguicidas, llamados Bio-plaguicidas, que incluye los plaguicidas microbiales, nematodos entomopatogénos, baculovirus, plaguicidas derivados de plantas, y las feromonas (Hall and Menn, 1999). Los bio-insecticidas representan aproximadamente el 4.5% del uso mundial de insecticidas, y se espera un incremento anual de 10-15% (Menn, 1996).

Hasta el momento, los bioinsecticidas de mayor importancia económica han sido las avermectinas, derivadas del proceso de la fermentación de una especie de *Streptomyces*, definida químicamente como lactonas macrocíclicas. Las más notables son abamectina (avermectina B1) y su análogo Emamectina benzoato (MK-244) (Hall and Menn, 1999). Estos productos generalmente son muy efectivos contra larvas de lepidópteros. Cabe destacarse, que en contraste con la mayoría de los bioplaguicidas, la toxicidad de la abamectina es muy alta (DL_{50} de 10.6-11.3 mg/kg) y la toxicidad de la emamectina es moderada (DL_{50} de 70 mg/kg), (Sparks *et al.*, 1999; EXTOWNET, 2001).

Otra clase de bioinsecticidas son las spinosinas, derivadas del proceso de la fermentación de especies de *Saccharopolyspora*. El producto más importante de este grupo es el Spinosad, el cual tiene excelente actividad contra larvas de Lepidopteros, Diptera, Thysanoptera, y algunos Coleoptera e Hymenoptera, en cultivos como algodón, hortalizas, frutales, y nueces, en dosis entre 50 a 180 gramos por hectárea. Con la combinación de eficacia contra las plagas, su margen de seguridad para los insectos benéficos, los organismos acuáticos y los mamíferos, va a tener un rol importante en los programas de MIP. Su modo de acción (afecta el sistema nervioso central) es muy diferente al de otros insecticidas por lo cual no se ha identificado resistencia cruzada. Debido a su modo de acción múltiple, se espera que el desarrollo de plagas resistentes a las spinosinas no sea muy rápido (Sparks *et al.*,

1999).

Para un detalle de nuevos bioplaguicidas de 8 a 10 grupos químicos diferentes, vea la discusión de Bradley (2000) y Larson (2001). Algunos de estos son compuestos con modos de acción muy diferentes a los conocidos hasta ahora. Usando productos con un modo de acción novedoso se podrá retrasar el desarrollo de resistencia de plagas contra los plaguicidas, y es importante extender la vida útil de muchos plaguicidas.

A comienzos de la década del 50, el número de insecticidas botánicos usados a nivel comercial en los países industrializados disminuyó en forma importante con el uso masivo de los insecticidas sintéticos. Pero, en los últimos 10 a 15 años nuevamente ha aumentado el interés en estos productos. En este grupo se encuentran el piretro o piretrinas (*Chrysanthemum cinerariaefolium*), nicotina (derivada de *Nicotiana tabacum*), rotenona (*Derris elliptica* y *Lonchocarpus* spp.), quassia (*Quassia amara*), ryania (*Ryania speciosa*) y sabadilla (de *Schoenocaulon officianale*). Estos productos tienen bastante uso con los llamados 'productores orgánicos' y seguramente seguirán con un rol importante en el manejo de plagas, especialmente en los casos de productores que quieren evitar el uso de pesticidas.

Los insecticidas a base de la bacteria *Bacillus thuringensis* (conocidos como Bt) tienen más de 20 años de uso, y continuarán ocupando un lugar importante en el MIP con el desarrollo de nuevas razas. Una de las preocupaciones es que con el desarrollo de organismos genéticamente modificados incorporando el gen de Bt en la planta, los insectos van a desarrollar resistencia a este producto. Todavía hay mucho que aprender sobre la mejor manera de reducir el desarrollo de resistencia de parte de los organismos plaga, especialmente con la siembra de más y más cultivos que contienen estos organismos. Hay que determinar si es posible retrasar el desarrollo de resistencia al mantener 'áreas de refugio,' para las plagas. ¿Bastará con simplemente sembrar cierto porcentaje de un campo con el cultivo tradicional?. Modelos teóricos han indicado que refugios y mezclas con plantas susceptibles pueden retardar el desarrollo de resistencia, sino evitarlo del todo.

Semioquímicos

Casi todo aspecto de la vida de los artrópodos es controlado por estímulos químicos. Los semioquímicos (del griego semeon, señal) son compuestos químicos que sirven de intermediarios en las interacciones entre organismos. Se puede dividir a los semioquímicos en aleloquímicos (interacciones entre organismos de diferentes especies; inter-específicas) y feromonas (interacciones entre organismos de la misma especie; intra-específicas). Los aleloquímicos son clasificados según el beneficio del mensaje sea para el 'receptor,' o el 'emisor,' respectivamente, como: alomonas (-,+), beneficio al emisor pero no al receptor; kairomonas (+,-) favorable al receptor pero no al emisor; y sinomonas (+,+) cuando es favorable tanto para el receptor y el emisor.

Tanto dentro de los aleloquímicos como de las feromonas, algunas veces es útil referirse a los productos químicos como disruptores, atrayentes, repelentes, disuasivos, estimulantes u otros términos descriptivos. Estos términos pueden indicar cuál es el comportamiento

involucrado en la respuesta tal como un estimulante para la alimentación o un disuasivo para el vuelo. Las feromonas (del griego *phereum*, llevar; *horman*, excitar o estimular) afectan el comportamiento asociado con la reproducción, la agregación y la dispersión (Flint y Doane, 2001; Knight y Weissling, 1999, Shorey, 1977).

Incluimos a los semioquímicos en esta discusión de insecticidas porque son herramientas sumamente importantes en el manejo de insectos. Además, la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los EE.UU. (U.S. Environmental Protection Agency; EPA) clasifica como 'plaguicida' todo compuesto químico que se usa para atraer, repelar, controlar o modificar el comportamiento o actividad de cualquier plaga. Los semioquímicos tienen varias ventajas sobre los insecticidas como que: a) generalmente son muy específicos según la especie, b) casi nunca afectan especies secundarias y poblaciones de enemigos naturales, y c) son poco tóxicos para los mamíferos.

El uso de los semioquímicos para controlar directamente o para mejorar el monitoreo de los insectos ha resultado en una reducción significativa del uso de insecticidas. Estos productos pueden ser usados para: la detección de plagas, el estudio de la ecología, dinámica de poblaciones y comportamiento de plagas; determinar la fenología de poblaciones; detectar el desarrollo de resistencia a insecticidas; interferir con la copulación y 'atraer y matar'. Por todo esto, son muy importantes en programas de MIP (Knight and Weissling, 1999; Beroza, 1976; Champion, 1984; Kydonieus and Beroza, 1982; Roelofs, 1981).

CONCLUSIONES

Tal vez podemos concluir citando a Larson (2001). "Los insecticidas sintéticos orgánicos siguen siendo imprescindibles para el éxito de sistemas de manejo de plagas. Estas herramientas son efectivas, de poca duración, dan solución cuando las poblaciones de plagas exceden los umbrales establecidos o cuando ocurren daños económicos. El enfoque de los fabricantes en el descubrimiento y desarrollo de nuevos insecticidas ha cambiado en la última década. Esto ha provocado que muchos productos que proveen un control muy selectivo actualmente están bajo desarrollo en todo el mundo. Estos nuevos productos representan el comienzo de una nueva era de opciones de plaguicidas de origen tanto natural como sintético. Esta era estará caracterizada por plaguicidas de dosis muy bajas, alta eficacia, selectividad y diseñados para 'ataques tácticos'. En muchos casos, estos productos requerirán mayor habilidad de manejo, pero serán mucho más compatibles con el medio ambiente, y especialmente con los organismos benéficos que proveen el control biológico".

Además, en las palabras de G.G. Kennedy (2000), "conceptualmente y prácticamente, manejo de plagas tiene que ser ligado al sistema de producción total...los sistemas de producción agrícola son dinámicos. Los cambios pueden ocurrir rápidamente...por lo cual la aplicación del MIP tiene que ser específico a cada lugar en particular". Lo que hemos intentado enfatizar en este capítulo es que hay que practicar el MIP con cierto concepto de sistemas con una base en la ecología local. Cuando se puede justificar el uso de los insecticidas dentro de tal marco, estos serán de gran beneficio y utilidad.

LITERATURA CITADA

- Agrios, G. N. 1997.** Plant Pathology. 4th Edition. Academia Press, San Diego, CA.
- Altieri, M.A. 1995.** Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture. Westview Press (Boulder /IT Publications (London).
- Altieri, M.A. 1994.** Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems. Food Products Press. New York.
- Altieri, M.A. 1993.** (ed) Crop Protection Strategies for Subsistence Farmers. Westview Press (Boulder)/IT Publications (London).
- Altieri, M.A. 1991.** Increasing biodiversity to improve pest management in agroecosystems. p. 165. In: D.L. Hawksworth (ed) The Biodiversity of Microorganisms and Invertebrates: Its Role in Sustainable Agriculture. C.A.B. Internacional, Redwood Press Ltd. Melksham.
- Altieri, M.A. 1987.** Agroecology, The Scientific Basis of Alternative Agriculture. Westview Press (Boulder)/IT Publications (London).
- Altieri, M.A., A. Yurjevic, J.M. Von der Weid, J. Sanchez. 1996.** Applying agroecology to improve peasant farming systems in Latina America: An impact assessment. p. 365. In: R. Costanza, O. Segura, and J. Martinez-Alier (eds) Getting down to earth: practical applications of ecological economics. Island Press. Washington, DC.
- Babcock, B.A., E. Lichtenberg, and D. Zilberman. 1992.** Impact of damage on the quality and quantity of output. *Am. J. of Ag. Ec.* 74:163-172.
- Bajwa, W., and Kogan, M. 1997.** Database of IPM Resources (DIR), an interactive information retrieval and referral system for internet IPM information. USDA National Agricultural Library Call No. SB950 W46 1997. Electronic Publication URL: <http://www.ipmnet.org/DIR>, Oregon State University, Corvallis, OR.
- Bechinski, E.J. 1994.** Designing and delivering in-the-field scouting programs. p. 683. In: L.P. Pedigo and G.D. Buntin (eds) Handbook of Sampling Methods for Arthropods in Agriculture. CRC Press. Boca Raton, FL.
- Becth, G. 1974.** Systems theory, the key to holism and reductionism. *Bioscience* 24(10):579-596.
- Benbrook, C.M. 1996.** Pest Management at the Crossroads. Consumers Union. New York.
- Beroza, M. 1976.** Control of the gypsy moth and other insects with behavior-controlling chemicals. p. 99. In: M. Beroza (ed) Pest management with Insect Sex Attractants. American Chemical Society. Washington, DC.
- Bradley, J.R., Jr. 2000.** Integrating new insecticides technologies in IPM. p. 384. In: G.G. Kennedy and T.B. Sutton (eds) Emerging Technologies for Integrated Pest Management: Concepts, Research, and Implementation. APS Press. St. Paul, MIN.

- Champion, D.G. 1984.** Survey of pheromone uses in pest control. p. 405. In: H.E. Hummel, T.A. Miller (eds) *Techniques in Pheromone Research*. Springer-Verlag, New York.
- Cox, G.W. and M.D. Atkins. 1979.** *Agricultural Ecology*. W.H. Freeman and Company, San Francisco.
- Croft, B.A. 1990.** *Arthropod Biological Control Agents and Pesticides*. John Wiley & Sons, New York.
- Edwards, C.A. 1992.** The role of agroecology in sustainable agriculture. p. 233. In: M. Shiyomi, E. Yano, H. Koizumi, S.A. Andow, and N. Hokyō (eds) *Ecological Processes In Agro-Ecosystems*. Yokendo Ltd. Tokio.
- EXTOXNET. 2001.** Pesticide Information Profiles. URL: <http://ace.orst.edu/info/extoxnet/>. Oregon State University, Corvallis, OR.
- Flint, H.M. and C.C. Doane. 2001.** Understanding semiochemicals with emphasis on insect sex pheromones in integrated pest management programs. In: E. B. Radcliffe and W.B. D. Hutchison (eds) *Radcliffe's IPM World Textbook*, URL: <http://ipmworld.umn.edu>, University of Minnesota, St. Paul, MN.
- Gerrit, W.C. and R.C. Berberet. 1994.** Training specialists in sampling procedures. p. 669. In: L.P. Pedigo and G.D. Buntin (eds) *Handbook of Sampling Methods for Arthropods in Agriculture*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Graves, J.B., B.R. Leonard, and J.A. Ottea. 1999.** Chemical approaches to managing arthropod pests. p. 449. In: J.R. Ruberson (ed) *Handbook of Pest Management*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Hall, F.R., and J.J. Menn. 1999.** Biopesticides; present status and future prospects. p. 1. In: F.R. Hall and J.J. Menn (eds) *Biopesticides Use and Delivery*. Humana Press Inc. New Jersey.
- Hart, Robert D. 1980.** *Agroecosistemas; Conceptos Básicos*. Centro Agonomico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.
- Hecht, S.B. 1987.** The Evolution of Agroecological Thought. p. 1. In: M.A. Altieri (ed) *Agroecology, The scientific Basis of Alternative Agriculture*. Westview Press (Boulder)/IT Publications (London).
- Herzog, D.C. and J.W. Todd. 1980.** p. 106. In: M. Kogan and D.C. Herzog (eds) *Sampling Methods in Soybean Entomology*. Springer-Verlag, New York.
- Horowitz, J.K., and E. Lichtenberg. 1994.** Risk-increasing and risk-reducing effects of pesticides. *J. Ag. Ec.* 45(1):82-89.
- Irish Potato Famine, 2001.** (On line) <http://www.american.edu/projects/mandala/TED/POTATO.HTM>
- Kennedy, G.G. 2000.** Perspectives on progress in IPM. p. 3. In: G.G. Kennedy and T.B. Sutton (eds) *Emerging Technologies for Integrated Pest Management*. APS Press, St. Paul, MN.

Knight, A.L. and T.J. Weissling. 1999. Behavior-modifying chemicals in management of arthropod pests. p. 521 In: J.R. Ruberson (ed) Handbook of Pest Management. Marcel Dekker, Inc. New York.

Kogan, Marcos. 1986. Ecological Theory and Integrated Pest Management Practice. John Wiley & Sons. New York.

Kogan, M. 1980. Preface. In: M.Kogan and D.C. Herzog (eds) Sampling Methods in Soybean Entomology. Springer-Verlag. New York.

Kogan, M. and W. Bajwa. 1999. Integrated Pest Management: A Global Reality? An. Soc. Entomol. Brasil 28(1).

Kogan, M. and J. Lattin. 1999. Agricultural Systems as Ecosystems. p. 1. In: J.R. Ruberson (ed) Handbook of Pest Management. Marcel Dekker, Inc. New York.

Kydonieus, A.F., and M. Beroza. 1982. Pheromones and their use. p.3. In: A.F. Kydonieus, and M. Beroza (eds) Insect Suppression With Controlled Release Pheromone Systems. CRC Press. Boca Raton, FL.

Larson, L.L. 2001. Novel organic and natural product insect management tools. In: E. B. Radcliffe and W.B. D. Hutchison (eds) Radcliffe's IPM World Textbook, URL: <http://ipmworld.umn.edu>, University of Minnesota, St. Paul, MN.

Menn, J.J. 1996. Biopesticides: Has their time come? J. Environ. Sci. Health. B31(3), 383-389.

Morris, R.F. 1960. Sampling insect populations. Ann. Rev. Entomol. 5:243-264.

National Academy of Sciences Committee on Research in the Life Sciences of the Committee on Science and Public Policy. 1970. The Life Sciences: Recent Progress and Application to Human Affairs. The World of Biological Research; Requirements for the Future. p. 427. National Academy of Science Press. Washington, DC.

National Research Council. 2000. The Future Role of Pesticides in US Agriculture. Board on Agriculture and Natural Resources and Board on Environmental Studies and Toxicology, Commission on Life Sciences. National Academy Press. Washington DC.

Newsom, L.D., and J.R. Brazzel. 1968. Pests and their control. p. 367. In: F.C. Elliot, M. Hoover, and W.K. Porter (eds) Advances in production and utilization of quality cotton: principles and practices. The Iowa State University Press, Ames, IA.

Norgaard, R.B. 1987. The epistemological basis of agroecology. p. 21. In: M.A. Altieri (ed) Agroecology, The scientific Basis of Alternative Agriculture. Westview Press (Boulder)/ IT Publications (London).

Odum, E.P. 1971. Fundamentals of Ecology. Sanders. Washington, DC.

Pannell, D.J. 1991. Pests and pesticides, risk and risk aversion. Ag. Ec. 5(4):361-383.

Roelofs, W.L. 1981. Attractive and aggregating pheromones. p.215. In: D.A. Nordlund, R.L. Jones, and W.J. Lewis (eds) *Semiochemicals, Their Role in Pest Control*. John Wiley & Sons. New York.

Ruesink, W.G. 1980. Introduction to sampling theory. p. 61. In: Kogan, M, and D.C. Herzog (eds) *Sampling Methods in Soybean Entomology*. Springer-Verlag. New York.

Saha, A., C.R. Shumway, and A. Havenner. 1997. The economics and econometrics of damage control. *Am. J. Ag. Ec.* 79:773-785.

Shepard, M. Sequential sampling plans for soybean arthropods. 1980. p. 79. In: Kogan, M, and D.C. Herzog (eds) *Sampling Methods in Soybean Entomology*. Springer-Verlag. New York.

Shorey, H.H., and J.J. McKelvey, Jr. 1977. Interaction of insects with their chemical environment. p. 1. In: H.H. Shorey and J.J. McKelvey, Jr. (eds) *Chemical Control of Insect Behavior; Theory and Application*. John Wiley & Sons. New York.

Smith, R.F., and W.W. Allen. 1954. Insect control and the balance of nature. *Sci. Am.* 190(6):38-42.

Soon, L.G. 1996. Integrated pest management in developing countries. p. 61. In: G.J. Persley (ed) *Biotechnology and Integrated Pest Management*. Biotechnology in Agriculture. No. 15. C.A.B. International. UK.

Sparks, T.C., G.D. Thompson, H.A. Kirst, M.B. Hertlein, J.S. Mynderse, J.R. Turner, and T.V. Worden. 1999. Fermentation-derived insect control agents. p. 171. In: F.R. Hall and J.J. Menn (eds) *Biopesticides Use and Delivery*. Humana Press Inc. New Jersey

Stern, V.M., R.F. Smith, R. van den Bosch, and K.S. Hagen. 1959. The integrated control concept. *Hilgardia*, 29:81-101.

Sutton, D.B., and N.P. Harmon. 1973. *Ecology; Selected Concepts*. John Wiley & Sons. New York.

Theiling, K.M. and B. Croft. 1988. Pesticide side-effects on arthropod natural enemies: A database summary. Unpublished manuscript, Oregon State University Department of Entomology. Corvallis, OR.

Thompson, G.D., S.H. Hutchins and T.C. Sparks. 2001. Development of spinosad and attributes of a new class of insect control products. In: E. B. Radcliffe and W.B. D. Hutchison (eds) *Radcliffe's IPM World Textbook*, URL: <http://ipmworld.umn.edu>, University of Minnesota, St. Paul, MN.

Von Bertalanffy, L. 1968. *General Systems Theory*. George Braziller: New York.

INSECTICIDAS Y RESISTENCIA VEGETAL

José Djair Vendramim
Cesáreo Rodríguez H.

INSECTICIDAS Y RESISTENCIA VEGETAL

3

José Djair Vendramim

Departamento de Entomología, Fitopatología y Zoología Agrícola
Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
Universidad de Sao Paulo
Piracicaba. Brasil

Cesáreo Rodríguez Hernández

Programa de Entomología y Acarología
Instituto de Fitosanidad
Colegio de Postgraduados
Montecillo. México

INTRODUCCIÓN

El control químico de plagas ha sido en los últimos 62 años una práctica frecuente en el ecosistema agrícola. Sin embargo, no obstante su eficiencia, ha provocado una gran cantidad de problemas, entre los cuales destacan la contaminación ambiental, desequilibrio ecológico, intoxicación a los usuarios, residuos en los alimentos y surgimiento de insectos resistentes a los productos aplicados. En este sentido se ha procurado disminuir el uso de estos productos por medio de la asociación con otras técnicas de control, en forma integrada, implementándose de esta manera los principios básicos del manejo integrado. Entre las técnicas alternativas que pueden asociarse al control químico se incluye el uso de variedades resistentes a plagas.

La utilización de insecticidas y variedades resistentes, de modo asociado, puede ser una táctica de importancia para hacer más eficiente el control de una plaga. De esta manera, en muchos casos en que no se obtiene un control satisfactorio por estos métodos en forma aislada, su combinación puede lograr buenos resultados. Adkisson y Dyck (1980) consideran que el uso de insecticidas, supervisado cuidadosamente, es la forma más común de control integrado involucrando a la resistencia vegetal, principalmente cuando se dispone de variedades con niveles bajos o moderados de resistencia. Esta interacción, entre variedades resistentes y control químico, se ha estudiado desde hace varias décadas en muchos países; sin embargo en Brasil, México y en otros países de Latinoamérica, apenas en los últimos años se han realizado investigaciones en esta área, incluyendo tanto insecticidas sintéticos (Gazzoni, 1995; Baldin y Lara, 1998) como insecticidas vegetales (Vendramim y Scampini, 1997; Vendramim y Torrecillas, 1998; Roel y Vendramim, 1999; Vendramim y Thomazini, 2001).

ASOCIACIÓN DE INSECTICIDAS CON RESISTENCIA VEGETAL

Un ejemplo de la asociación de resistencia vegetal con control químico es proporcionado por Brett et al. (1961) en el control del barrenador de las cucurbitáceas *Diaphania nitidalis* (Cramer) con lindano y carbaril en cultivares de calabaza con diferente grado de resistencia

(Cuadro 1). Basado en estos datos, se sustenta que solamente el cultivar Butternut 23, altamente resistente a *D. nitidalis*, exime al control químico y que los cultivares Summer Crookneck y Caserta son moderadamente resistente y susceptible, respectivamente, y que lindano es más eficiente que carbaril. El efecto del uso simultáneo de la resistencia de plantas y de insecticidas se puede observar mejor en los datos relativos al cultivar Summer Crookneck, puesto que su utilización en sustitución a 'Caserta' provoca una reducción de 23% en el total de frutos atacados, y con el uso de carbaril y lindano se presenta además una reducción adicional de 39 y 47%, respectivamente.

Cuadro 1. Efecto combinado de cultivares de calabaza e insecticidas sobre la infestación de *Diaphania nitidalis* (adaptada de Brett et al., 1961).

CULTIVARES	GRADO DE RESISTENCIA ¹	FRUTOS ATACADOS (%)		
		LINDANO	CARBARIL	SIN TRATAMIENTO
Butternut 23	AR	2	2	3
Summer Crookneck	MR	2	10	49
Caserta S	10	20	72	

¹AR = Altamente resistente; MR = Moderadamente resistente; S = Susceptible.

El principal objetivo de la utilización de variedades resistentes asociadas al control químico es reducir el número de aplicaciones y/o la dosis del insecticida a ser empleado. Esto es posible porque en una variedad resistente el crecimiento de la población del insecto es más lento y, así, tarda más tiempo en alcanzar el nivel de daño económico (NDE). Según van Emden (1991), en genotipos moderadamente resistentes, es posible reducir las concentraciones del insecticida sin disminuir el control de la plaga. Gazzoni (1995) incluye también como ventaja el hecho de que esta asociación puede permitir la utilización de insecticidas normalmente poco eficientes, pero además dotados de alguna característica que torna su uso conveniente.

La reducción del número de aplicaciones de un insecticida por el uso de genotipos resistentes se puede observar a través de los datos de Guevara (1963), referentes al control del curculionido del poroto verde *Apion godmani* (Wagner) en diferentes cultivares de frejol (Cuadro 2).

En el caso de que el NDE para esta plaga, en frejol, fuera de 2% de infestación, entonces se determinaría, mediante el Cuadro 2, que en el cultivar altamente resistente y en uno de los moderadamente resistentes (Méx. 228-7), se requieren dos aplicaciones de paratión metílico para evitar llegar a este nivel, mientras que en los demás cultivares es necesario hacer tres aplicaciones. En cambio, sí el NDE fuera de 5%, se determinaría con los datos del mismo cuadro que el cultivar altamente resistente no requiere del insecticida, una de las moderadamente resistentes (Méx. 228-7) requiere de una aplicación, la otra moderadamente resistente (Pue. 152) y las susceptibles necesitan dos aplicaciones, mientras que en la altamente susceptible es necesario realizar tres aplicaciones del insecticida.

Cuadro 2. Infestación (%) de *Apion godmani* en cultivares de frejol con diferente grado de resistencia en función del número de aplicaciones del insecticida paratión metílico (adaptado de Guevara, 1963).

CULTIVARES	GRADO DE RESISTENCIA ¹	NÚMERO DE APLICACIONES			
		0	1	2	3
Pinto 168	AR	4.2	2.2	0.2	0.1
Méx. 228-7	MR	12.0	4.7	1.0	0.0
Pue. 152	MR	17.0	11.2	2.7	0.7
Dgo. 224-42	S	38.8	13.6	3.4	0.1
Ch. 55-111-7	S	40.6	8.3	2.5	0.1
Negro mecentral	AS	67.2	22.0	6.5	0.1

¹AR = Altamente resistente; MR = Moderadamente resistente; S = Susceptible; AS = Altamente susceptible.

Teetes *et al.* (1975), al evaluar la población y los daños del pulgón *Schizaphis graminum* (Rondani) en genotipos de sorgo, con y sin empleo de insecticidas, también constataron variación en la necesidad del uso de control químico en función de la resistencia vegetal. Verificaron que el híbrido Tx 399 x Tx 2536 (S x R) no requiere de aplicación de insecticidas, pues la producción en las parcelas tratadas y no tratadas fue similar; para el híbrido TAM 621 x Tx 7000 (S x R), la producción fue menor en la parcela no tratada, sugiriendo la necesidad de por lo menos una aplicación de insecticida, mientras que para el híbrido S x S, la producción en la parcela no tratada se redujo a la mitad, indicando claramente la necesidad de control químico.

Por su parte Baldin y Lara (1998), con el objetivo de controlar el barrenador de las cucurbitáceas *D. nitidalis*, utilizaron tres genotipos de calabacita italiana asociados con el insecticida deltametrina, variando el número de aplicaciones de una a cuatro. Mediante este experimento constataron que el daño en los genotipos susceptibles, incluso con cuatro aplicaciones, fue superior al observado en el material resistente no tratado.

No obstante, que el material resistente ofrece un control efectivo de las plagas, hay casos en que el uso de insecticidas es necesario, pues la calidad de la producción reviste un aspecto importante. Esto fue constatado por Cuthbert y Davis (1979) que, sometiendo genotipos de caupí (*Vigna unguiculata*) al ataque de *Chalcodermus aeneus* Boh., verificaron que aunque se obtuvo un alto grado de control con los materiales resistentes, la población restante de insectos requiere ser controlada con insecticidas, dado que el caupí para industrialización debe estar totalmente libre de daño.

El control más eficiente de plagas con insecticidas en genotipos resistentes en relación a susceptibles, y que permite la reducción de la dosis o del número de aplicaciones de insecticidas, se ha constatado por diversos autores (McMillian *et al.*, 1972; Cate *et al.*, 1973; Parrott *et al.*, 1973; Schuster y Anderson, 1976; Kea *et al.*, 1978; Robinson *et al.*, 1978; Wood *et al.*, 1981; Alverson y Gorsuch, 1982; Moahmad y van Emden, 1989; van den Berg *et al.*, 1994; Gazzoni, 1995; Shelton *et al.*, 1998; Castro *et al.*, 2000).

Es importante destacar que en las asociaciones entre plantas resistentes y control químico, en algunos casos hay solamente efecto aditivo, mientras que en otras situaciones, se verifica algún tipo de interacción entre estas dos técnicas de control.

INTERACCIÓN DE INSECTICIDAS CON RESISTENCIA VEGETAL

El estudio de las interacciones entre insecticidas y plantas resistentes, con el objetivo de reducir el uso de estos productos, se ha efectuado desde hace varias décadas; sin embargo, aún no existen reglas generales, debido a que se han obtenido diferentes resultados. En este sentido, puede haber incremento o reducción de la susceptibilidad de la población del insecto al insecticida en diferentes niveles de resistencia en las plantas hospederas, incluso puede haber situaciones donde no haya efecto de la resistencia vegetal sobre la eficiencia del insecticida (Verkerk y Wright, 1996).

Los factores claves de importancia en la interacción insectos, insecticidas y plantas hospederas son: biodisponibilidad del insecticida en las diferentes superficies de la planta; susceptibilidad inherente del herbívoro; tasa de consumo foliar; relación entre área foliar consumida, tratada (con insecticida) y no tratada; dosis del insecticida en relación al peso del insecto; modo de acción del insecticida; y mecanismos de resistencia de la planta (Verkerk y Wright, 1996).

La variación del efecto de un insecticida en función de la planta hospedera se debe a varias razones, que se pueden resumir en: a) acción independiente y aditiva, b) efecto de la planta sobre el insecto, afectando la eficiencia del insecticida, y c) efecto del insecticida sobre la planta, afectando indirectamente al insecto.

Acción independiente y aditiva

Este tipo de interacción se presenta cuando los efectos de la planta resistente y del insecticida son independientes y se adicionan cuando se usan simultáneamente. Aunque se considera que la acción independiente y aditiva sea la situación más frecuente (Lara, 1991), normalmente es difícil comprobar la exclusividad de este tipo de acción. Esto porque, en la mayoría de las veces, ocurren complejas interacciones que involucran a la planta, al insecto y al insecticida, de tal forma que la causa de la mayor o menor eficiencia en el control de la plaga se torna difícil de ser identificada. La comprobación de la existencia de acción independiente y aditiva se podría admitir solamente en los casos en que la eficiencia del insecticida es semejante tanto en los genotipos resistentes como en los susceptibles. Según Vendramim (1990), un ejemplo de la existencia de este tipo de acción se puede evidenciar a través de los datos del Cuadro 3, los cuales relacionan la eficiencia de un insecticida en el control de una plaga con genotipos de diferente grado de resistencia.

De modo que en este caso, independientemente de la intensidad del control ejercido por los genotipos resistentes, la eficiencia del insecticida se mantiene constante y, consecuen-

temente la reducción en la población del insecto resulta de la acción independiente y aditiva de los dos métodos de control utilizados.

Cuadro 3. Ejemplo hipotético de acción independiente y aditiva entre genotipos y un insecticida en el control de una plaga (Vendramim, 1990).

GENOTIPO ¹	NÚMERO DE INSECTICIDAS/PLANTA		
	AR ²	MR ³	S
Testigo	50	75	100
Insecticidas ⁴	10	15	20

¹AR = Altamente resistente; MR = Moderadamente resistente; S = Susceptible. ²Reduce la población de la plaga en 50%; ³Reduce la población de la plaga en 25%; ⁴Eficiencia de 80%.

Efecto de los factores químicos y morfológicos de la planta sobre el insecto, afectando la eficiencia del insecticida

El nivel de control de un insecticida depende del estado fisiológico del insecto, lo que a su vez, se relaciona con el tipo y calidad del alimento (Berry et al., 1980; Wood et al., 1981; Verkerk y Wright, 1996), y principalmente de los aleloquímicos presentes en la hospedera.

La alteración de la susceptibilidad de un insecto a un insecticida en función del substrato en que se alimenta se ha mencionado en diversos trabajos. Un ejemplo de esta alteración se puede constatar a través de los datos de Kea et al. (1978), quienes evaluaron la eficiencia de metomil, paratión metílico y de un insecticida biológico a base de *Bacillus thuringiensis* Berliner (Bt) en el control de larvas de *Helicoverpa zea* (Bod.) y *Pseudoplusia includens* (Walker), alimentadas en genotipos resistente y susceptible de soya (Cuadros 4 y 5). Con metomil y Bt se redujo la DL₅₀ en las larvas de *H. zea* alimentadas con el genotipo ED 73-371 (resistente) en comparación a las larvas alimentadas en 'Bragg' (susceptible), no habiendo diferencia entre genotipos con paratión metílico. En cambio para *P. includens*, la DL₅₀ se redujo en larvas alimentadas en el genotipo resistente con paratión metílico, no difiriendo para metomil y Bt (Cuadro 4). Esta mayor eficiencia al menos en parte se debió, probablemente, al menor tamaño del insecto, puesto que las larvas que se alimentaron de las hojas del genotipo resistente pesaron menos que las alimentadas en el genotipo susceptible.

Cuadro 4. DL₅₀ (μg/g) de tres insecticidas para larvas de *Helicoverpa zea* y *Pseudoplusia includens* alimentadas en los genotipos de soya Bragg (susceptible) y ED 73-371 (resistente) (adaptada de Kea et al., 1978).

INSECTO	INSECTICIDA	GENOTIPO ¹	
		BRAGG	ED 73-371
H. zea	Paratión metílico	5.9 a	7.8 a
	Metomil	13.4 a	6.8 b
	<i>Bacillus thuringiensis</i>	1,195.2 a	566.2 b
P. includens	Paratión metílico	87.7 a	21.8 b
	Metomil	2.2 a	1.8 a
	<i>Bacillus thuringiensis</i>	40.9 a	16.8 a

¹Medias seguidas de la misma letra, entre las líneas, no difieren entre sí (P<α.05).

Los datos obtenidos para *H. zea*, en condiciones de campo (Cuadro 5), confirmaron la mayor eficiencia de los insecticidas para insectos criados en el material resistente, aunque para el metomil la diferencia no haya sido significativa. De esta manera, según Kea et al. (1978), la incorporación de factores de resistencia en materiales comerciales puede permitir el uso de dosis menores de insecticida para el control de la plaga. Además, complementaron, los datos obtenidos con Bt indican que este producto, normalmente poco eficiente contra *H. zea*, puede tomarse eficiente en asociación con genotipos resistentes.

Cuadro 5. Eficiencia (%) de tres insecticidas en el control de *Helicoverpa zea* en los genotipos de soya Bragg (susceptible) y ED 73-371 (resistente) (adaptada de Kea et al., 1978).

INSECTICIDA	DOSIS	GENOTIPO ¹	
		BRAGG	ED 73-371
Paratión metílico	0.070 kg/ha	29.0 a	47.5 a
	0.035 kg/ha	25.0 a	56.6 b
	Media	27.0 a	52.1 b
Metomil	0.035 kg/ha	57.1 a	74.7 a
	0.018 kg/ha	34.2 a	52.5 a
	Media	45.7 a	63.6 a
<i>Bacillus thuringiensis</i>	2.2x10 ⁹ UI/ha	6.2 a	67.8 b
	1.1x10 ⁹ UI/ha	2.6 a	44.2 a
	Media	4.4 a	56.0 b

¹Medias seguidas de la misma letra, entre las líneas, no difieren entre sí (P<α.0,05).

Wood et al. (1981) criaron larvas de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) en varias plantas hospederas con la finalidad de determinar la susceptibilidad a insecticidas. Las larvas criadas en mijo perla (*Pennisetum glaucum*) fueron seis veces más susceptibles a triclorfón que las criadas en las otras hospederas, mientras que las criadas en gramilla y mijo perla fueron más susceptibles a carbaril y permetrina que las criadas en maíz, algodón y soya (Cuadro 6). Situación semejante se observó por Mohamad y van Emden (1989), quienes constataron una reducción en la tolerancia al malatión en la población del pulgón *Myzus persicae* (Sulz.) en un cultivar resistente de col de bruselas en comparación a las poblaciones criadas en otros materiales.

Robertson et al. (1990), observaron variación en las respuestas de poblaciones susceptibles y resistentes a azinfós metílico de larvas de *Epiphyas postvittana* (Walker) alimentadas con diferentes hospederas, lo que confirma la influencia del alimento en la susceptibilidad del insecto a los insecticidas. De acuerdo a estos autores, las respuestas de insectos resistentes a los insecticidas pueden reflejar los efectos metabólicos relacionados a la planta hospedera y no solo la resistencia de base genética.

Cuadro 6. Respuestas toxicológicas a insecticidas de larvas de *Spodoptera frugiperda*, criadas en cinco plantas hospederas (adaptada de Wood et al., 1981).

PLANTA	DL ₅₀ (µg/larva)			
	PARATIÓN METÁLICO	TRICLORFÓN	PERMETRINA	CARBARIL
Gramilla	0.118	0.500	0.002	0.270
Maíz	0.126	0.527	0.007	0.970
Algodón	0.106	0.592	0.005	0.920
Mijo perla	0.108	0.072	0.003	0.180
Soya	0.106	0.465	0.004	0.920

¹Medias seguidas de la misma letra, entre las líneas, no difieren entre sí (Pαα.05).

Van den Berg et al. (1994) constataron la influencia de la resistencia de plantas de sorgo en la eficiencia de los insecticidas endosulfán y deltametrina sobre los barrenadores *Chilo partellus* (Swinhoe) y *Busseola fusca* (Fuller) (Cuadro 7); donde se incrementó la eficiencia del insecticida en el control de las dos especies de barrenadores en la línea resistente comparada con la línea susceptible. En lo que se refiere a *C. partellus*, ésto se atribuyó a la antibiosis, caracterizada por la presencia de sustancias tóxicas u otros factores de resistencia, que causaron estrés o fueron inapropiados nutricionalmente al insecto. En contraste en *B. fusca*, el aumento de la eficiencia del control químico se debió a la presencia de antixenosis en la línea resistente, caracterizada por el aumento de la migración como consecuencia del estrés sufrido por las larvas.

Cuadro 7. Influencia de la resistencia de plantas y de la aplicación de insecticidas en la sobrevivencia larval y producción de sorgo infestado artificialmente con *Chilo partellus* y *Busseola fusca* (adaptada de van den Berg et al., 1994).

LÍNEAS ¹	Nº DE LARVAS SOBREVIVIENTES ²		PRODUCCIÓN (g)/PARCELAS ²	
	<i>C. partellus</i>	<i>B. fusca</i>	<i>C. partellus</i>	<i>B. fusca</i>
R (tratada)	14.3 a	14.4 a	232.0 b	266.9 bc
R (no tratada)	32.9 c	27.3 a	226.1 b	202.5 b
S (tratada)	19.0 ab	23.3 ab	179.9 ab	175.9 ab
S (no tratada)	25.9 bc	41.6 c	122.5 a	82.4 a
R (no infestada)	-	-	401.3 c	401.3 d
S (no infestada)	-	-	341.2 c	341.2 cd

¹R = Resistente; S = Susceptible. ²Medias seguidas de la misma letra, entre las líneas, no difieren entre sí (Paα.05).

Gazzoni (1995), al evaluar el control químico de chinches en dos cultivares de soya (una resistente y una susceptible) constató interacción significativa de estos dos factores de control. En la primera evaluación, realizada a los tres días después de la aplicación de los insecticidas, la mortalidad de las ninfas en el cultivar resistente fue superior en 50% a la registrada en el cultivar susceptible; diferencia que se mantuvo en las evaluaciones subsecuentes. La interacción entre el insecticida y la resistencia genética se acentuó con el aumento del tiempo de alimentación de las chinches en los cultivares resistente y, principalmente, cuando se utilizaron insecticidas y/o dosis reconocidamente poco eficientes para los insectos. De acuerdo con el autor, las diferencias en el tipo y cantidad de aleloquímicos presentes en la planta pueden ser al menos parcialmente responsables de la actuación diferencial de los insecticidas.

La interacción entre resistencia genética y control químico también se ha observado con sustancias obtenidas de plantas insecticidas. Al respecto, Vendramim y Scampini (1997), evaluaron el desarrollo de larvas de *S. frugiperda* en genotipos de maíz resistente y susceptible tratados con extractos acuosos de cinamomo (*Melia azedarach*), y encontraron que la mortalidad larval fue mayor para los insectos provenientes del material resistente comparada con el susceptible (Cuadro 8). Esta mayor mortalidad probablemente se debió al efecto deletéreo del genotipo resistente sobre el insecto, ya que en este material se prolongó la fase larval y hubo menor peso en las larvas de ocho días de edad.

Resultados similares se obtuvieron con la utilización de genotipos resistentes de maíz y extractos de la meliácea *Trichilia pallida* en esta misma plaga (Vendramim y Torrecillas, 1998; Roel y Vendramim, 1999).

Cuadro 8. Mortalidad larval (%) de *Spodoptera frugiperda* en hojas de genotipos de maíz resistente (Mp 707) y susceptible (IAC 7777), tratados con extracto acuoso de cinamomo *Melia azedarach* (adaptada de Vendramim y Scampini (1997)).

GENOTIPO	EXTRACTO		MEDIA ¹
	CON	SIN	
IAC 7777	22.22	31.67	26.94 a
Mp 707	38.52	69.35	46.07 b
Media ¹	30.37 A	50.51 B	

¹Medias seguidas de la misma letra (mayúsculas en las líneas y minúsculas en las columnas), no difieren entre sí [P<α.05].

En muchos casos, la alteración de la susceptibilidad de un insecto a un insecticida en función del alimento ingerido se debe al menor peso del insecto criado en los materiales resistentes. Esto, porque cuando el genotipo resistente actúa sobre el desarrollo del insecto, tornándolo menor que los desarrollados en materiales susceptibles, puede suponerse que ese individuo será más afectado por el insecticida debido a su menor peso. En este sentido, las diferencias en el peso del insecto contribuyen en pequeña parte a este efecto, atribuyéndose el efecto principal al estrés que el insecto sufre al desarrollarse en la planta resistente (van Emden, 1991; van den Berg *et al.*, 1994).

La reducción del peso o del vigor del insecto en una planta hospedera puede ser una repercusión del menor consumo, debido a la menor adecuación nutricional de esa planta o a la presencia de aleloquímicos. Cuando éstos tienen función fagodeterrente, la menor ganancia de peso se debe simplemente al menor consumo de alimento. Ante la presencia de aleloquímicos con acción antibiótica, incluso manteniéndose inalterada la tasa de consumo, el insecto tendrá que desviar nutrientes destinados a ganar biomasa, para usarlos en el proceso de destoxicación, por lo tanto la ganancia de peso será menor.

El aumento de susceptibilidad a un insecticida en insectos con menor peso, no debe, sin embargo, constituirse en una regla general, puesto que individuos menores pueden, además de recibir menor dosis de tóxico, también desarrollar mecanismos que lo tornen más tolerante al producto mencionado. Un ejemplo de este efecto se deriva del trabajo de Potter y Gillham (1957) que, criando el pulgón *Acyrtosiphon pisum* (Harris) en *Trifolium pratense*, constataron que, aunque en esta planta los individuos hayan sido menores que los criados en *Vicia faba*, también fueron más resistentes al insecticida rotenona, incluso recibiendo mayor dosis por unidad de peso.

En algunos casos el aumento de la tolerancia de los insectos a los insecticidas en función de la planta hospedera puede deberse a la presencia de aleloquímicos en la planta, los cuales aumentan la actividad de las enzimas responsables de la degradación del insecticida en el insecto, por consiguiente se altera la susceptibilidad del insecto al insecticida. Un ejemplo de este efecto se sustenta en el trabajo de Kennedy (1984), quien comprobó que las larvas de *H. zea* alimentadas con la línea resistente PI 134417 de tomate presentaron

elevados niveles de tolerancia al insecticida carbaril. El análisis posterior que se realizó del intestino de las larvas indicó que la exposición de éstas al aleloquímico 2-tridecanona (presente en la línea mencionada) incrementó el nivel de citocromo P-450, el cual está involucrado en la inducción a la tolerancia de las larvas (Kennedy *et al.*, 1987). Por su parte, Rose *et al.* (1991) constataron que además de la 2-tridecanona, la nicotina también induce el aumento del nivel de citocromo P-450.

De acuerdo con van Emden (1991), el aumento de la tolerancia de insectos a insecticidas es más frecuente en materiales altamente resistentes. Por esta razón, el autor considera que las plantas transgénicas (generalmente con alta resistencia) son menos interesantes que las no transgénicas para la asociación con insecticidas.

El efecto de aleloquímicos sobre las enzimas involucradas en el metabolismo de los insecticidas en el cuerpo de los insectos ha sido destacado por diversos autores (Brattsten *et al.*, 1977; Berry *et al.*, 1980; Kennedy, 1984; Yu, 1984; Robertson *et al.*, 1990; Verkerk y Wright, 1996).

La variación en el efecto de un insecticida en función de la planta hospedera del insecto también depende de las características morfológicas de la planta, las cuales proporcionan diferente grado de cobertura del insecticida en las estructuras vegetales. Un ejemplo de que las características morfológicas favorecen la eficiencia del insecticida se puede tomar del trabajo de Parrott *et al.* (1973), quienes evaluaron el efecto de dos insecticidas en el control del curculionido *Anthonomus grandis* Boh. en dos cultivares de algodón; uno con bracteas normales y otro con bracteas tipo frego (resistente al insecto) (Cuadro 9). En este experimento se verificó que la mortalidad del curculionido fue mayor, para los dos insecticidas, en el cultivar con bractea frego. El paratión metílico fue más eficiente que el azinfós metílico, provocando mortalidad superior al 90% en el cultivar frego y alrededor de 50% en el cultivar normal. El hecho de haber sido mayor la eficiencia del paratión metílico en el cultivar frego, siendo apenas ligeramente superior la deposición del insecticida en este genotipo, explica que la mayor deposición del insecticida en este material fue proporcionalmente mayor en el botón (donde el curculionido se alimenta y oviposita) que en las bracteas, en comparación con el cultivar normal.

Resultados similares obtuvieron Schuster y Anderson (1976) en algodón con bracteas glabras tipo frego, donde aumentó la eficiencia de los insecticidas azinfós metílico, metomil y paratión metílico sobre *Heliothis* spp., verificándose en este material menor población larval y menor daño que en el cultivar con bracteas normales. De esta manera, las características glabra y frego de la bractea tuvieron efecto aditivo sobre la reducción del número de huevecillos de *Heliothis* spp. En contraste la ausencia de nectáreos no influyó en el control de las larvas, cuando se combinan con bractea glabra tipo frego, ni cuando se combinó solamente con bractea frego.

Efecto del insecticida sobre la planta, afectando indirectamente al insecto

La acción de insecticidas sobre la planta, influyendo favorable o desfavorablemente a los insectos, se ha mencionado con frecuencia en la literatura. Según la Teoría de la Trofobiosis (Chaboussou, 1999), esto ocurre, debido a la propiedad que ciertos productos químicos

Cuadro 9. Mortalidad de *Anthonomus grandis* y deposición de insecticidas sobre bellotas de algodón con bractea normal (N) y de tipo frego (F) (adaptada de Parrott et al., 1973).

TRATAMIENTO		MORTALIDAD (%)		BELLOTAS (%) CON DOSIS SUFICIENTE PARA MATAR UN INDIVIDUO	
		24 h	48h	24 h	48 h
Testigo	N	2.3	8.2	6.5	24.0
	F	2.8	5.8	9.0	17.5
Paratión metílico	N	43.0	53.9	80.0	70.0
	F	95.0	93.0	90.0	85.0
Azinós metílico	N	0.6	2.7	3.5	7.5
	F	10.2	28.2	25.0	48.5

(entre los cuales se incluyen los insecticidas) tienen de interferir en ciertos procesos bioquímicos de la planta, como, por ejemplo, la proteosíntesis y la proteólisis. De modo que, los productos que inhiben la proteosíntesis y aquellos que estimulan la proteólisis aumentan la cantidad de compuestos nitrogenados solubles (principalmente aminoácidos libres), en los tejidos vegetales. Lo cual, de acuerdo al autor; incrementa la susceptibilidad de la planta a los insectos, debido al enriquecimiento nutricional del substrato alimenticio. En cambio, en el caso de productos que provocan la estimulación de la proteosíntesis o la inhibición de la proteólisis, sucede lo contrario; un incremento de la resistencia de la planta a las plagas. Efectos similares a éstos menciona este autor en ácaros alimentados en plantas tratadas con acaricidas.

Además de los efectos sobre la síntesis y la degradación de proteínas, Chaboussou (1999) indicó que algunos insecticidas pueden también alterar otros procesos fisiológicos de la planta, provocando variaciones en las concentraciones de azúcares libres, almidón, macro y micronutrientes, etc., lo que también puede influir en la resistencia de la planta a los insectos. Como ejemplo de este efecto, el autor menciona el aumento de la fecundidad del pulgón *Aphis fabae*, alimentado de ápices florales de remolacha *Beta vulgaris*, tratado con DDT, lo que se debió a la mayor concentración de nitrógeno no proteico en la planta, provocado por la inhibición de la proteosíntesis.

Por otro lado, Luckmann (1960) también registró aumento de la población de larvas de *Ostrinia nubilalis* (Hueb.) al aplicar dieldrin contra el escarabajo japonés (*Popillia japonica* Newman) en maíz. Caso semejante se observó por Ravindrhan y Xavier (1997), quienes constataron altas poblaciones de *Aphis gossypii* Glover en algodón tratado con los piretroides cipermetrina y deltametrina, y asociaron este aumento poblacional a altas concentracio-

nes de azúcar y bajas concentraciones de fenoles. Además, mencionaron que la actividad de las peroxidases y de la polifenol oxidasa fue mayor en hojas tratadas con los insecticidas, y que el resurgimiento de la población de pulgones se debió a la reducción del ácido trans-cinámico.

Otros casos de aumento en la población de plagas después de la aplicación de insecticidas se pueden encontrar en Chaboussou (1999).

El efecto del insecticida en los genotipos puede ser diferente a lo descrito anteriormente, como lo demostró Mueke *et al.* (1978), al evaluar el efecto del insecticida leptofós en la población del pulgón *A. pisum* en cuatro cultivares de alfalfa, dos resistentes y dos susceptibles, y encontrar que la población del pulgón se incrementó en los cultivares susceptibles tratados con el insecticida en relación a las respectivas parcelas no tratadas; efecto no observado en los cultivares resistentes. Aunque en este caso no haya sido observada una interacción positiva del insecticida con la planta tratada, el ejemplo es útil para demostrar la existencia de la interacción y evidenciar la posibilidad de que los insecticidas, alterando la fisiología de genotipos resistentes, puedan contribuir al aumento de la resistencia vegetal.

Respecto al aumento de la población de insectos, provocado por la utilización de productos químicos, se debe considerar que en muchos casos esto no se debe a la alteración de la fisiología de la planta, sino al efecto directo del insecticida sobre el insecto, estimulando su reproducción, o al efecto indirecto resultante de la destrucción de los enemigos naturales.

CONSIDERACIONES FINALES

La obtención de cultivares con alto grado de resistencia a insectos y, al mismo tiempo, con buenas características agronómicas, normalmente demanda mucho tiempo y grandes recursos. Por lo que estos cultivares altamente resistentes, teóricamente, podrían cultivarse sin el uso de insecticidas. Tales materiales, justamente por ser altamente resistentes, provocan alta presión de selección sobre la población del insecto, aumentando con el tiempo la probabilidad de surgimiento de bióticos, que al cambiar dejan de ser afectados por los factores de resistencia de la planta. En este contexto, los cultivares con resistencia moderada presentan normalmente ventajas para utilizarse en asociaciones con el control químico, permitiendo la reducción del uso de insecticidas, sea a través del menor número de aplicaciones o de la disminución de la dosis empleada.

Los diversos resultados plasmados en el presente capítulo evidencian que no siempre la asociación de planta resistente con control químico es positiva, ya que en algunos casos la planta resistente torna al insecto más tolerante al insecticida. En este sentido, se ha constatado que los insectos criados en diferentes hospederas (cultivares, especies o genotipos) pueden presentar distinta susceptibilidad a los insecticidas, pues existe una interacción entre el insecticida y la planta. Por lo tanto, es posible estudiar el efecto aislado del cultivar resistente sobre el insecto, pero es difícil conocer exactamente el efecto de un insecticida sobre el insecto que se alimenta en la planta, pues este efecto depende de las interacciones

del insecticida con la planta hospedera y el insecto. Para el mejor entendimiento de estas interacciones, los estudios con plantas resistentes deberían incluir el efecto de la planta hospedera en la susceptibilidad del insecto al insecticida, ya que se pueden utilizar plantas que tornen al insecto más susceptible o más tolerante al insecticida.

Además de esto, cada caso debe estudiarse aisladamente para explicar el posible tipo de interacción involucrado. El empleo de insecticidas en plantas resistentes deberá entonces estimularse solo cuando esta asociación lleve a una acción aditiva o sinérgica entre estas dos técnicas de control, situación en que el producto químico podrá utilizarse en menor dosis y/o menor número de aplicaciones. En este caso habrá una serie de ventajas, como menor mortalidad de insectos benéficos, preservación de la calidad del ambiente y reducción en la probabilidad del surgimiento de biotipos del insecto resistentes al insecticida. Además de incentivarse el manejo integrado del ecosistema, se tomará menos oneroso el control de plagas, lo que obviamente, es uno de los aspectos más importantes a considerar, en términos de entomología económica.

Agradecimientos

A la Dra. Laura Delia Ortega Arenas, Profesora Investigadora del Instituto de Fitosanidad del Colegio de Postgraduados de Montecillo, Texcoco, México, por sus aportes significativos, derivados de la revisión técnica a este escrito.

LITERATURA CITADA

Adkisson, P.L. y V.A. Dyck. 1980. Resistant varieties in pest management systems. p. 233-251. In: F.G. Maxwellly y P.R. Jennings. Breeding plants resistant to insects. John Wiley & Sons, New York.

Alverson, D.R. y C.S. Gorsuch. 1982. Evaluation of chrysanthemum cultivars and insecticides for control of damage by a leafminer, *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae). J. Econ. Entomol. 75: 888-891.

Baldin, E.L.L. y F.M. Lara. 1998. Interação de genótipos de abobrinha italiana com inseticida no controle da broca das cucurbitáceas *Diaphania nitidalis* Cr. An. Soc. Entomol. Brasil, 27: 621-626.

Berry, R.E., S.J. Yu y L.C. Terriere. 1980. Influence of host plants on insecticide metabolism and management of variegated cutworm. J. Econ. Entomol. 73: 771-774.

Brattsten, L.B., C.F. Wilkinson y T. Eisner. 1977. Herbivore-plant interactions: mixed-function oxidases and secondary plant substances. Science 196: 1349-1352.

Brett, C.H., C.L. McCombs y D.M. Daugherty. 1961. Resistance of squash varieties to the pickleworm and the value of resistance to insecticidal control. J. Econ. Entomol. 54: 1191-1197.

Castro, B.A., T.J. Riley y B.R. Leonard. 2000. Evaluation of planting date, sorghum hybrid, and insecticide treatment on sorghum midge (Diptera: Cecidomyiidae) management in Northeast Louisiana. J. Econ. Entomol. 93: 1199-1206.

Cate, J.R., D.G. Bottrell y G.L. Teetes. 1973. Management of the greenbug on grain sorghums. I. Testing foliar treatments of insecticides against greenbug and corn leaf aphid. J. Econ. Entomol. 66: 945-951.

Chaboussou, F. 1999. Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria da trofobiose. Trad. de M.J. Guazzelli. 2a ed. L&PM, Porto Alegre, Brasil. 272p.

Cuthbert, F.P. y R.L. Davis. 1979. Value of plant resistant for reducing cowpea curculio damage to the Southernpea *Vigna unguiculata* (L.). J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104: 199-201.

Gazzoni, D.L. 1995. Efeito associado de cultivar e inseticida no controle de percevejos (Heteroptera: Pentatomidae) que atacam a soja. An. Soc. Entomol. Brasil, 24: 105-114.

Guevara C., J. 1963. El combate del picudo del ejote mediante la combinación de variedades resistentes y insecticidas. Agr. Téc. Méx. 12: 17-19.

Kea, W. C., S.G. Turnipseed y G.R. Carner. 1978. Influence of resistant soybeans on the susceptibility of lepidopterous pests to insecticides. J. Econ. Entomol. 71: 58-60.

Kennedy, G.G. 1984. 2-Tridecanone, tomatoes and *Heliothis zea*: potential incompatibility of plant antibiosis with insecticidal control. Entomol. Exp. Appl. 35: 305-311.

Kennedy, G.G., R.R. Farrar Jr. y M.R. Riskallah. 1987. Induced tolerance of neonate *Heliothis zea* to host plant allelochemicals and carbaryl following incubation of eggs on foliage of *Lycopersicon hirsutum* f. *glabratum*. Oecologia 73: 615-620.

Lara, F.M. 1991. Princípios de resistência de plantas a insetos. 2.ed. Ícone, São Paulo, Brasil. 336p.

Luckmann, W.H. 1960. Increase of European corn borers following soil application of large amounts of dieldrin. J. Econ. Entomol. 65: 229-231.

McMillian, W.W., B.R. Wiseman, N.W. Widstrom y E.A. Harrell. 1972. Resistant sweet corn hybrid plus insecticide to reduce losses from corn earworms. J. Econ. Entomol. 65: 229-231.

Moahmad, B.M. y H.F. van Emden. 1989. Host plant modification to insecticide susceptibility in *Myzus persicae* (Sulz.). Ins. Sci. Appl. 10: 699-703.

Mueke, J.M., G.R. Manglitz y W.R. Kehr. 1978. Pea aphid: interaction of insecticides and alfalfa varieties. J. Econ. Entomol. 71: 61-65.

Parrott, W.L., J.N. Jenkins y D.B. Smith. 1973. Frego bract cotton and normal bract cotton: how morphology affects control of boll weevils by insecticides. J. Econ. Entomol. 66: 222-225.

Potter, C. y E.M. Gillham. 1957. Effect of host plant on the resistance of *Acyrtosiphon pisum* (Harris) to insecticides. Bull. Entomol. Res. 48: 317-322.

Ravindhran, R. y A. Xavier. 1997. Effect of pyrethroids on resurgence of aphids (*Aphis gossypii* G.) and alteration of plant metabolism in cotton. Pest. Res. J. 9: 79-85.

Robertson, J. L., K.F. Armstrong, D. M. Suckling y H.K. Preisler. 1990. Effects of host plants on the toxicity of azinphosmethyl to susceptible and resistant light brown apple moth (Lepidoptera: Tortricidae). J. Econ. Entomol. 83: 2124-2129.

- Robinson, J. F., E.C. Berry, L.C. Lewis y R.E. Lynch. 1978.** European corn borer: host-plant resistance and use of insecticides. *J. Econ. Entomol.* 71: 109-110.
- Roel, A.R. y J.D. Vendramim. 1999.** Desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) em genótipos de milho tratados com extrato acetato de etila de *Trichilia pallida* (Swartz). *Sci. Agri.* 56: 581-586.
- Rose, R.L., F. Gould, P.E. Levi y E. Hodgson. 1991.** Differences in cytochrome P450 activities in tobacco budworm larvae as influenced by resistance to host plant allelochemicals and induction. *Comp. Biochem. Physiol.* 99: 535-540.
- Schuster, M.F. y R.E. Anderson. 1976.** Insecticidal efficacy on insect resistant cottons. *J. Econ. Entomol.* 69: 691-692.
- Shelton, A.M., W.T. Wilsey y M.A. Schmaedick. 1998.** Management of onion thrips (Thysanoptera: Thripidae) on cabbage by using plant resistance and insecticides. *J. Econ. Entomol.* 91: 329-333.
- Teetes, G.L., J.W. Johnson y D.T. Rosenow. 1975.** Response of improved resistant sorghum hybrids to natural and artificial greenbug populations. *J. Econ. Entomol.* 68: 546-548.
- Van den Berg, J., G.D.J. van Rensburg y M.C. van den Westhuizen. 1994.** Host-plant resistance and chemical control of *Chilo partellus* (Swinhoe) and *Busseola fusca* (Fuller) in an integrated pest management system on grain sorghum. *Crop Prot.* 13: 308-310.
- Van Emden, H.F. 1991.** The role of host plant resistance in insect pest mis-management. *Bull. Entomol. Res.* 81: 123-126.
- Vendramim, J.D. 1990.** A resistência de plantas e o manejo de pragas. p.177-197. In: Crocomo W.B. Org., Manejo Integrado de Pragas, São Paulo: UNESP.
- Vendramim, J.D. y A.P.B. Thomazini. 2001.** Traça Tuta absoluta (Meyrick) em cultivares de tomateiro tratadas com extratos aquosos de *Trichilia pallida* Swartz. *Sci. Agr.* 58: 607-611.
- Vendramim, J.D. y P.J. Scampini. 1997.** Efeito do extrato aquoso de *Melia azedarach* sobre o desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) em dois genótipos de milho. *Rev. Agr.* 72: 159-170.
- Vendramim, J.D. y S.M. Torrecillas. 1998.** Efecto de extractos aquosos de *Trichilia pallida* (Meliaceae) y genotipos resistentes de maíz sobre *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). In: Simposio Internacional sobre Substancias Vegetales y Minerales en el Combate de Plagas, I., Acapulco, México. 1998. Memorias. Acapulco, México, Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. p.133-144.
- Verkerk, R.H.J. y D.J. Wright. 1996.** Effects of interactions between host plants and selective insecticides on larvae of *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) in the laboratory. *Pestic. Sci.* 46: 171-181.
- Wood, K.A., B.H. Wilson y J.B. Graves. 1981.** Influence of host plant on the susceptibility of the fall armyworm to insecticides. *J. Econ. Entomol.* 74: 96-98.
- Yu, S.J. 1984.** Interactions of allelochemicals with detoxification enzymes of insecticides susceptible and resistant fall armyworms. *Pestic. Biochem. Physiol.* 22: 60-68.

Carlos A. Blanco

Dow AgroSciences. Wayside Field Laboratory, Greenville, Mississippi, U. S. A.

Julio S. Bernal

Biological Control Laboratory, Department of Entomology,
Texas A&M University, College Station, Texas. U. S. A.

INTRODUCCION

Por lo general los insecticidas sintéticos se perciben como sustancias muy poco compatibles con los programas de control biológico, ya que la toxicidad de la mayoría de éstos hacia insectos benéficos (parasitoides y depredadores) es alta en comparación a los insectos plaga. La toxicidad de muchos de los insecticidas es especialmente alta hacia insectos parasitoides, la mayoría de ellos de los ordenes Hymenoptera y Diptera, dada la evidente tendencia hacia la monofagia en muchas especies. La monofagia en estos insectos restringe su tolerancia a insecticidas debido a la estrecha relacion que se produce entre ellos, sus hospederos, y la consecuente evolución de un arsenal defensivo limitado a contrarrestar el sistema inmunológico y toxinas presentes en un numero reducido de especies hospederas. Esto contrasta con la tolerancia hacia insecticidas en muchas especies plaga. En el caso de estas, su hábito herbivoro, y muchas veces polífágico, las ha llevado a desarrollar una gran variedad de sistemas enzimaticos capaces de neutralizar toxinas presentes en sus plantas hospederas.

El combate de plagas con métodos diferentes al control biológico puede tener grandes repercusiones en la densidad poblacional de enemigos naturales, aunque se utilizara el producto más inocuo a depredadores y parasitoides. El efecto de un insecticida que eficazmente reduzca la densidad de las plagas y que no dañe directamente a los organismos benéficos podría producir que la disminución en la cantidad de alimento (presas) causara un desequilibrio en la población de enemigos naturales (McMurtry *et al.* 1970, Croft y Brown 1975). En otras palabras, si el insecticida acaba con la plaga, está eliminando la fuente de alimentación y podría causar que el agente de control biológico pereciera por falta de alimento u hospederos y así no podrá crear una segunda generación y aumentar su densidad. Para que esto no sucediera, tendría que estar presente un agente de control biológico de gran longevidad en el lugar y momento en que las plagas volvieran a resurgir (Trumper y Holt, 1998) o que bien tuviera una alta capacidad de recolonizar las áreas donde se controló a las plagas. La conclusión a la que llega Chiverton (1984) en un estudio en el que comparó la población de carábidos entre lotes con y sin aplicación de insecticida es que al reducirse la densidad de presas en los lotes con plaguicida, los depredadores ahí presentes se ven forzados a salir a buscar alimento, para lo cual aumentan su área de búsqueda, y por ello se obtienen mayores capturas de estos coleópteros en las

trampas de agujero donde se había aplicado piretroides que en los lotes sin aplicación. Aunque se ha documentado que los insecticidas no acaban con la totalidad de las plagas (Metcalf y Luckmann 1990), Waage (1989) proponen que después de una reducción considerable de la población de la plaga (no el 100 por ciento), los enemigos naturales tienen una mejor oportunidad de proveer un efecto más impactante, ya que la proporción plaga – enemigo natural es más equilibrada. Pero también se ha documentado que el resurgimiento de las plagas es más rápido que el de los organismos benéficos, creando la posibilidad de que las plagas encuentren un espacio y/o tiempo libre de la presión del control biológico para desarrollarse (Van den Berg *et al.* 1998). Aquí la dinámica de poblaciones de las plagas y los enemigos naturales determinan, en cada caso, el impacto que los insecticidas pudieran tener en la labor de los organismos de control biológico. Si bien el uso indiscriminado de insecticidas, sobre todo los de amplio espectro, puede causar mortalidad a los organismos benéficos, bastaría examinar los numerosos programas de manejo integrado de plagas para darnos cuenta de que ambas alternativas son opciones válidas en cierta parte del control de insectos plaga. La incorporación de ambas estrategias puede tener efectos adversos en la densidad y/o diversidad de enemigos naturales, pero identificar las especies más importantes que proveen el control biológico en un agroecosistema particular, nos puede permitir utilizar ciertos plaguicidas y el método de aplicación menos impactante. También resulta útil consultar los trabajos que comparan el impacto de éstos en la fauna benéfica como los de Croft y Brown 1975, Hassan y Oomen 1985, Theiling y Croft 1988, Croft 1990, Messing y Croft 1990, Samsøe-Petersen 1990 y Sterk *et al.* 1999, entre otros. Existen tres posibilidades en las cuales el uso de estas sustancias se puede implementar junto con el control biológico sin que sean estrategias que se contrapongan: 1) uso de insecticidas tóxicos a la fauna benéfica pero poco persistentes. 2) su uso en cierto espacio y tiempo, y 3) utilización de plaguicidas selectivos. Hay ejemplos muy específicos, dependiendo de la especie de insecto, el tipo de insecticida y su dosis que pueden servir de excepción a lo que a continuación se describe (Fagan *et al.* 1998), pero la mayor parte de la información publicada encaja dentro de estos 3 escenarios.

I. INSECTICIDAS TÓXICOS PARA LA FAUNA BENÉFICA PERO DE BAJA PERSISTENCIA

La aplicación de plaguicidas de poca residualidad durante las épocas en las que los agentes de control biológico no están presentes crea una oportunidad para que su uso produzca un menor impacto directo en éstos. Es posible reducir su efecto negativo conociendo la residualidad del producto (Legaspi *et al.* 2000, Udayagiri *et al.* 2000) y/o su toxicidad (Messing y Croft 1990, Theiling y Croft 1988). Esto permite disminuir la población de plagas causando el menor impacto a depredadores y parasitoides. Esto se debe a que utilizando estas condiciones, los organismos benéficos no estarían presentes al momento de la aplicación o bien su población comenzaría a crecer o estaría en un estado de desarrollo en el que fuera menos susceptible. Una vez que la acción insecticida del producto ya hubiera pasado, se podrían hacer liberaciones de enemigos naturales para controlar los "escapes" de plagas que fueran resistentes al plaguicida o que no hubieran entrado en

contacto con él. Sin embargo, al haber diferentes modos de degradación de los insecticidas, su persistencia se ve influenciada por factores bióticos (microorganismos) y abióticos (el clima y la luz), lo cual agrega otro nivel de consideraciones que se deben tomar en cuenta para seleccionar un plaguicida. Por ejemplo, se conoce que el grupo de los insecticidas piretroides son degradados al estar expuestos a la luz ultravioleta (Yamamoto 1970), mientras que el grupo de las diacilhidracinas es degradado principalmente por la acción de microorganismos (Dhadialla et al. 1998), lo que hace que los primeros por ejemplo, sean muy persistentes en condiciones de invernadero o dentro de estructuras que no estén expuestas a la luz ultravioleta del exterior. A su vez que la degradación de los segundos está influenciada por el clima que rige más directamente el metabolismo microbiano. Conocer el efecto tóxico específico del producto en cada especie sería la condición más importante para que esta estrategia fuera de utilidad. Por ejemplo, insecticidas que son conocidos por su alta toxicidad contra organismos benéficos (paratión, clorpirifos, y otros) después de 7 días no tuvieron efecto en un ácaro depredador (*Euseius stipulatus*), mientras que productos que se perciben como de "bajo impacto" en enemigos naturales (ej. carbaril) continuaron causando mortalidad contra este ácaro 30 días después de haberse tratado cítricos con él (Bellows et al. 1992), lo que pone de manifiesto la importancia de estos trabajos específicos. Childers et al. (2001) refuerzan este punto: en su estudio sobre el impacto de varios insecticidas en el ácaro depredador *Euseius mesembrinus* (Phytoseiidae) reportando que carbaril aplicado en cierta formulación y a menor dosis de ingrediente activo, causó una mayor mortalidad que este mismo producto con un 8% más de concentración pero en diferente formulación.

Otro punto interesante al seleccionar un plaguicida con menor impacto a la fauna benéfica lo reportan Croft y Brown (1975). Los parasitoides internos, que por lo general no están expuestos al contacto directo con insecticidas, causan que el hospedero deje de alimentarse, lo que sugiere que esta influencia podría disminuir la posibilidad de que la plaga parasitada ingiera suficiente insecticida para que muera y mate al endoparasoide. Los autores hacen referencia al estudio de Thurston (1960) quien describe que el gusano del cuerno (*Manduca* sp.) parasitado es más difícil de matar que el no parasitado, lo que podría propiciar un efecto favorable en la proporción parasitoide – plaga. Lo anteriormente descrito se puede interpretar como la posibilidad de que un insecticida sea lo suficientemente tóxico sólo cuando se consume en cierta dosis, y por lo tanto, si aquellos individuos que han sido parasitados no alcanzan a alimentarse de suficiente veneno para que les cause la muerte directa, proporcionan suficiente tiempo para que el parasitoide complete su ciclo de vida. Más adelante en el texto se describe el modo de acción de algunos plaguicidas que además de ser selectivos a la fauna benéfica provocan, que la plaga que los consume deje de alimentarse. Por lo tanto, ¿podría este modo de acción del insecticida beneficiar al desarrollo de parasitoides?

La toxicidad intrínseca del insecticida no debe ser el único criterio a tomar en cuenta. Los efectos "subletales" como las anomalías fisiológicas y la acción repelente pueden afectar la eficiencia del control biológico. Campbell et al. (1991) describen cómo un insecticida piretroide, que causa poca mortalidad en *Trichogramma* spp. en condiciones de laboratorio, mientras que en condiciones de campo induce al parasitoide a evitar el follaje tratado por

este tipo de plaguicidas, lo cual se refleja en una reducción considerable del parasitismo de huevos de *Heliothis* spp., que los autores atribuyen a la acción repelente.

2. USO DE INSECTICIDAS EN ZONAS DE MENOR IMPACTO PARA EL CONTROL BIOLÓGICO

En lo que respecta al uso de plaguicidas en el lugar que menos daño cause se refiere a la aplicación de éstos donde se conoce que los agentes de control biológico aparecen con menor frecuencia. Un ejemplo, podría ser la incorporación de plaguicidas sistémicos al suelo con el objetivo de controlar una plaga del follaje, o la aplicación en la parte baja del dosel con el objetivo que la planta los transporte a otros tejidos. En un reporte que citan Wright y Verkerk (1995) la aplicación de un insecticida sistémico organofosforado a los tallos de la planta *Boronia megastigma* para el control de un psílido (*Ctenarytaina thysanura* Homoptera: Psyllidae), durante la fase de alta incidencia de ninfas, coincidió con la época en la que la mayoría de los parasitoides estaban pupando dentro de la momias de estos insectos. Esta aplicación en el momento más adecuado, utilizando un insecticida sistémico, conservó a los enemigos naturales y disminuyó la plaga a tal grado, que no fue necesario hacer más aplicaciones de insecticidas después de tres años de haber implementado este programa. Pero una vez más, habrá que analizar cada plaguicida y la susceptibilidad de la especie en cada caso, ya que como se ha estudiado también, hasta los insecticidas sistémicos, que son un número limitado, pueden tener efectos directos o indirectos en los depredadores o parasitoides (Cate et al. 1972, Campbell et al. 1991). Por ejemplo, una sola aplicación de 3 diferentes insecticidas sistémicos, con diferentes métodos de aplicación, afectó la longevidad y la habilidad de búsqueda de un braconídeo (*Microplitis croceipes*) que se alimentó de nectar de algodónero tratado. Aunque estos plaguicidas no causaron mortalidad en las avispa, la respuesta de estos parasitoides fue diferente a cada uno de los productos (Stapel et al. 2000), situación que indica que los parasitoides "escaparon" a la acción de mortalidad de estos productos, pero su eficacia como control biológico sufrió un efecto adverso.

Un insecticida sistémico altamente selectivo (triazamate) aplicado al follaje de coles produjo un 100% de mortalidad del áfido *Lipaphis erysimi* (Aphididae), mientras que larvas de una mosca sírfida (*Allograpta obliqua*) que aunque se alimentaban de los insectos muertos después por la aplicación, fueron capaces de completar su ciclo de vida (Blanco, sin publicar). Esto indica la posibilidad de la utilización de un plaguicida sistémico altamente selectivo, pero aún queda una duda: ¿qué efecto tendrá en la densidad de enemigos naturales el haber reducido completamente a la plaga?, ya que no todos los organismos de control biológico son capaces de comer presas muertas.

3. USO DE PLAGUICIDAS SELECTIVOS

Los insecticidas a base de *Bacillus thuringiensis* son de los ejemplos más conocidos por su selectividad y por la posibilidad de incorporarlos junto con otros agentes de control

biológico, en programas de manejo integrado de plagas. El ocuparnos de este tema aquí sería redundar, ya que se hablará en detalle en otro capítulo de este libro, y además Heimpele (1967) y Gil *et al.* (1992), entre otros, ofrecen una buena revisión del tema. Sólo un comentario al respecto para mostrar que hasta este "inocuo" plaguicida podría resultar dañino a nuestros esfuerzos de implementar un programa de control biológico. La polilla *Tyria jacobaeae* es un agente natural de control de la maleza *Senecio jacobea*. Al aplicarse el insecticida *B. thuringiensis* en zonas forestales para el control de otros lepidópteros (como la palomilla gitana), por ejemplo se corre el riesgo de que las larvas de estadios tardíos de *T. jacobaeae* sucumban a este tipo de control de plagas (James *et al.* 1993). Esto se puede interpretar como un organismo de control biológico que afecta a otro pero que no pertenecen a una misma relación trófica. Aunque este trabajo fue hecho en condiciones de laboratorio, existe la posibilidad de que esto suceda fuera de este ambiente. Precisamente, son este tipo de trabajos, en su mayoría bajo condiciones de laboratorio, los que nos indican la toxicidad de los plaguicidas contra ciertas especies de artrópodos benéficos. De aquí en adelante se revisarán una serie de grupos de insecticidas con un modo de acción novedoso y disponibles en el mercado mundial, pero sobre todo porque presentan posibilidades de ser selectivos a los agentes de control biológico.

Spinosad, es un insecticida de origen natural derivado de la bacteria *Saccharopolyspora spinosa* (Tomlin 1997), el cual causa parálisis y muerte en ciertas especies de los órdenes Thysanoptera, Lepidoptera, Diptera, Coleoptera e Hymenoptera (Anónimo 2001). Aunque estos tres últimos órdenes de insectos agrupan a la mayoría de las especies de depredadores y parasitoides, este insecticida ha demostrado tener selectividad con algunas de ellas. Se ha probado contra *Catolaccus grandis* (Hymenoptera: Pteromalidae) donde demostró tener poca toxicidad relativa comparado con los demás productos utilizados en este estudio, pero también dentro de estos resultados se encontró que su efecto es mayor en machos que en hembras (Elzen *et al.* 2000), mientras que en la chinche ojona (*Geocoris punctipes*) no demostró tener ningún efecto (Elzen y Elzen 1999). Pietrantonio y Benedict (1999) reportan que este insecticida no produjo mortalidad en la chinche *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthocoridae) pero lo hizo en dos especies de braconidos *Cotesia plutella* y *C. marginiventris*, lo que apoya el comentario que esta molécula tiene efecto sobre algunas especies de Hymenoptera. En *Typhlodromus pyri*, un ácaro que muy frecuentemente se utiliza como "indicador" de efectos adversos, se obtuvieron datos que indican un efecto adverso de este insecticida en el laboratorio pero no en condiciones de campo. El contacto directo de este insecticida con *Aphidius rhopalosiphii* (Hymenoptera: Braconidae) fue negativo en los adultos pero no en las larvas que se estaban desarrollando dentro de áfidos. El efecto en otros organismos benéficos como *Poecilus cuperus*, *Episyrphus balteatus*, *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) y *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) varía según la dosis de aplicación (Anónimo 2001), afirmando la idea de que la sensibilidad de algunas especies varía con la dosis de aplicación del insecticida. La misma fuente de información menciona que este insecticida es tóxico a las abejas (*Apis mellifera*) sólo cuando se administra vía oral o por contacto, pero cuando estos polinizadores se posan en superficies tratadas con él, y cuando el área está seca, este plaguicida no causa mortalidad en esta especie, lo que daría oportunidad a que se aplicara de noche, cuando las abejas y algunos parasitoides no están presentes.

Otros insecticidas producidos comercialmente que están formulados con organismos benéficos son los virus de la poliedrosis nuclear. Estos plaguicidas disuelven el intestino medio de algunas plagas al liberar los cuerpos poliédricos de occlusión del virus dentro del insecto, donde se reproducen e invaden todas las células del cuerpo (Bonning y Hammock 1996, Tomlin 1997). El virus insecticida llamado *Adoxophyes orana* controla a la larva del tortrécido del mismo nombre. El virus *Helicoverpa zea* se utiliza para el control del gusano bellotero, (Noctuidae) y del gusano tabacalero (*Heliothis virescens*). *Mamestra brassicae* además de controlar a la homonima (Noctuidae), controla además a los lepidópteros *Heliothis armigera* (Noctuidae), *Plutella xylostella* (Plutellidae) y *Phthorimaea operculella* (Gelechiidae). El virus *Spodoptera exigua* controla a la larva del gusano soldado (Noctuidae). El virus de la granulosis llamado *Cydia pomonella*, que fue descubierto en México (Tomlin 1997), controla a la polilla del manzano (Tortricidae). Estos virus de fabricación y distribución comercial se cuentan entre los mejores ejemplos de insecticidas con alta especificidad y en este momento se trabaja genéticamente en ellos para incrementar su velocidad de acción y hacerlos así productos más competitivos comercialmente (Popham et al. 1997). Pero una vez más, reportes de efectos adversos a parasitoides ya han sido encontrados. El virus que ataca a *Pieris* y a *Spodoptera* han causado considerable mortalidad a dos especies de *Apanteles* y una de *Phanerotoma* (Hymenoptera: Braconidae) (Croft y Brown 1975).

Los nemátodos entomopatógenos, enemigos naturales de algunas plagas, que son producidos comercialmente para el control de problemas de insectos en la agricultura, plantas ornamentales y empastadas, pertenecen a esta "categoría" de productos naturales. Estos organismos entran por los orificios naturales de los insectos o penetran la cutícula y ya dentro de éstos liberan bacterias simbióticas (*Photobacterium* spp. en los de la familia Heterorhabditidae y *Xenorhabdus* spp. los de la familia Steinernematidae), las cuales causan una muerte rápida en los insectos (Kaya y Gaugler 1993, Tomlin 1997, Liu et al. 2000). Hay dos géneros de nemátodos disponibles en el mercado en este momento, los cuales no son completamente específicos contra determinadas plagas y que atacan a un espectro amplio de órdenes. *Steinernema* spp. infecta coleópteros, lepidópteros y dípteros, mientras que *Heterorhabditis* spp. sólo ataca a algunos coleópteros. Hasta el momento, el empleo de estos organismos se ha visto limitado debido a que se necesitan condiciones ambientales muy específicas para su desarrollo y movilidad, pero se trabaja en modificaciones genéticas para hacerlos más efectivos y estables (Kaya y Gaugler 1993, Liu et al. 2000). Condiciones de humedad menores a la saturación del suelo afectan adversamente el control de larvas de escarabajos en el suelo con ambos géneros de nemátodos (Blanco, sin publicar).

Otros organismos que proveen control biológico y que se comercializan como insecticidas son los hongos entomopatógenos. La forma en que estos organismos causan mortalidad en artrópodos es cuando se adhieren a la cutícula de su hospedero, el hongo penetra con su hifa y se reproduce dentro de él invadiendo todo el cuerpo (Tomlin 1997). Estos hongos son más eficientes en su labor de colonización bajo ciertas condiciones ambientales, proporcionando un control de plagas más rápido y completo cuando no se exponen a la luz del sol o a la radiación ultravioleta (Inglis et al. 1997) o bien cuando la temperatura y la humedad relativa son muy altas (James et al. 1998). *Beauveria bassiana* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) ha demostrado tener alta virulencia contra plagas de los órdenes

Homoptera, Heteroptera, Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera (Tomlin 1997), Isoptera (Jones et al. 1996) y Orthoptera (Inglis et al. 1997), y aunque su efecto se ha probado en pocos depredadores, se ha encontrado que causa micosis en los coccinélidos (Coleoptera) *Serangium parcesetosum*, *Semiadalia undecimnotata*, *Coccinela septempunctata*, *Adalia bipunctata* (Poprawski et al. 1998) e *Hippodamia convergens* (James et al. 1998). Pero, en otro estudio bajo condiciones de campo no se observaron efectos de mortalidad en la población de enemigos naturales, entre los cuales habían varias especies de coleópteros, dípteros, neurópteros, e himenópteros (Brinkman y Fuller 1999). Además el estudio de Poprawski et al. (1997) que reporta el uso de este hongo junto con liberaciones del depredador *Perillus bioculatus* (Heteroptera: Pentatomidae) señala que no se observan efectos adversos en el insecto. En lo que respecta al efecto de este hongo en parasitoides, el trabajo de Geden et al. (1995) indica que *Muscidifurax raptor* (Hymenoptera: Pteromalidae) sucumbió a la acción de varias cepas del hongo que controlan eficientemente a su hospedero la mosca doméstica (*M. domestica*). *Beauveria brongniartii*, de acuerdo a Tomlin (1997), sólo infecta ciertas especies de coleópteros, y *Metarhizium anisopliae*, utilizado para el control de crisomélidos en crucíferas, ha mostrado ser tóxico para las abejas (*Apis mellifera*, Hymenoptera: Apidae) (Butt et al. 1994). *Paecilomyces fumosoroseus* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) se ha comercializado para el control de *Bemisia* spp. (Poprawski et al. 1998) y *Trialeurodes vaporariorum* (Tomlin 1997). De este hongo lamentablemente también se reporta que causa mortalidad en coccinélidos (Poprawski et al. 1998).

Los reguladores de crecimiento de los insectos son una nueva alternativa para el control de plagas, pero dentro de estos grupos hay diferencias muy importantes que deben tomarse en cuenta si se desea hacerlos compatibles con el control biológico. Los del grupo benzoilureas, que son inhibidores de la síntesis de la quitina (Tomlin 1997) comprenden varias moléculas, entre las cuales pocas tienen selectividad a órdenes o especies de insectos. Chlorfluazuron, hexaflumuron, novaluron, teflubenzuron y triflumuron son las que se caracterizan por tener un amplio espectro de control de insectos. Lufenuron también tiene amplio espectro y su rango de toxicidad incluye además ácaros, aunque resultó ser sólo ligeramente tóxico a *Trichogramma cacoeciae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) según el reporte de Hassan et al. (1998). Flufenoxuron y buprofezin tienen un perfil de acción similar al anterior pero sólo tienen efecto mortal en larvas y causa esterilidad en los huevos que ovipositan los adultos expuestos a estas sustancias. Flucycloxuron también es insecticida y acaricida y Tomlin (1997) se refiere a esta sustancia como "relativamente selectiva", así como a diflubenzuron como un insecticida de amplio espectro, selectivo a organismos benéficos y de rápida degradación. Las características de algunos de los insecticidas pertenecientes a esta clase dan pie para considerarlos como posibilidades para integrarlos en programas junto con organismos benéficos, sobre todo aquellos que están considerados como selectivos, o larvicidas o de rápida degradación, al menos bajo el esquema que estamos proponiendo aquí. Sin embargo, Hattin y Tate (1995) advierten de efectos negativos de dos de estos insecticidas. Por ejemplo, el uso de triflumuron para el control de la escama roja de los cítricos en Sudáfrica ha traído trastornos al control biológico de la escama algodonosa (**cushion scale**). Este insecticida, junto con la evaluación en laboratorio de buprofezin, causaron la reducción de la viabilidad de huevos de dos coccinélidos 19 semanas después de haber sido empleados y que los depredadores

fueron expuestos al follaje tratado con estos plaguicidas. También Jones *et al.* (1998) reportan que 2 parasitoides de mosquita blanca sufrieron efectos adversos con la aplicación de buprofezin. En un estudio más reciente hecho con chlorfluazuron, teflubenzuron y flufenoxuron, Haseeb (2001) encontró interesantes diferencias en el modo de acción de estos tres insecticidas en el parasitoide *Diadegma semiclausum* (Hymenoptera: Ichneumonidae). Aplicaciones tópicas de estos insecticidas por lo general no causaron alta mortalidad, pero cuando se administraron vía oral, el autor reporta que hubo una reducción en el parasitismo así como en la longevidad de los parasitoides.

La clase de insecticidas conocida como mímicos, también llamada "agonistas" de la hormona juvenil y que comprende 4 diferentes moléculas, afectan la metamorfosis de larva a adulto en ciertos órdenes de insectos (Tomlin 1997, Dhadialla *et al.* 1998). Altos niveles de estas sustancias en la hemolinfa de las larvas o ninfas de los insectos afectados produce una muda supernumeraria o algún estadio intermedio, como larva-pupa, ninfa-adulto, o pupa-adulto. Este tipo de desarrollo intermedio no es viable y pueden presentar anomalías morfológicas, lo cual previene que el insecto complete una metamorfosis normal. Además de este tipo de trastornos se han documentado efectos en la embriogénesis, el desarrollo larvario y la reproducción (Dhadialla *et al.* 1998, Beckage 2000). La molécula hydroprene tiene efecto en Coleoptera, Homoptera, Lepidoptera y Blattaria (Tomlin 1997). Methoprene actúa afectando la embriogénesis, la eclosión de los huevos y el desarrollo larvario en Coleoptera, Diptera, Siphonaptera e Hymenoptera. Fenoxycarb es un carbamato no neurotóxico con una alta actividad parecida a la de la hormona juvenil, que afecta un amplio rango de insectos que incluyen los órdenes Heteroptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Coleoptera, Diptera, Dictyoptera, Isoptera y Homoptera, y su administración en ciertas especies susceptibles ha causado esterilidad, muerte de huevos, trastornos en la metamorfosis, mantiene al insecto en estadio de larva permanente, causa la formación de estadios intermedios no viables y afecta la diferenciación de castas. Pyriproxyfen afecta a Hymenoptera, pero muy ligeramente a *Trichogramma cacoeciae* (Trichogrammatidae) (Hassan *et al.* 1998), daña también a especies de Lepidoptera, Diptera, Coleoptera y Siphonaptera y sus síntomas son variados. Por ejemplo, en saltamontes tiene efecto en la embriogénesis, la metamorfosis y causa deformidades, mientras que en una larva de Lepidoptera redujo el número de huevos ovipositados debido a la falta de un factor de la estimulación de la oviposición (Beckage 2000). Cabe destacarse que en el estudio de Hattingh y Tate (1995), se hace mención a pyriproxyfen como un insecticida que afecta la viabilidad de huevos de coccinélidos.

Otro insecticida de origen no sintético, considerado como regulador de crecimiento, es el extracto del árbol neem (*Azadirachta indica*), que interfiere con los hábitos alimenticios, los niveles de varias hormonas, el proceso de la muda, la formación de larvas "permanentes", la espermatogénesis, la fecundidad y la oviposición en varios órdenes de insectos (Tomlin 1997, Schumutterer 1990, Beckage 2000, Weinzierl 2000). Además posee cierta sistemicidad en las plantas (Duthie-Holt *et al.* 1999), es de poca estabilidad si se expone a la luz solar (Coats 1994), y aunque se ha reportado como menos tóxico a los enemigos naturales que a las plagas (Schumutterer 1990, Banken y Stark 1997), se han publicado reportes que demuestran su efecto tóxico contra algunos depredadores (Banken y Stark, 1998) excluyendo

al parasitoide *Ageniaspis citricola* (Hymenoptera: Encyrtidae) (Villanueva-Jiménez *et al.* 2000). La percepción de que este plaguicida “orgánico” es compatible con el control biológico es cuestionable, de ahí que habría que analizar caso por caso, el ingrediente activo, la especie, sexo o estado de desarrollo (Croft y Brown 1975, Elzen *et al.* 2000) para conocer cual sería el mejor escenario para la integración del uso de insecticidas con el control biológico.

La última clase de insecticidas sintéticos que abarcaremos es diacylhydrazina y que es la más parecida a los insecticidas a base de *B. thuringiensis* de subespecies específicas contra lepidópteros o a los virus. Hay tres moléculas de esta clase disponibles comercialmente. El modo de acción básico de ellas es aumentar drásticamente los niveles de ecdisona en la hemolinfa de los insectos susceptibles, lo cual inicia un proceso de muda prematura y defectuosa, y al mismo tiempo no permite la liberación de la hormona de la eclosión debido a la permanencia de altos niveles de ecdisona en el cuerpo. Las larvas afectadas quedan atrapadas entre la cutícula nueva defectuosa y la vieja, de la cual no se pueden desprender. Esta clase de insecticidas actúa por ingestión y las larvas que han ingerido estas moléculas dejan de alimentarse en un lapso de 4 a 6 horas, tiempo que se requiere para el proceso de la muda. Hasta el momento se cree que los insectos afectados mueren al tratar de desprenderse de la cápsula de la cabeza prematuramente, junto con la formación de la cutícula defectuosa que les causa deshidratación. Se ha observado que la mortalidad sucede en un lapso de horas a días, dependiendo del estado de desarrollo de la larva y de la temperatura (Dhadialla *et al.* 1998, Friedländer and Brown 1995, Retnakaran *et al.* 1995, Beckage 2000).

Halofenozide, es una molécula que ha demostrado efectividad contra ciertas especies de Lepidoptera y Coleoptera, principalmente de la familia Scarabaeidae, así como una alta selectividad a organismos benéficos. Este insecticida se utiliza comercialmente para el control de plagas de céspedes y plantas ornamentales. Kunkel *et al.* (1999) reportan que el uso de halofenozide en pasto Kentucky no causó ningún efecto en la población de lombriz de tierra o el grupo de artrópodos benéficos evaluados en este estudio (larvas y adultos de hormigas, carábidos, estafilinos, y arañas entre otros). Además dicha situación de no haber afectado a los enemigos naturales en los lotes donde se aplicó este insecticida se vió reflejada en el mayor nivel de depredación que huevos y larvas del gusano trozador *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae) y del escarabajo japonés (*Popillia japonica*, Coleoptera: Scarabaeidae) tuvieron por parte de los organismos de control biológico; condición que se hizo evidente al compararse con un insecticida no selectivo (Bendiocarb) que sí afectó al control biológico y por lo tanto disminuyó la depredación de las plagas mencionadas. La utilización de halofenozide junto con un método de control biológico de plagas del suelo, el nemátodo entomopatógeno *Heterorhabditis*, aunque no produjo un efecto sinergista y mejor control del escarabajo japonés (*P. japonica*), al menos se observó que no hubo antagonismo. No se obtuvieron diferencias en la reproducción del nemátodo cuando éstos se utilizaron junto con el insecticida (Mannion *et al.* 2000). Por lo que de lo anterior se puede deducir que este nemátodo no es afectado por este plaguicida.

Tebufenozide es altamente selectivo a ciertas especies de Lepidoptera, y methoxyfenozide, otra molécula igualmente selectiva, ha mostrado tener un rango más amplio de mortalidad en especies dentro de este mismo orden, pero a menor dosis. Este último ha exhibido

mortalidad en larvas de mosquitos (*Aedes aegypti*) en condiciones de laboratorio (Darvas et al. 1998), y por ser el insecticida más nuevo dentro de este grupo, se tiene menor información al respecto.

La selectividad que estos dos insecticidas ha sido documentada en algunos trabajos: Brown (1994) reporta que la inyección de tebufenozide en larvas de la polilla de la manzana (*C. pomonella*) no causó efectos fisiológicos en el endoparásitoide que se desarrollaba en ellas (*Ascogaster quadridentata*, Hymenoptera: Braconidae), y sólo cuando el tejido del hospedero se deterioró demasiado fue cuando se produjo la mortalidad de ambas especies. En el mismo trabajo se reporta que no hubo efectos adversos en el ectoparásito *Hyssopus* sp. (Hymenoptera: Eulophidae) cuando sus larvas o adultos se alimentaban de larvas de *C. pomonella* tratadas con tebufenozide. Otro parasitoide que no mostró haber sido afectado por la aplicación de tebufenozide es *Allorhogas pyralophagus* (Hymenoptera: Braconidae) en bioensayos efectuados por Legaspi et al. (1999). Dos braconidos (*Cotesia plutella* y *C. marginiventris*), así como el chinche *Orius insidiosus* (Heteroptera: Anthocoridae) tampoco sufrieron mortalidad al haber sido expuestos a tebufenozide (Pietrantonio y Benedict 1999). En otro estudio que evaluó la selectividad de tebufenozide y methoxyfenozide se concluye que ninguno de estos insecticidas fueron tóxicos a *Cotesia flavipes*, *Allorhogas pyralophagus*, *Catolaccus grandis* y a la chinita *Chilocorus cacti* (Coleoptera: Coccinellidae) (Legaspi et al. 2000). Si se han identificado efectos subletales con el uso de tebufenozide. Por ejemplo, la fecundidad de *Geocoris punctipes* (Heteroptera: Lygaeidae) fue afectada por este insecticida pero no por methoxyfenozide (Elzen y Elzen 1999). Rumpf et al. (1998) encontraron que tebufenozide afectó la oviposición (número de huevos por hembra) de la generación F1 de *Micromus tasmaniae* (Neuroptera: Hemerobiidae). Habrá también que mencionar que en este estudio aclaran que la dosis de tebufenozide fue 10 veces mayor que la recomendada para su uso en el campo, decisión hecha por los investigadores para estudiar algún efecto de este insecticida a estas concentraciones, ya que a la dosis normal no demostró tener ningún efecto adverso.

COMENTARIO FINAL

El control químico no ofrece la solución completa a los problemas de plagas de ciertos cultivos debido a su poca efectividad, así como por su impacto al ambiente y sus costos, por lo que debe ser apoyado por otro tipo de tácticas. Tampoco el control biológico da resultados deseados en ciertas situaciones como cuando el público demanda productos cien por ciento libres de insectos, aunque no sean plaga. La mejor manera de incorporar ambas estrategias podría ser un programa de manejo integrado que nos diera los resultados deseados. El manejo integrado de plagas ya ha tenido una marcada influencia en el modo de producir plantas y animales en todo el mundo, ahora habrá que educar y convencer al público para que acepte ver insectos o daño causado por ellos en su comida. Mientras más deficiente sea el control de plagas a través de la acción del control biológico habrá mayor necesidad del uso de plaguicidas. En el otro polo de esta realidad se encuentra la producción agropecuaria basada fuertemente en los beneficios de los enemigos naturales, lo que conlleva una menor utilización de insecticidas. Terminaremos mencionando un

ejemplo que ilustra que la percepción del público también puede afectar directamente nuestro progreso en tratar de implementar control biológico y/o insecticidas selectivos y poco dañinos en la producción de alimentos. El cultivo de las espinacas en la parte sur de Texas, Estados Unidos, ha desarrollado una estrategia muy efectiva para combatir las plagas. A principios del desarrollo de la planta se utilizan insecticidas poco persistentes y muy selectivos para no dañar a los organismos de control biológico. Esta estrategia ha sido tan exitosa que muy rara vez se llega a la mitad del ciclo de cultivo de la espinaca teniendo que hacer otra aplicación de insecticidas. De ahí en adelante se confía en la labor de los organismos benéficos. Pocos días antes de la cosecha se tiene que aplicar un insecticida piretroide para "derribar" a toda la fauna benéfica del cultivo y poder cortar la espinaca libre de la "contaminación" de partes de insectos. Toda la labor de investigación e inspección, consideraciones a la salud y al ambiente se derrumban cuando enfrentan al consumidor. Creemos que un factor ausente en la "ecuación" de la producción agropecuaria es el público consumidor. Las expectativas de éste son la fuerza determinante para elegir entre adoptar más programas de control biológico o un mayor uso de agroquímicos en forma irracional.

LITERATURA CITADA

Anónimo. 2001. Spinosad Technical Bulletin. Dow AgroSciences, Indianapolis, Indiana, U. S. A.

Banken, J. A. O. and J. D. Stark. 1997. Stage and age influence on the susceptibility of *Coccinella septempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) after direct exposure to Neemix, a neem insecticide. *Journal of Economic Entomology* 90: 1102-1105.

Banken, J. A. O. and J. D. Stark. 1998. Multiple routes of pesticide exposure and the risk of pesticides to biological controls: a study of neem and the seven-spotted lady beetle (Coleoptera: Coccinellidae). *Journal of Economic Entomology* 91: 1-6.

Beckage, N. E. 2000. Insect growth regulators. En: *Biological and biotechnological control of insect pests*. J. E. Rechcigl y N. A. Rechcigl (editores). Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Bellows, T. S. Jr., J. G. Morse and L. K. Gaston. 1992. Residual toxicity of pesticides used for control of lepidopteran insects in citrus to the predaceous mite *Euseius stipulatus* Athias-Henriot (Acarina, Phytoseiidae). *Journal of Applied Entomology* 113: 493-501.

Bonning, B. C., and B. D. Hammock. 1996. Development of recombinant baculoviruses for insect control. *Annual Review of Entomology* 41: 191-210.

Brinkman, M. A. and B. W. Fuller. 1999. Influence of *Beauveria bassiana* strain GHA on nontarget rangeland arthropod populations. *Environmental Entomology* 28: 863-867.

Brown, J. J. 1994. Effects of a nonsteroidal ecdysone agonist, tebufenozide, on host/parasitoid interactions. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 26: 235-248.

Butt, T. M., L. Ibrahim, B. V. Ball, and S. J. Clark. 1994. Pathogenicity of the entomogenous fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* against crucifer pests and the honey bee. *Biocontrol Science and Technology* 4: 207-214.

- Campbell, C. D., J. F. Walgenbach and G. G. Kennedy. 1991.** Effect of parasitoids on lepidopterous pests in insecticide-treated and untreated tomatoes in Western North Carolina. *Journal of Economic Entomology* 84: 1662-1667.
- Cate, J. R., R. L. Ridgway, and P. D. Lingren. 1972.** Effects of systemic insecticides applied to cotton on adults of an ichneumonid parasite, *Campoletis perdistinctus*. *Journal of Economic Entomology* 65: 484-488.
- Childers, C. C., H. Aguilar, R. Villanueva, and M. M. Abou-Setta. 2001.** Comparative residual toxicities of pesticides to the predator *Euseius mesembrinus* (Acari: Phytoseiidae) on citrus in Florida. *Florida Entomologist* 84: 391-401.
- Chiverton, P. A. 1984.** Pitfall-trap catches of the carabid beetle *Pterostichus melanarius*, in relation to gut contents and prey densities, in insecticide treated and untreated spring barley. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 36: 23-30.
- Coats, J. R. 1994.** Risks from natural versus synthetic insecticides. *Annual Review of Entomology* 39: 489-515.
- Croft, B. A. and A. W. A. Brown. 1975.** Responses of arthropod natural enemies to insecticides. *Annual Review of Entomology* 20: 285-335.
- Croft, B. A. 1990.** Arthropod biological control agents and pesticides. John Wiley and Sons. New York, USA.
- Darvas, B., L. Pap, M. Kelemen and L. A. Polgár. 1998.** Synergistic effects of verbutin with dibenzoylhydrazine-type ecdysteroid agonists on larvae of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Journal of Economic Entomology* 91: 1260-1264.
- Dhadialla, T. S., G. R. Carlson and D. P. Le. 1998.** New insecticides with ecdysteroidal and juvenile hormone activity. *Annual Review of Entomology* 43: 545-569.
- Duthie-Holt, M. A., J. H. Borden, and L. J. Rankin. 1999.** Translocation and efficacy of a neem-based insecticide in Lodgepole pine using *Ips pini* (Coleoptera: Scolytidae) as an indicator species. *Journal of Economic Entomology* 92: 180-186.
- Elzen, G. W. and P. J. Elzen. 1999.** Lethal and sublethal effects of selected insecticides on *Geocoris punctipes*. *Southwestern Entomologist* 24: 199-205.
- Elzen, G. W., S. N. Maldonado and M. G. Rojas. 2000.** Lethal and sublethal effects of selected insecticides and an insect growth regulator on the boll weevil (Coleoptera: Curculionidae) ectoparasitoid *Catolaccus grandis* (Hymenoptera: Pteromalidae). *Journal of Economic Entomology* 93: 300-303.
- Fagan, W. F., A. L. Hakim, H. Ariawan, and S. Yuliyantingsish. 1998.** Interactions between biological control efforts and insecticide applications in tropical rice agroecosystems: the potential role of intraguild predation. *Biological Control* 13: 121-126.
- Friedländer, M. and J. J. Brown. 1995.** Tebufenozide (Mimic®), a non-ecdysteroidal ecdysone agonist, induces spermatogenesis reinitiation in isolated abdomens of diapausing codling moth larvae (*Cydia pomonella*). *Journal of Insect Physiology* 41: 403-411.
- Geden, C. J., D. A. Rutz, and D. C. Steinkraus. 1995.** Virulence of different isolates and formulations of *Beauveria bassiana* for house flies and the parasitoid *Muscidifurax raptor*. *Biological Control* 5: 615-621.

- Gill, S. S., E. A. Cowles, and P. V. Pietrantonio. 1992.** The mode of action of *Bacillus thuringiensis* endotoxins. *Annual Review of Entomology* 37: 615-636.
- Hassan, S. A. and P. A. Oomen. 1985.** Integration of biological and chemical control of diseases and minor pests. En: *Biological pest control: the glasshouse experience*. Edited por N. W. Hussey y N. Scopes. Blandford Press, Poole, Dorset, UK.
- Hassan, S. A., B. Hafes, P. E. Degrande, and K. Herai. 1998.** The side-effects of pesticides on the egg parasitoid *Trichogramma cacoeciae* Marchal (Hym., Trichogrammatidae), acute dose-response and persistence tests. *Journal of Applied Entomology* 122: 569-573.
- Haseeb, M. 2001.** Studies of the effects of pesticides on the three primary parasitoids of *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) and their ecotoxicological implications in IPM. Tesis doctoral, Graduate School of Science and Technology, Chiba University, Japan.
- Hattingh, V. and B. Tate. 1995.** Effects of field-weathered residues of insect growth regulators on some Coccinellidae (Coleoptera) of economic importance as biocontrol agents. *Bulletin of Entomological Research* 85: 489-493.
- Heimpel, A. M. 1967.** A critical review of *Bacillus thuringiensis* var. *thuringiensis* Berliner and other crystalliferous bacteria. *Annual Review of Entomology* 12: 287-322.
- Inglis, G. D., D. L. Johnson and M. S. Goettel. 1997.** Effects of temperature and sunlight on mycosis (*Beauveria bassiana*) (Hyphomycetes: Symptomulosporae) of grasshoppers under field conditions. *Environmental Entomology* 26: 400-409.
- James, R. R., J. C. Miller, and B. Lighthart. 1993.** *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* affects a beneficial insect, the cinnabar moth (Lepidoptera: Arctiidae). *Journal of Economic Entomology* 86: 334-339.
- James, R. R., B. A. Croft, B. T. Shaffer and B. Lighthart. 1998.** Impact of temperature and humidity on host-pathogen interactions between *Beauveria bassiana* and a coccinellid. *Environmental Entomology* 27: 1506-1513.
- Jones, W. A., M. A. Ciomperlik, and D. A. Wolfenbarger. 1998.** Lethal and sublethal effects of insecticides on two parasitoids attacking *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). *Biological Control* 11: 70-76.
- Jones, W. E., J. K. Grace and M. Tamashiro. 1996.** Virulence of seven isolates of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* to *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Environmental Entomology* 25: 481-487.
- Kaya, H. K. and R. Gaugler. 1993.** Entomopathogenic nematodes. *Annual Review of Entomology* 38: 181-206.
- Kunkel, B. A., D. W. Held and D. A. Potter. 1999.** Impact of halofenozide, imidacloprid, and bendiocarb on beneficial invertebrates and predatory activity in turfgrass. *Journal of Economic Entomology* 92: 922-930.
- Legaspi, J. C., B. C. Legaspi and R. R. Saldaña. 1999.** Laboratory and field evaluations of biorational insecticides against the Mexican rice borer (Lepidoptera: Pyralidae) and a parasitoid (Hymenoptera: Braconidae). *Journal of Economic Entomology* 92: 804-810.

- Legaspi, J. C., J. V. French and B. C. Legaspi. 2000.** Toxicity of novel and conventional insecticides to selected beneficial insects. *Subtropical Plant Science* 52: 23-32.
- Liu, J., G. O. Poinar, and R. E. Berry. 2000.** Control of insect pests with entomopathogenic nematodes: the impact of molecular biology and phylogenetic reconstruction. *Annual Review of Entomology* 45: 287-306.
- Mannion, C. M., H. E. Winkler, D. I. Shapiro and T. Gibb. 2000.** Interaction between halofenozide and the entomopathogenic nematode *Heterorhabditis marelatus* for control of Japanese beetle (Coleoptera: Scarabaeidae) larvae. *Journal of Economic Entomology* 93: 48-53.
- McMurtry, J. A., C. B. Huffaker, and M. van de Vrie. 1970.** Tetranychid enemies: their biological characters and the impact of spray practices. *Hilgardia* 40: 331-390.
- Messing, R. H. and B. A. Croft. 1990.** NERISK: an expert system to enhance the integration of pesticides with arthropod biological control. *Acta horticulturae* 276: 15-19.
- Metcalf, R. L. y W. H. Luckmann. 1990.** Introducción al manejo de plagas de insectos. Editorial Limusa, Noriega, México.
- Pietrantonio, P. V. and J. H. Benedict. 1999.** Effect of new cotton insecticide chemistries, tebufenozide, spinosad and chlorfenapyr, on *Orius insidiosus* and two *Cotesia* species. *Southwestern Entomologist* 24: 21-27.
- Popham, H. J. R., Y. Li and L. K. Miller. 1997.** Genetic improvements of *Helicoverpa zea* nuclear polyhedrosis virus as a biopesticide. *Biological Control: theory and applications in pest management* 10: 83-91.
- Poprawski, T. J., R. I. Carruthers, J. Speesee III, D. C. Vacek and L. E. Wendel. 1997.** Early-season applications of the fungus *Beauveria bassiana* and the introduction of the hemipteran predator *Perillus bioculatus* for control of Colorado potato beetle. *Biological Control* 10: 48-57.
- Poprawski, T. J., J. C. Legaspi and P. E. Parker. 1998.** Influence of entomopathogenic fungi on *Serangium parcesetosum* (Coleoptera: Coccinellidae), an important predator of whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae). *Environmental Entomology* 27: 785-795.
- Retnakaran, A., K. Hiruma, S. R. Palli and L. M. Riddiford. 1995.** Molecular analysis of the mode of action of RH-5992, a lepidopteran-specific, non-steroidal ecdysteroid agonist. *Insect Biochemistry and Molecular Biology* 25: 109-117.
- Rumpf, S., C. Frampton and D. R. Dietrich. 1998.** Effects of conventional insecticides and insect growth regulators on fecundity and other life-table parameters of *Micromus tasmaniae* (Neuroptera: Hemerobiidae). *Journal of Economic Entomology* 91: 34-40.
- Samsøe-Petersen, L. 1990.** Sequences of standard methods to test effects of chemicals on terrestrial arthropods. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 19: 310-319.
- Schumutterer, H. 1990.** Properties and potential of natural pesticides from the neem tree. *Annual Review of Entomology* 35: 271-297.
- Stapel, J. O., A. M. Cortesero, and W. J. Lewis. 2000.** Disruptive sublethal effects of insecticides on biological control: altered foraging ability and life span of a parasitoid after feeding on extrafloral nectar of cotton treated with systemic insecticides. *Biological Control* 17: 243-249.

Sterk, G., S. A. Hassan, M. Baillod, F. Baker, F. Bigler, S. Blümel, H. Bogenschütz, E. Boller, B. Bromand, J. Brun, J. N. M. Calis, J. Coremans-Pelseneer, C. Duso, A. Garrido, A. Grove, U. Heimbach, H. Hokkanen, J. Jacas, G. Lewis, L. Moreth, L. Polgar, L. Roversti, L. Samsoe-Petersen, B. Sauphanor, L. Schaub, A. Staubli, J. J. Tuset, A. Vainio, M. Van de Veire, G. Viggiani, E. Viñuela, and H. Vogt. 1999. Results of the seventh joint pesticide testing programme carried out by the IOBC/WPRS-working group 'pesticides and beneficial organisms'. *Biocontrol* 44: 99-117.

Theiling, K. M. and B. A. Croft. 1988. Pesticide side-effects on arthropod natural enemies: a database summary. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 21: 191-218.

Thurston, R. 1960. Effect of insecticidal sprays on hornworms and on *Apanteles congregatus*. *Journal of Economic Entomology* 53: 976.

Tomlin, C., editor. 1997. The pesticide manual, eleventh edition. British Crop Protection Council. Berks, U. K.

Trumper, E. V. and J. Holt. 1998. Modelling pest population resurgence due to recolonization of fields following an insecticide application. *Journal of Applied Ecology* 35: 273-285.

Udayagiri, S., A. P. Norton and S. C. Welter. 2000. Integrating pesticide effects with inundative biological control: interpretation of pesticide toxicity curves for *Anaphes iole* in strawberries. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 95: 87-95.

Van den Berg, H., K. Hassan and M. Marzuki. 1998. Evaluation of pesticide effects on arthropod predator populations in soya bean in farmer's fields. *Biocontrol Science and Technology* 8: 125-137.

Villanueva-Jiménez, J. A., M. A. Hoy, and F. S. Davies. 2000. Field evaluation of integrated pest management-compatible pesticides for the citrus leafminer *Phyllocnistis citrella* (Lepidoptera: Gracillariidae) and its parasitoid *Ageniaspis citricola* (Hymenoptera: Encyrtidae). *Journal of Economic Entomology* 93: 357-367.

Waage, J. 1989. The population ecology of pest-pesticide-natural enemy interactions. En *Pesticides and non-target invertebrates*. Editado por P.C. Jepson. Intercept, Wimborne, Dorset.

Weinzierl, R. A. 2000. Botanical insecticides, soaps, and oils. En: *Biological and biotechnological control of insect pests*. J. E. Rechcigl y N. A. Rechcigl (editores). Lewis Publishers, Boca Raton, FL.

Wright, D. J., and R. H. J. Verkerk. 1995. Integration of chemical and biological control systems for arthropods: evaluation in a multitrophic context. *Pesticide Science* 44: 207-218.

Yamamoto, I. 1970. Mode of action of pyrethroids, nicotinoids, and rotenoids. *Annual Review of Entomology* 15: 257-272. Annual Reviews, Inc. Palo Alto, CA.

INSECTICIDAS DE ORIGEN VEGETAL

Cesáreo Rodríguez Hernández

Gonzalo Silva Aguayo

José Djair Vendramim

INSECTICIDAS DE ORIGEN VEGETAL

5

Cesáreo Rodríguez Hernández

Programa de Entomología y Acarología
Instituto de Fitosanidad
Colegio de Postgraduados
Montecillo. México.

Gonzalo Silva Aguayo

Departamento de Producción Vegetal
Facultad de Agronomía
Universidad de Concepción
Chillán. Chile.

José Djair Vendramim

Departamento de Entomología, Fitopatología y Zoología Agrícola
Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
Universidad de Sao Paulo
Piracicaba. Brasil.

INTRODUCCIÓN

Las plantas han evolucionado por más de 400 millones de años y para contrarrestar el ataque de los insectos han desarrollado mecanismos químicos de protección, como la acción insecticida. El hombre las explotó como principal herramienta en el combate de plagas, cuando descubrió que los aceites, cenizas, desechos de extracción, extractos, humos, jugos, polvos, y resinas de algunas de ellas le ayudaban a proteger sus cultivos. Después fueron desplazadas por los insecticidas inorgánicos y posteriormente por los insecticidas organosintéticos. En la década de los cuarentas, cuando surgieron estos últimos, se pensó que los insecticidas vegetales desaparecerían para siempre; no obstante, se siguieron utilizando como un método económico, tradicional y autóctono de manejo de plagas en países en vías de desarrollo, donde se constituyeron como la única opción real contra plagas. En estos lugares se mejoraron las técnicas, se ensayaron otras, resurgieron algunas, se validaron y divulgaron varias, en tal sentido que en la actualidad existen estrategias prácticas, lógicas y efectivas que solamente requieren la determinación de los compuestos secundarios para darle el debido sustento científico a esta práctica común. Por el lado técnico, durante los sesentas, se tomaron como modelo algunas sustancias naturales, que se llevaron al laboratorio y se modificaron para hacerlas más tóxicas. Sin embargo, el principal método de combate de plagas en los últimos 64 años ha sido el químico, lo que ha traído como consecuencia, lejos de matar las plagas, intoxicación a peces, aves y al hombre, contaminación al agua, aire y suelo, acumulación de residuos en los alimentos y subproductos, eliminación de enemigos naturales, y desarrollo de resistencia en plagas primarias y secundarias, entre otros efectos. Esto ha provocado un análisis y conducido a un cambio de paradigma, donde se persigue proteger cultivos, y no matar plagas. Se ha propiciado el cambio de conciencia, para utilizar productos biorracionales que sean fácil y rápidamente biodegradables y cuiden a los insectos benéficos. En este contexto se han

perfilado los insecticidas e insectistáticos vegetales, como una alternativa ecológica, natural y sostenible de fitoprotección. Sin embargo deben utilizarse las experiencias obtenidas en el pasado en el combate de plagas, para aplicar un criterio que permita el buen uso de esta alternativa por el mayor tiempo posible y siempre acorde a la naturaleza y con la sociedad.

BREVE RESEÑA HISTÓRICA

Los Chinos, y probablemente también los Egipcios, utilizaron las cenizas de madera contra plagas de almacén 2500 años a. de C. (Eesa y Cutkomp, 1994); hecho que constituye la primera referencia del uso de derivados de plantas con propiedades insecticidas. Posteriormente, 1000 años a. de C., también en China, se consigna el uso de extractos y polvos de *Derris* spp.

En el año 400 a. de C., en Persia (hoy Irán) se aplicaba el polvo de la flor de piretro (*Tanacetum cinerariaefolium*) en la cabeza de los niños para el control de piojos (Lagunes y Villanueva, 1994). Por el año 200 a. de C. se recomendó dirigir el humo del quemado de amurca (torta) de olivo, a la vid para destruir los pulgones. Después, en 100 años a. de C., los Romanos utilizaron heleboro (*Helleborus* spp) para el control de ratas, ratones e insectos (Ware, 2000). 100 años d. de C. se usó pepino (*Cucumis sativus*) contra langostas y chinche de cama. Sin embargo, el primer insecticida natural, propiamente tal, apareció aproximadamente en el siglo XVII, cuando se demostró que la nicotina, obtenida de hojas de tabaco (*Nicotiana tabacum*), mataba a unos escarabajos que atacaban al ciruelo (Pascual, s/f). Hacia 1850 se introdujo un insecticida vegetal conocido como rotenona que se obtuvo de las raíces de una planta llamada vulgarmente timbó (*Lonchocarpus nicou*) (Rodríguez, 1993). Hasta ese momento, esta planta sólo se utilizaba para pescar, pues los indígenas se habían dado cuenta que si lanzaban trozos de esta raíz al agua a los pocos minutos comenzaban a flotar peces que eran muy fáciles de atrapar. Con posterioridad se usaron plantas como la sabadilla (*Schoenocaulon officinale*), que se utilizaba para descongestionar las fosas nasales, y que no mataban directamente a los insectos sino que los «espantaban». Otras plantas, pero de más reciente data, fueron riania (*Ryania speciosa*), cuasia (*Quassia amara*), nim (*Azadirachta indica*) y zacate limón (*Cymbopogon citratus*). Hoy en día en México y varios países de Latinoamérica es común encontrar prácticas ancestrales contra plagas, del tiempo de los aztecas y mayas que los agricultores aún utilizan, como es el caso de ají o chile (*Capsicum* spp), estafiate (*Artemisia ludoviciana*), xoplitetl (*Trichilia havanensis*), ajo (*Allium sativum*), chilcuage (*Heliopsis longipes*), hierba de la cucaracha (*Haplophytum cimicidum*), cancerina (*Hippocratea excelsa*), chichicamole (*Microsechium helleri*) y hierba del perro (*Senecio ehrenbergianus*) entre otras (Rodríguez, 2002). En los últimos diez años se han comercializado los formulados insecticidas de ajo, ají, paraíso (*Melia azedarach*), nim, higuera (*Ricinus communis*), y zacate limón entre otros más (Rodríguez, 2001). Por último cabe destacar que actualmente se encuentra en desarrollo un nuevo tipo de insecticida de *Calceolaria andina*, una planta común en la cordillera de Chile.

¿CÓMO ACTÚAN?

Por definición, un insecticida es aquella sustancia que mata insectos, debido a la naturaleza de su estructura química (Ware, 2000). Por ejemplo, si se mata un insecto para la colección entomológica usando frascos con cianuro de potasio se puede decir que este compuesto tiene efecto insecticida; sin embargo, no se puede decir lo mismo del agua cuando las gotas de lluvia matan pulgones, ya que su mortalidad no se atribuye a las características de la estructura química del agua.

La mayoría de las especies de plantas que se utilizan en la protección vegetal, exhiben un efecto insectistático más que insecticida (Rodríguez, 1993). Es decir, inhiben el desarrollo normal de los insectos, lo cual puede suceder de varias maneras que se describen brevemente a continuación:

Inhibición de la alimentación

La inhibición de la alimentación es quizá el modo de acción más estudiado de los compuestos vegetales como insecticidas. Varios investigadores han analizado en detalle la búsqueda de la hospedera para alimentación, entre ellos Verschaffelt (1910), Hopkins (1917), Brues (1920), Fraenkel (1953), Beck (1965) y Dethier (1978), y al considerar diferentes situaciones han propuesto los términos antifeedant, feeding deterrent, feeding inhibition, rejectant, repellent y supressant para aludir en términos generales a la inhibición de la alimentación. Estos términos son usados indistintamente para describir diferentes fases y diversos niveles de inhibición de la alimentación, por lo que comúnmente el lector se confunde. De manera que para entender la inhibición de la alimentación primero debe comprenderse la alimentación, como un proceso vital, y después relacionar sus fases con los diversos términos citados en la literatura. La alimentación de los insectos fitófagos se da en varias etapas; orientación hacia la fuente de alimentación, prueba, ingestión, digestión, asimilación y excreción. En este sentido, la inhibición de la alimentación, provocada por los insectistáticos e insecticidas vegetales, consiste en evitar que se efectúe de manera normal la alimentación en por lo menos una de estas fases (Rodríguez, 2000b). Así, los repelentes de alimentación son compuestos secundarios que evitan que el insecto responda positivamente al estímulo olfativo, por lo tanto afectan el encuentro y el reconocimiento de la hospedera para alimentación. Los supresores y los deterrentes o disuasivos de la alimentación son compuestos secundarios que evitan que el insecto responda positivamente al estímulo gustativo, por lo tanto afectan la prueba y la ingestión. Las fases de digestión, asimilación y excreción se enmarcan como nutrición cunatitativa, aun no conceptualizados plenamente en la inhibición de la alimentación. De estas fases la más importante es la repelencia olfativa y es la que se desea que se presente en la práctica para proteger en forma contundente a los cultivos, y precisamente muchas de las aplicaciones prácticas de las plantas insectistáticas e insecticidas tienen esta propiedad (Rodríguez, 1996 y 2000b). De modo que hay plantas, extractos o aleloquímicos que inhiben la alimentación en diferentes modalidades: repelente de alimentación (por orientación o de proximidad), supresor de la alimentación y deterrente o disuasivo de la alimentación.

La inhibición de la alimentación frecuentemente se cuantifica en la literatura como repelencia en general, peso de larva (pérdida de), índice de alimentación, porcentaje de inhibición de la alimentación, consumo foliar (menor), inhibición de la alimentación (en general), inhibición de consumo, índice de inhibición de la alimentación, porcentaje de inhibición de la alimentación, porcentaje relativo de inhibición de la alimentación, porcentaje de reducción de la alimentación, dosis efectiva media, protección del 95% del área foliar, índices nutricionales, y peso de pupa (menor) (Rodríguez, 2000b).

Inhibición del crecimiento

La inhibición del crecimiento de los insectos por compuestos secundarios se descubrió posteriormente al conocimiento de la inhibición de la alimentación, en 1972 (Schmutterer, 1990). Los síntomas se observaron como consecuencia de la inhibición de la alimentación, por lo que se creía que era efecto colateral. No obstante, ya había reportes en el pasado que aludían a este efecto de inhibición de crecimiento. En 1964 Slama y Williams descubrieron en EUA que el quinto instar ninfal de la chinche *Pyrrhocoris apterus*, traída de Checoslovaquia, no mudó a adulto, sino que mudó a sexto instar o a una forma adultoide, conservando varias características ninfales. Sin excepción todos los individuos murieron sin completar la metamorfosis o madurar sexualmente. La sustancia responsable, juvabiona, aislada de *Abies balsamea* de Checoslovaquia, se encontró en el papel usado en la cría del insecto, por lo que se conoció como el «factor de papel» (Slama y Williams, 1965; Bowers et al., 1966).

Para entender la manera en que se inhibe el crecimiento en los insectos primeramente se debe entender la forma en que muda el insecto para crecer. Llanderal (1997) indica que la secuencia en la muda y la formación de la cutícula consta de varios procesos; liberación de la ecdisona u hormona de la muda, estimulación en las células epidermales, separación de la cutícula antigua y epidermis (apólisis), secreción del fluido de la muda, secreción de la capa externa de la cuticulina, activación del fluido de la muda, digestión de la endocutícula, secreción de la nueva procutícula, secreción de cera, eliminación de la cutícula antigua (ecdisis), expansión de la nueva cutícula, esclerotización, y finalmente la deposición de cera. La inhibición del crecimiento por compuestos secundarios se puede dar en cualquiera de estas etapas. Por ejemplo, la azadiractina atrasa la liberación de la ecdisona, o reduce su concentración en la hemolinfa (Mordue (Luntz) y Blackwell, 1993), o bien puede bloquear los receptores de la ecdisona (Redfern et al., 1981; Klocke, 1987; Govindachari, 1992).

De acuerdo al tipo de compuesto secundario, a su estructura, concentración y tiempo de exposición la inhibición del crecimiento puede provocar varios grados; leve, moderada o fuerte. Incluso puede encontrarse una falsa inhibición de crecimiento (Rodríguez, 1999). Podrá ser leve cuando solamente se observe prolongación del instar larval, moderada cuando exista prolongación en la fase larval e inhibición de la alimentación, y fuerte cuando haya prolongación del período larval, inhibición de la alimentación y mortalidad, sobre todo en las primeras fases de crecimiento. La falsa inhibición de crecimiento podrá presentarse cuando haya prolongación en la fase larval acompañada de algún parámetro biológico benéfico al insecto, como prolongación del estado de larva con mayor peso o mejor viabilidad.

Los parámetros que cuantifican la inhibición de crecimiento son; tiempo de prolongación del instar larval, Concentración Efectiva necesaria para inhibir el crecimiento en 50% de la población (CE_{50}), concentración necesaria para Inhibir la Muda en 95% de la población (IM_{95}), y Tasa relativa de crecimiento (Rodríguez, 1999).

Inhibición del desarrollo

Frecuentemente la inhibición del crecimiento se confunde con la inhibición del desarrollo. La primera se restringe solamente al período de crecimiento de los insectos, en tanto que la segunda, además de incluir a la inhibición de crecimiento, considera los procesos anormales en pupas y adultos (en parte). En el caso de huevecillos, será inhibición de la oviposición. La inhibición del desarrollo, se ha observado como prolongación de la fase pupal, disminución de la viabilidad pupal, y deformaciones en pupas y adultos principalmente.

Inhibición de la oviposición

La inhibición de la oviposición, la cual puede aludirse también como inhibición de la reproducción, consiste en afectar las actividades de copula, desarrollo de los oocitos, período de preoviposición, desarrollo de huevecillos, número y tamaño de huevecillos, viabilidad de huevecillos, eclosión, y periodo de oviposición. Por lo tanto se puede asegurar que tanto la fecundidad como la fertilidad pueden ser afectados por los compuestos secundarios de las plantas.

Otras formas de acción

Algunos compuestos, como los cromenos de *Ageratum houstonianum*, provocan el desarrollo precoz en algunos insectos, por lo que se les ha llamado precocenos (Bowers *et al.*, 1976; Jacobson, 1982). Finalmente otros compuesto secundarios pueden ocasionar una mezcla de los diversos modos de acción descritos anteriormente.

¿CUÁLES PLANTAS UTILIZAR?

Las publicaciones que muestran listados de plantas con propiedades insecticidas son varias (Rivera, 1944; Frear, 1948; Jacobson, 1958 y 1975; Secoy y Smith, 1983; Lagunes *et al.*, 1984; Grainge *et al.*, 1986; Grainge y Amhed, 1987; Guerra, 1988; Munch, 1988; Stoll, 1989; Ecker y Wubker, 1991; Gomero, 1994;). Por ejemplo, en 1950 Heal *et al.* reportaron aproximadamente 2500 plantas de 247 familias con alguna propiedad insecticida o tóxica para insectos; sin embargo, para usarlas no basta con que una planta sea considerada como prometedora o con probadas propiedades insecticidas, se deben hacer análisis de riesgos al ambiente y a la salud. Debe aplicarse un criterio, ya que no es conveniente recomendar el uso de plantas que estén en vías de extinción, que sean difíciles de encontrar o que su utilización implique alteraciones importantes a la densidad en que se encuentran en la

naturaleza. Si el día de mañana se descubre que la madera de la araucaria mata insectos, no debe recomendarse ni incentivar su uso para evitar su devastación. De esta forma y con la finalidad de obtener el máximo provecho de una planta con propiedades insecticidas, sin que ello implique un deterioro al ecosistema, se han enlistado las características que debe tener la planta insecticida ideal (Silva, 2001): ser perenne, estar ampliamente distribuida y en grandes cantidades en la naturaleza, o bien que se pueda cultivar; usar órganos renovables rápidamente, como hojas, flores o frutos, y evitar el uso de raíces y cortezas, que requiera poco espacio, nada de manejo, escasa agua y fertilización, no constituya una maleza para plantas de importancia económica, tenga usos complementarios (como medicinales), y sea efectiva a bajas dosis.

¿SI ES NATURAL NO ES VENENOSO?

Es un gran error considerar a los productos de origen vegetal y por ende a los insectistáticos e insecticidas vegetales como productos inocuos solo por ser naturales. En contraste varias plantas contra plagas tienen propiedades medicinales, y a su vez existe una gran cantidad de productos vegetales que son altamente tóxicos; basta recordar que la historia documenta que Sócrates fue condenado a muerte bebiendo la cicuta (*Conium maculatum*), que no era otra cosa que un extracto acuoso altamente venenoso de esta Umbelífera. Schmutz y Breazeale (1986), en su libro «Plantas que envenenan» señalan alrededor de 120 especies de plantas que contienen algún compuesto que es tóxico para el ser humano, mencionándose incluso especies tan comunes como el almendro, frejol, ajo y manzano, entre otras. En el caso de insecticidas vegetales las dosis letales medias (DI_{50}), oral agudas, de nicotina, rotenona y piretrinas, sustancias obtenidas de *N. tabacum*, *Derris* spp y *Lonchocarpus* spp, y *T. cinerariaefolium* son de 3-188 (Jaffe, 1985), 132 (Merk Index, 1976) y 1500 mg/kg (Klimmer, 1968) de peso de mamífero, respectivamente, a diferencia de la azadiractina obtenida de *A. indica* que tiene una DI_{50} mayor de 2000 mg/kg (Coats, 1994). Razón por la cual la nicotina (extremadamente tóxica) y la rotenona (moderadamente tóxica) se encuentran entre los materiales prohibidos y restringidos, respectivamente, en las normas internacionales de producción orgánica (Rodríguez, 1997). En el caso de piretrinas y azadiractina, no obstante ser ligeramente tóxicas, OCIA (2000) prohíbe su uso en la agricultura orgánica, probablemente por propiciar el uso de solventes en su extracción, requerir un proceso fitoquímico, tener un mayor espectro de acción que las fuentes naturales y por ser sustancias puras. A la sabadilla, una Liliácea insecticida, se le conoce como mata burros, como a otras más, por ser tóxica precisamente a estos animales. Por otro lado, las diversas Leguminosas que contienen rotenona matan peces, como lo demostraron varios grupos indígenas en el pasado. El proceso de extracción también tiene que ver con la toxicidad. El solvente que se use en la extracción de compuestos secundarios tendrá relación con la degradación o persistencia y por ende con la contaminación y toxicidad de los compuestos que se obtengan; los polares como el agua obtendrán compuestos secundarios rápidamente biodegradables y los no polares como el hexano extraerán los compuestos secundarios más persistentes y más tóxicos (Rodríguez, 1997). Varios insecticidas vegetales que se generan en la actualidad tienen como materia prima una planta comestible (como ajo, ajonjolí (*Sesamum indicum*), ají y cítricos), medicinal (como

eucalipto (*Eucalyptus* spp), higuera, nim y sábila (*Aloe vera*), y/o con olor placentero (como menta (*Mentha* spp), pino (*Pinus* spp) y zacate limón), en consecuencia, no se debe olvidar que el potencial tóxico de una molécula se debe a la naturaleza de su estructura química y no a su origen (Coats, 1994). También es importante considerar que la actividad insecticida de un compuesto secundario depende de la dosis en que se use. Como dijo Paracelso en 1564: «la diferencia entre lo que mata y lo que cura es la dosis».

COPIAS DE LA NATURALEZA

Las plantas no solo se pueden usar directamente como insecticidas naturales sino que también sus moléculas han servido como fuente para una serie de insecticidas organosintéticos desarrollados en laboratorio. Uno de los problemas para la agricultura de altos insumos, que se convierte en una ventaja para la agricultura orgánica o ecológica, incluso de la propia inocuidad alimentaria, es que los insecticidas de origen vegetal luego de ser aplicados se descomponen rápidamente por acción de la luz y la temperatura por lo que su permanencia en la planta es muy baja (no más de 36 horas cuando son altamente hidrosolubles). Esto ha hecho que muchas empresas químicas multinacionales modifiquen en sus laboratorios las moléculas encontradas en las plantas para darles mayor persistencia y toxicidad en el campo, presentando la ventaja que no se tenga que asperjar el cultivo o frutal prácticamente todos los días y no se arriesgue la «depredación» del cultivo. Un claro ejemplo de esto lo constituyen dos grupos de insecticidas de uso masivo en el ámbito agrícola, urbano, médico y veterinario, los piretroides y los carbamatos que son derivados sintéticos de moléculas aisladas de plantas como piretro y haba de calabar (*Physostigma venenosum*), respectivamente (Lagunes y Villanueva, 1994). Sin duda aún hay muchos modelos en la naturaleza esperando ser descubiertos.

TOXICIDAD DE LAS FORMULACIONES VEGETALES

En la comparación de varias formulaciones de nim, el aceite al 0.3 y 0.5% provocó 75 y 85% de mortalidad de huevecillos de la chinche *Chauliops fallas*. En tanto que el aceite de nim CE al 0.02% ocasionó 92.5% mortalidad de adultos. En contraste el extracto acuoso de nim al 3% no fue efectivo en la eliminación de huevecillos ni de adultos de esta chinche (Singh y Singh, 1993). Esto denota que la actividad de una especie vegetal depende de la formulación que se utilice. La azadiractina se ha tomado como referencia para determinar la calidad de los productos comerciales de nim, pero las diferentes técnicas de extracción utilizadas por los fabricantes hacen que haya diferente actividad en los productos. Cuando otros compuestos secundarios, además de azadiractina, se consideran en la formulación hay mejor actividad que cuando se eliminan (Walter, 1999). Esto es, que los extractos frecuentemente han mostrado mayor actividad que sus compuestos puros, como López *et al.* (2000) lo encontraron entre el extracto de *Trichilia havanensis* y la havanesina. Por otro lado, los coadyuvantes usados para estabilizar, emulsificar, dispersar, adherir y/o antioxidar entre otras funciones, también interfieren en la actividad tóxica de la azadiractina, como lo ha demostrado Walter (1999).

PRODUCTOS VEGETALES Y RESISTENCIA VEGETAL

La aplicación del extracto acuoso del tallo de *Trichilia pallida* al 0.1% en variedades resistentes de maíz contra el gusano cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*) incrementa la mortalidad en 30% en los materiales susceptibles y de 25 a 40% en los resistentes, prolonga la duración larval en 2.7 días en los primeros y de 1.9 a 3.2 días en los segundos, y disminuye el peso pupal en 42.9% y de 34.7 a 46.5% respectivamente, lo cual denota que no hay compatibilidad o que en algunos materiales resistentes puede ser más que aditivo (Torrecillas, 1997).

Los extractos acuosos del tallo de *T. pallida* y de la semilla de nim al 5% ocasionan alta mortalidad de larvas de gusano cogollero del maíz, tanto en maíz susceptible como resistente, de tal forma que no se aprecia la compatibilidad de estos dos métodos de combate en estas condiciones (Vendramim y Torrecillas, 1998). Por el contrario en la combinación de extracto acuoso de paraíso y maíz resistente contra larvas de gusano cogollero del maíz existe potenciación al triplicarse la mortalidad, en comparación a la ocasionada en material susceptible (Vendramim y Scampini, 1997).

PRODUCTOS VEGETALES Y PARASITOIDES

Los productos vegetales con actividad insectistática e insecticida pueden afectar de manera diversa la acción de los parasitoides; ya sea que disuadan la oviposición y/o inhiban el parasitismo, disminuyan la emergencia de parasitoides de insectos parasitados, y/o eliminen directamente tanto a los insectos parasitados como a los adultos de los parasitoides. No obstante esta toxicidad, a los productos vegetales se les clasifica como insecticidas selectivos.

Inhibición de la oviposición y/o del parasitismo

El piretro (extracto de piretro), la azadiractina (formulación comercial de nim, AZATIN EC; 3% de azadiractina en una base de naftaleno) y el nim (extracto etanólico crudo de las semillas de nim con 1% de azadiractina) disuaden a *Encarsia formosa* de parasitar ninfas de mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) (Simmonds et al., 2002). También el extracto de los esteroides con sucrosa de *Nicotiana glauca* al 0.1% (1 mg/ml de agua) y el MARGOSAN-O (extracto etanólico de la semilla de nim con 0.25% de azadiractina) al 0.624% (0.624 ml/100 ml de agua) disminuyen el parasitismo de *E. formosa* en ninfas de otra especie de mosca blanca (*Bemisia argentifolii*) en tomate de invernadero a las tres horas después de la aplicación, mientras que a las 24 horas el parasitismo es normal (Bentz y Neal Jr., 1995).

El AZATIN EC y el NEEM EC (4.6% de azadiractina), a dosis de 500 gramos de azadiractina/ha, afectan el parasitismo de *Trichogramma minutum* en huevecillos de *Ephesthia kuehniella*, y conjuntamente con formulados de azadiractina afectan el desarrollo del huevecillo parasitado (Lyons et al., 1996). En el mismo sentido, el aceite de la semilla de nim a la

concentración de 0.3% actúa como disuasivo de la oviposición del parasitoide *Trichogramma chilonis* (Raguraman y Singh, 1999).

De acuerdo con Hohmann et al. (2002), el pretratamiento de huevecillos del hospedero con el extracto acuoso de la semilla de nim a la concentración del 15% reduce drásticamente la capacidad de parasitismo de *Trichogramma pretiosum*. A concentraciones más bajas (3 y 1.5%), el parasitismo no se altera. En las evaluaciones en que el tratamiento de los huevecillos se realiza después del parasitismo, el extracto acuoso (15%) y el aceite de nim (0.25%) reducen la emergencia del parasitoide en 80 y 20%, respectivamente.

Según Klemm y Schmutterer (1993), la aplicación de aceite de nim a la concentración de 0.2% en huevecillos de la palomilla dorso de diamante (*Plutella xylostella*) reduce el número de huevecillos parasitados por *Trichogramma principium* en laboratorio y por *T. pretiosum* en condiciones de campo.

Resultados semejantes se han obtenido con el uso del extracto acuoso de la semilla de nim al 10%, el cual reduce el parasitismo de *T. pretiosum* sobre huevecillos de *Anagasta kuehniella*, además de perjudicar el desarrollo del parasitoide en el interior del huevecillo del hospedero, reduciendo la emergencia de adultos (Gonçalves-Gervásio, 2003).

En otros parasitoides la aplicación de 7 mL de NEEM-X (0.4% de azadiractina), por litro de agua, en campo, redujo en 22% el nivel de parasitismo ejercido por *Halticoptera alduine* y *Diglyphus* spp. en larvas de minador de la hoja *Liriomyza huidobrensis* (Iannacone y Reyes, 2002).

Inhibición de crecimiento del parasitoide

El MARGOSAN-O (Feldhege y Schmutterer, 1993), y el piretro (extracto de piretro), la azadiractina (formulación comercial de nim, AZATIN EC; 3% de azadiractina), y el nim (extracto etanólico crudo de semillas de nim con 1% de azadiractina) (Simmonds et al., 2002) disminuyen la emergencia del parasitoide *E. formosa* de mosca blanca *T. vaporariorum* parasitada. De la misma manera el MARGOSAN-O y el extracto de esteroides con sucrosa de *N. gossei* disminuyen la emergencia del parasitoide *Encarsia pergandiella* de ninfas de *B. argentifolii* parasitadas (Stansly y Liu, 1997).

En el caso de *Cotesia congregata* se retarda su desarrollo cuando se desarrolla en el gusano del cuerno *Manduca sexta* tratado con 2.5 a 10 µg de azadiractina (McCloskey et al., 1993).

La aplicación de azadiractina (NEEMIX 4.5, con 4.5% de azadiractina en una base de acetato) a la concentración de 180 ppm afecta el desarrollo del parasitoide *Lysiphlebus testaceipes* dentro del pulgón *Toxoptera citricida*, transmisor del virus de la tristeza de los cítricos (Tang et al., 2002).

Mortalidad en insectos parasitados y reducción de la sobrevivencia y mortalidad en parasitoides.

El extracto de los esteroides con sucrosa de *N. gossei* al 0.1% (1 mg/ml de agua) y el MARGOSAN-O al 0.624% (0.624 ml/100 ml de agua) matan aproximadamente la tercera parte de pupas de *B. argentifolii* parasitadas por *E. formosa* (Bentz y Neal Jr., 1995). La viabilidad de *Diadegma terebrans*, parasitoide de *Ostrinia nubilalis*, se reduce con la azadiractina (McCloskey et al., 1993).

El AZATIN EC y el NEEM EC, a la dosis de 500 gramos de azadiractina/ha, reducen la sobrevivencia de la hembra del parasitoide *T. minutum* (Lyons et al., 1996), de la misma forma como el NEEMIX 4.5, a la concentración de 180 ppm de azadiractina, afecta la sobrevivencia de adultos de *L. testaceipes*, parasitoide del pulgón *T. citricida* (Tang et al., 2002). El aceite de la semilla de nim, a la concentración del 1.2%, mezclado con miel de abeja, reduce significativamente la población de adultos de *T. chilonis* (Raguraman y Singh, 1999), en tanto que el piretro (extracto de piretro) causa mortalidad en bajas concentraciones al parasitoide *E. formosa* (Simmonds et al., 2002).

Por otro lado, cabe señalar que el nim provoca alta mortalidad, por contacto, en larvas de algunos ectoparásitos gregarios como *Bracon* spp. y *Colpoclypeus* spp. (Schmutterer, 1996).

Selectividad

La combinación de insecticidas vegetales con parasitoides (y otros enemigos naturales) persigue una alta toxicidad en la plaga y baja toxicidad en el organismo benéfico.

La azadiractina (formulación comercial de nim, AZATIN EC; 3% de azadiractina) y el nim (extracto etanólico crudo de las semillas de nim con 1% de azadiractina), causan mortalidad a adultos de *T. vaporariorum* pero no al parasitoide *E. formosa* (Simmonds et al., 2002), lo que denota que los productos derivados de nim son insecticidas selectivos. En igual perspectiva Stansly y Liu (1997) mencionan que el MARGOSAN-O y el extracto de esteroides con sucrosa de *N. gossei* son insecticidas selectivos, por ser supresantes de *B. argentifolii* y tener bajo efecto en el parasitoide *E. pergandiella*. No obstante, Lyons et al. (1996) indican que los productos comerciales de nim afectan más el parasitismo de *T. minutum* que las preparaciones artesanales del ingrediente activo (azadiractina). Al respecto, Stark et al. (1992) aseveran que la azadiractina no tiene efectos adversos sobre los parasitoides *Psytallia incisi*, *Diachasmimorpha longicaudata* y *Diachasmimorpha tryoni*. Sin embargo a concentraciones menores, algunos productos comerciales como NEMAZAL (3% de azadiractina) al 0.005% y FORTUNE AZA al 0.003% permiten un alto grado de parasitismo de *Trichogramma japonicum* en huevecillos de *C. cephalonica* (Borah et al., 2001). El NEEMIX 4.5, a concentraciones de 11 a 45 ppm de azadiractina, no afecta la sobrevivencia de adultos del parasitoide *L. testaceipes* ni el desarrollo del parasitoide dentro del pulgón *T. citricida* (Tang et al., 2002).

La azadiractina, a una concentración de 1000 $\mu\text{g/ml}$ no afecta adultos del parasitoide *Diadegma semiclausum*, en cambio prolonga la duración del período larval de *P. xylostella*, lo cual permite el desarrollo del parasitoide (Verkerk y Wrigth, 1993).

Para su mejor compatibilidad el aceite de nim debe aplicarse después de la liberación del parasitoide, cualquiera que este sea (Raguraman y Singh, 1999), en tal sentido Saxena et al. (1981) reportan que después de la aplicación del aceite de nim aumenta el parasitismo.

Por último los extractos acuosos y cloroformicos de la hoja de *T. pallida* en concentraciones de hasta 10% no afectan el parasitismo de *T. pretiosum* sobre huevecillos de *A. kuehniella* (Gonçalves-Gervásio y Vendramim, 2002).

Los endoparásitos, tanto solitarios como gregarios, son menos afectados por los productos vegetales, puesto que están protegidos por sus hospederos, y no se ven expuestos como los ectoparásitos (Schmutterer, 1996).

PRODUCTOS VEGETALES Y DEPREDADORES

Los depredadores responden en forma diversa al nim. Los huevecillos de coccinélidos y crisópidos no son afectados por los productos de nim (Schmutterer, 1996). Al respecto, Innacone y Lamas (2002) anuncian que la inmersión de huevecillos de *Chrysoperla externa* en NEEM-X, preparado a las concentraciones de 1, 2 y 3 mg de azadiractina por litro, no afecta la eclosión, y además señalan que las larvas de primer instar de este insecto no mueren por contacto con NEEM-X a las concentraciones de 8 y 16 mg de azadiractina por litro. En cambio, a la concentración de 32 mg de azadiractina por litro ocasiona un 50% de mortalidad, y cuando se alimentan con huevecillos de *Sitotoga cerealella* impregnados en concentraciones de 4.0 y 40 mg de azadiractina por litro no mueren en las primeras 72 horas. La toxicidad (CL50) de NEEM 4.5 (4.5% de azadiractina) en larvas de primero y cuarto instar de *Coccinella stempunctata* es de 1.42 y 520 ppm. Los síntomas en larvas tratadas varían según la concentración aplicada; a dosis bajas se prolonga el estado larvario, y a dosis altas pierden apetito, entran a una etapa de letargo, muchas no pupan y algunas quedan en la etapa de transición pupa-adulto (Banken y Stark, 1997). En lotes tratados con el extracto acuoso de semilla de nim al 3% inicialmente disminuye el número de larvas de *Chrysopa* spp., para posteriormente recuperarse (Morales et al., 1987). A su vez se ha visto que la viabilidad de pupas de *C. externa* tratadas en inmersión con NEEM-X a concentraciones de 16 y 32 mg de azadiractina por litro no sufre trastornos (Innacone y Lamas, 2002).

La aplicación tópica de ALIGN (3.2% de azadiractina en una base de naftaleno) a larvas de tercer instar de *Chrysoperla carnea* en concentraciones de 4, 16, 48 y 96 mg de azadiractina por litro (2, 8, 24 y 48 ng de azadiractina por insecto) ocasiona 55, 64, 40 y 0% de emergencia de adultos (Medina et al. 2003). Estos autores además indican que las crisopas que se desarrollan de larvas de tercer instar tratadas con dosis subletales (2 y 8 ng de azadiractina por insecto) depositan menos huevecillos por hembra y la eclosión de huevecillos es menor en la dosis más alta (8 ng de azadiractina por insecto). En este

sentido, Schmutterer (1996) indica que el nim afecta la fecundidad de enemigos naturales. No obstante, Birdar *et al.* (2002) señalan que la aplicación de NEEMARK (50 ml/l) y de la mezcla de NEEMARK con *Bacillus thuringiensis* (2.5 ml/l + 1.5 g/l) sobre adultos de *C. stempunctata* no reducen en campo la población del depredador.

La aplicación por separado de extracto de ajo y extracto de semillas de nim en maíz contra gusano cogollero favorece la presencia de al menos 10 grupos de especies depredadoras (Bahena *et al.*, 2003). Donde se asperja el extracto de ajo (BIOCRACK) es común encontrar ejemplares de las familias Anthocoridae, Carabidae, Coccinellidae, Dermaptera, Reduviidae, Syrphidae, Vespidae y arañas. Respecto a estas últimas, (Schmutterer, 1996) señala que tanto los juveniles como los adultos no son perjudicados por el nim.

El uso de insectistáticos e insecticidas vegetales deja a las ninfas y larvas sobrevivientes menos vigorosas, con menor movilidad y por lo tanto más expuestas a los depredadores, por ende el daño de enemigos naturales aumenta en comparación a larvas no tratadas, como lo sustenta Schmutterer (1990) con la aplicación de nim sobre gusano cogollero del maíz y la actividad depredadora de *Doru taeniatum* y *Ectatomma ruidum*.

PRODUCTOS VEGETALES Y HONGOS ENTOMOPATÓGENOS

Los insectistáticos e insecticidas vegetales no siempre son compatibles con los hongos entomopatógenos. Por ejemplo, imidacloprid (Cloronicotinoide) inhibe la actividad de *Beauveria bassiana* en ninfas de *B. argentifolii* (James y Elzen, 2001).

El aceite de nim, a dosis mayores al 2%, impide la germinación de conidias (esporas) del hongo *Metarhizium* spp. (Schmutterer, 1996). La mezcla de 5 ml de aceite crudo de semillas de nim y 100 mg de conidias de *Metarhizium anisopliae* ocasiona que menos del 86% de esporas germinen a las 26 horas (Rodríguez-Colorado *et al.*, 2003).

El NIMKOL-L, formulación a base de hojas de nim, reduce significativamente el crecimiento vegetativo, la conidiogénesis y la germinación de los conidios de *M. anisopliae* y *B. bassiana* en concentraciones de 5% de i.a., pero no los afecta a las concentraciones de hasta 1.8% de i.a. (Castiglioni, 2001).

La azadiractina inhibe moderadamente el crecimiento y la germinación de *Paecilomyces fumosoroseus*, sustentando así su efecto antagonístico. A concentraciones de 30 y 60 μg de azadiractina/ml de medio con 1×10^8 de *P. fumosoroseus* reduce en un 30% la producción de esporas y afecta la germinación, respectivamente (James, 2003). No obstante, la actividad antifúngica no es lo suficientemente fuerte como para inhibir completamente al hongo, por lo que se recomienda retardar la aplicación de *P. fumosoroseus* sobre ninfas de *B. argentifolii* para reducir el efecto antagonista de la azadiractina.

PRODUCTOS VEGETALES Y BACTERIAS ENTOMOPATÓGENAS

Los productos de nim inhiben «*in vitro*» el desarrollo de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (cepa MB-23) en concentraciones de 0.025 a 5.0% (López *et al.*, 1996). Así se ha observado por Moar y Trumble (1987); que la combinación de la CL25 de nim (extracto puro de la semilla de nim) con la CL₂₅ de Dipel 2X (polvo humectable conteniendo el aislado HD-1 con 32,000 unidades internacionales (UI/mg) produce antagonismo en el combate de larvas neonatas del gusano soldado *Spodoptera exigua*. Su mezcla no resulta en potenciación por el efecto antialimentario y de inhibición de crecimiento del nim. Por la misma razón la mezcla de nim con *Bacillus thuringiensis var tenebrionis* no es satisfactoria en los dos primeros instares larvales de la catarinita de la papa (*Leptinotarsa decemlineata*) (Schmutterer, 1996); sin embargo, Trisyono y Whalong (1999) asumen que la mezcla de NEEMIX (0.25% de azadiractina en una base alcohólica con aceite de nim al 5%) con la delta endotoxina encapsulada de *Bacillus thuringiensis* subespecie *tenebrionis* (CellCaps), a dosis subletales de 0.25 y 0.45 mg de azadiractina por litro y de 0.74 mg/l respectivamente, aplicada en follaje de papa en laboratorio contra larvas de segundo instar de la catarinita de la papa es aditiva. Además complementan que cuando se aplican por separado y en mezcla, las concentraciones subletales de estos dos productos disminuyen el peso, retrasan el crecimiento y aumentan la mortalidad de larvas. No obstante estos resultados, Schmutterer (1996) asevera que la mezcla de nim con *Bacillus thuringiensis var israelensis* da un efecto aditivo o sinergista en el control de larvas de mosquitos.

PRODUCTOS VEGETALES Y VIRUS ENTOMOPATÓGENOS

La mezcla de insectistáticos e insecticidas vegetales no es compatible con el virus de la poliedrosis nuclear (VPN). El extracto de semilla de nim con VPN no muestra sinergismo; no obstante que mata larvas de *Limantria dispar* más rápido (Shapiro *et al.*, 1994). Sin embargo, normalmente se recomienda su uso como aditivo para reducir la defoliación, pues no interfiere con el VPN.

La mezcla del extracto acuoso de las flores de paraíso (*Melia azadarach*) al 5% con el VPN no provoca un efecto sinérgico contra larvas de *Anticarsia gemmatilis* (Morales *et al.*, 1997).

PRODUCTOS VEGETALES E INSECTICIDAS CONVENCIONALES

Toxicidad similar a insecticidas organosintéticos

Los insecticidas organosintéticos ocasionan una mortalidad fulminante en la mayoría de los casos a diferencia de los productos vegetales que actúan de otra manera, ya sea protegiendo al cultivo y/o disminuyendo la población de la plaga. En la comparación de varios insecticidas organosintéticos con nim Yee y Toscano (1998) reportan que Bifentrina, Metomilo y Spinosad provocan 100% de mortalidad larval en gusano soldado en tanto que TRILOGY (90% de aceite de nim) reduce el consumo foliar.

No obstante, con algunos productos vegetales puede encontrarse la misma efectividad que con insecticidas convencionales. Sudoi *et al.* (1989) indican que el Piretro 25% CE, con agente humectable, reduce la población de trips *Scirtothrips kenyensis* con la misma efectividad que la Permetrina CE al 25%, y es mejor que el Dimetoato 40% CE y Malatión 50% CE. El aceite de nim al 0.5% es igual de efectivo que el Cartap (hidrocloruro de cartap al 0.05%) para eliminar huevecillos de la chinche *C. fallas*; con una mortalidad de 85.0 y 87.5%, respectivamente (Singh y Singh, 1993). También se ha registrado una toxicidad similar entre el BIONIM (azadiractina), Malatión y Safer (insecticida a base de jabón) en el control de pulgones *Macrosiphum euphorbiae*, *Myzus persicae*, y *Nasonovia rivisnigri* en lechuga hidropónica (Fournier y Brodeur, 2000). Por su parte Casaña-Giner *et al.* (1999) reportan actividad similar entre la azadiractina y varios reguladores de crecimiento (lufenuron, triflumuron, diflubenzuron, J2644, ciromazina, pyriproxifen, metopreno, fenoxycarb y buprofezin) en la inhibición de la eclosión de huevecillos de la mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*).

Controlan poblaciones resistentes a organosintéticos

El nim puede controlar fácilmente poblaciones resistentes de huevecillos, ninfas y adultos de *Bemisia tabaci* con dosis menores, iguales o similares a las que controlan las poblaciones susceptibles (Prabhaker *et al.*, 1989). No obstante que el nim es menos tóxico que los insecticidas organosintéticos, sus diferentes modos de acción sustentan su gran potencial en la disminución de las poblaciones de insectos, tanto susceptibles como resistentes, por su habilidad de matar estados tempranos al inhibir la alimentación, crecimiento, desarrollo y oviposición. Esta actividad se ha constatado en la práctica, razón por la que los productores y formuladores mezclan insecticidas organosintéticos con productos vegetales, con el afán de controlar plagas resistentes, en detrimento del periodo de efectividad de cada uno de los productos. Los productos vegetales permiten el manejo agroecológico de plagas, su combinación con insecticidas convencionales no se justifica por su efectividad, contaminación ni costo económico.

MANEJO BIORRACIONAL DE PRODUCTOS VEGETALES

En el combate del gusano bellotero (*Heliothis virescens*) se ha encontrado una toxicidad diferencial con diversos productos vegetales. Riania (polvo humectable al 0.11%) y azadiractina (concentrado emulsionable al 0.3%) provocan mortalidad total de larvas. Piretro y sabadilla prolongan en 20 y 13 días el desarrollo larval e inhiben el crecimiento. Con sabadilla la pupa pesa un 67%, respecto al peso del testigo (100%) y también inhibe la alimentación (Yoshida y Toscano, 1994). Así, se puede observar que riania y azadiractina matan a toda la población, piretro y sabadilla inhiben el crecimiento y esta última inhibe también la alimentación. En otras investigaciones se ha encontrado por separado la inhibición de crecimiento y la inhibición de la alimentación (Rodríguez y Vendramim, 1998), lo que indica que en un momento determinado

se pueden tener estos tres modos de acción, solos y en combinación, por lo que se debe tener un criterio racional para evitar en lo posible la mayor presión de selección y en consecuencia la corta duración de esta alternativa. Primero deben aplicarse aquellos productos vegetales que inhiban la alimentación, posteriormente los que inhiban el crecimiento, luego los que inhiban la alimentación y el crecimiento, en seguida los que inhiban el desarrollo, inhiban la alimentación, el crecimiento y/o desarrollo, y finalmente los que ocasionen solamente mortalidad (principalmente a estados tempranos de crecimiento). De esta manera se usa menos producto vegetal, se contamina menos el ambiente, se disminuye en lo posible la presión de selección, se retarda el desarrollo de la resistencia, y sobre todo se aplica un criterio biorracional para lograr el uso de esta alternativa por el mayor tiempo posible.

PERSPECTIVAS

El principal mercado de los insecticidas vegetales hoy en día es el de parques y jardines, lugares recreativos y de convivencia cotidiana que no deben ser contaminados. De igual manera se hace un gran uso de esta alternativa en mascotas, para protegerlas de plagas y evitar contaminación química durante su convivencia. Tienen perspectiva también para la protección del hombre y evitar la transmisión de enfermedades, como repelentes de mosquitos, pulgas, garrapatas, etc. Se continuarán usando en la agricultura tradicional de Latinoamérica, donde se ha implementado como una tecnología autarcica. En la agricultura orgánica han ayudado a producir sin la aplicación de organosintéticos. Sin duda, aun siguen siendo una fuente de modelos naturales que pueden tomarse como base para el desarrollo de insecticidas organosintéticos. Por ser naturales cada vez se están empleando en lugares insospechados, en cultivos recién domesticados y en plagas de reciente resurgimiento. Incluso avalados indirectamente por los convenios internacionales, inherentes a la inminente globalización, que exige que los productos tengan menor número y cantidad de contaminantes, sean inocuos, se realicen buenas practicas agrícolas y se proteja al productor y trabajador. Existe el compromiso mundial de eliminar a los insecticidas más persistentes por lo que existe una gran perspectiva en los compuestos secundarios de origen natural, para ocupar ese lugar. En países desarrollados, en consecuencia, se está obligando a un reregistro de plaguicidas, con la finalidad de incentivar el uso de compuestos bioracionales. Esto sin lugar a dudas favorece a todas aquellas opciones de menor riesgo para el control de plagas, entre las que se encuentran los insecticidas de origen vegetal.

LITERATURA CITADA

- Addor, R. W. 1995.** Insecticides. In: Godfrey C.R.A. (Ed) Agrochemicals from natural products. Marcel Dekker, Inc. p. 1-62.
- Bahena J., F.; R. Sánchez M. y M. A. Miranda S. 2003.** Extractos vegetales y bioplaguicidas alternativas para el combate del gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). In: Entomología Mexicana. Romero N., J.; E. G. Estrada V. y A. Equihua M. (Eds). Vol. 2. p.366-72.
- Banken, A. O. and J. D. Stark. 1997.** Stage and age influence on the susceptibility of *Coccinela stempunctata* (Coleoptera: Coccinellidae) after direct exposure to Neemix, and neem insecticides. J. Econ. Entomol. 90(5):1102-5.
- Beck, S. D. 1965.** Resistance of plant to insects. Ann. Rev. Entomol. 10:207-32.
- Bentz, J. and J.W. Neal Jr. 1995.** Effect of a natural insecticide from *Nicotiana glauca* on the whitefly parasitoid *Encarsia formosa* (Hymenoptera: Aphelinidae). J. Econ. Entomol. 88(6):1611-5.
- Birdar, V.K., P.R. Shivpuje, B. N. Rawle and R. S. Bansod. 2002.** Effects of certain bio-pesticides on the population of lady bird beetle. Journal of Soils and Crops. 12(1):151-2.
- Borah, M., A. Basit and R. K. Nath. 2001.** Effect of certain insecticides on the parasitism and emergence of the egg parasitoid, *Trichogramma japonicum*. Crop Research Hisar. 22(1):138-40.
- Bowers, W.S.; H. M. Fales; M. J. Thompson and E. C. Uebel. 1966.** Juvenile hormone: identification of an active compound from balsam fir. Science 154:1020-1.
- Bowers, W. S.; T. Otha; J. S. Cleere and P.A. Marsella. 1976.** Discovery of insect anti-juvenile hormones in plants. Science 193:542-7.
- Brues, C. T. 1920.** The selection of food-plants by insects, with special reference to lepidopterous larvae. Amer. Nat. 54:313-32.
- Casaña-Giner, V.; A. Gandia-Belanger; C. Mengod-Puerta; J. Primo-Millo and E. Primo-Yúfera. 1999.** Insect growth regulators as chemosterilants for *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae). J. Econ. Entomol. 92(2):303-8.
- Castiglioni R., E. A. 2001.** Efeito de derivados de meliáceas e isolados de fungos entomopatogênicos sobre o cupim subterrâneo *Heterotermes tenuis* (Hagen, 1858) (Isoptera, Rhinotermitidae). Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, Brasil. 133p.
- Coats, J. R. 1994.** Risks from natural versus synthetic insecticides. Annu. Rev. Entomol. 39:489-515.
- Coudriet, D. L.; N. Prabhaker and D. E. Meyerdirk. 1985.** Sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae): effects of neem-seed extract on oviposition and immature stages. Environ. Entomol. 14:776-9.

- Cremllyn, R. 1985.** Plaguicidas modernos y su acción bioquímica. Limusa. México DF. 356p.
- Dethier, V.G. 1978.** Studies on insect/host plant relations; past and future. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 24(3):559-66.
- Ecker, S. y S. Wubker. 1991.** Control natural de plagas en el Paraguay. Ediciones CECTEC. Asunción, Paraguay.
- Eesa, N.M. and L.K. Cutkomp (Comp, Eds). 1994.** Glossary of pesticide toxicology and related terms. Thomson publications. Fresno, CA, USA. p.52-60.
- Feldhege, M. and H. Schmutterer. 1993.** Investigations on side-effects of Margosan-O on *Encarsia formosa* Gah. (Hym., Aphelinidae), parasitoid of the greenhouse whitefly, *Trialetrodes vaporariorum* Westw. (Hom., Aleyrodidae). *Journal of Applied Entomology* 115:37-42.
- Fournier, V. and J. Brodeur. 2000.** Dose-response susceptibility of pest aphids (Homoptera: Aphididae) and their control on hydroponically grown lettuce with the entomopathogenic fungus *Verticillium lecanii*, azadirachtin, and insecticidal soap. *J. Econ. Entomol.* 29(3):568-78.
- Fraenkel, G. 1953.** The nutritional value of green plants for insects. *Trans. IXth Int. Congr. Ent.* Amsterdam 1951, 2:90-100.
- Frear, D.E.H. (Comp.). 1948.** Chemical fungicides and plant insecticides. A catalogue of insecticides and fungicides. Volume II. *Chronica botánica.* Waltham, Mass., USA.
- Gomero O., L. (Ed). 1994.** Plantas para proteger cultivos; Tecnología para controlar plagas y enfermedades. L. Gomero O. (Ed.). Red de Acción en Alternativas al uso de Agroquímicos (RAAA). Lima, Perú.
- Gonçalves-Gervásio, R. C. R. 2003.** Efeito de extratos de *Trichilia pallida* Swartz e *Azadirachta indica* A. Juss (Meliaceae) sobre *Tuta absoluta* (Meyrick) e seu parasitóide *Trichogramma pretiosum* Riley. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, Brasil. 88p.
- Gonçalves-Gervásio, R. C. R. y J. D. Vendramim. 2002.** Efeito de extratos de *Trichilia pallida* sobre o parasitóide de ovos *Trichogramma pretiosum*. Resumos do 190 Congresso Brasileiro de Entomologia. SEB. Manaus, AM, Brasil. p.76-7.
- Govindachari, T.R. 1992.** Chemical and biological investigations on *Azadirachta indica* (the neem tree). *Current Science* 63(3):117-22.
- Grainge, M. and S. Ahmed. 1987.** Handbook of plants with pest-control properties. John Wiley & Sons, New York, USA. 470p.
- Grainge, M.; S. Amhed; W.C. Mitchell and J.W. Hylin. 1986.** Plant species reportedly possessing pest-control properties-an EWC/UH database. East-West Center and University of Hawaii. Honolulu, Hawaii, USA.
- Guerra, M. De S. 1988.** Receituário agronômico. Editora globo. Rfo de Janeiro, Brasil.

- Heal, R.; E. Rogers; R. T. Wallace and O. Starnes. 1950.** A survey of plants for insecticidal activity. *Lloydia* 13(2):89-162.
- Hernández, M.; V. Fuentes; M. Hernández; R. Avilés y E. Pereira. 1999.** Plaguicidas naturales de origen botánico. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT). La Habana, Cuba. 105p.
- Hilje, L. y P. Hanson. 1998.** La biodiversidad tropical y el manejo Integrado de Plagas. *Revista Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 48:1-10.
- Hohmann, C. L.; T. Novaes de G.; F. A. Silva da C.; E. Andrade de A. 2002.** Effect of neem, *Azadirachta indica* A. Juss. on *Trichogramma pretiosum* Riley and *Trichogrammatoidea annulata* De Santis. Abstracts of 60 International Egg Parasitoid Symposium. IOBC. Perugia, Umbria, Italia. p.33-4.
- Hopkins, A. D. 1917.** Contribution to discussion. *J. Econ. Entomol.* 10:92-3.
- Iannacone, J. y G. Lamas. 2002.** Efecto de dos extractos botánicos y un insecticida convencional sobre el depredador *Chrysoperla externa*. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)* 65:92-101.
- Iannacone, J. O. y M. Reyes U. 2001.** Efecto de la rotenona y neem sobre *Bemisia tabaci Gennadius* (Homoptera:Aleyrodidae) y *Liriomyza huidobrensis* Blanchard (Diptera: Agromyzidae) plaga del tomate en Perú. *Agronomía Trop.* 5(1):65-79.
- Jacobson, M. 1982.** Plants, insects, and man-their interrelations. *Economic Botanic* 36(3):346-54.
- Jaffe, J. H. 1985.** Drug addiction and drug abuse. In: Goodman and Gilman's the Pharmacological Basis of Therapeutics. Gilman, A.G.; L.S. Goodman; T.W. Rall and F. Murad (Eds). p.532-81. MacMillan. 7th ed. New York, USA. 1839p.
- James, R. R. 2003.** Combining azadirachtin and *Paecilomyces fumosoroseus* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) to control *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). *J. Econ. Entomol.* 96(1):25-30.
- James, R. R. and G. W. Elzen. 2001.** Antagonism between *Beauveria bassiana* and imidacloprid when combined for *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) control. *J. Econ. Entomol.* 94: 357-61.
- Klemm, U. and H. Schmutterer. 1993.** Effects of neem preparations on *Plutella xylostella* L. and its natural enemies of the genus *Trichogramma*. *Journal of Plant Diseases and Protection* 100(2):113-28.
- Klimmer, R. O. 1968.** Plaguicidas; toxicología, sintomatología y terapia. 1ª edición Española. Oikos Tau. Barcelona, España.
- Klocke, J.A. 1987.** Natural plant compounds useful in insect control. In: Allelochemicals; role in agriculture and forestry. Waller, G. R. (Ed). American Chemical Society Symposium Ser. 330. Washington, USA. p.396-415.

- Lagunes T., A. y J. A. Villanueva J. 1994.** Toxicología y manejo de insecticidas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México. 264p.
- Lagunes T., A.; C. Arenas L. y C. Rodríguez H. 1984.** Extractos acuosos y polvos vegetales con propiedades insecticidas. CONACYT-CP-UACH-DGVS-INIFAP. Chapingo, Estado de México. 203p.
- Llenderal C., C. 1997.** introducción a la fisiología de insectos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México. p.107-17.
- López, M. T.; J. Estrada; G. Croche; B. Castillo y A. González. 1996.** Resultados acerca de la compatibilidad entre productos nim y algunos microorganismos de interés agrícola. Resúmenes de Bioplag '96: plaguicidas naturales. INIFAT. Cuba . p.23.
- López O., J. F.; M. C. De la Torre; A. Aragón; E. Viñuela y P. Castañera. 2000.** Efecto antialimentario de extractos de *Trichilia havanensis* Jacq. (Meliaceae) sobre larvas de *Leptinotarsa decemlineata* (Say). Memorias del VI Simposio Nacional sobre Substancias Vegetales y Minerales en el Combate de Plagas. Rodríguez H., C. (Ed.). 13 de junio del 2000. Acapulco, Guerrero, México. p. 45-59.
- Lyons, B.; B. Helson and R. Bouchier. 1996.** Effects of azadirachtin-based insecticides on the egg parasitoid, *Trichogramma minutum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). Abstracts 5th International Neem Conference. Gattton, Australia. p.52.
- McCloskey, C.; J. T. Arnason; N. Donskov; R. Chenier; J. Kaminski and B. J. R. Philogene. 1993.** Third trophic level effects of azadirachtin. The Canadian Entomologist 125(1):163-5.
- Medina, R.; G. Smaghe; F. Budia; L. Tirry and E. Viñuela. 2003.** Toxicity and absorption of azadirachtin, diflubenzuron, pyriproxyfen and tebufenozide after topical application in predatory larvae of *Chrysoperla carnea* (Neuroptera: Chrysopidae). Environ. Entomol. 32(1):196-203.
- Merck Index. 1976.** The Merck Index: an encyclopedia of chemicals and drugs. 9th ed. Merck and Co. Rahway, NJ, USA.
- Moar, W. J. and J. T. Trumble. 1987.** Toxicity, joint action, and mean time of mortality of dipel 2X, avermectin B1, neem, and thuringiensin against beet armyworms (Lepidoptera: Noctuidae). J. Econ. Entomol 80(3):588-92.
- Morales, L.; M. U. Ventura; F. Moscardi; F. Paro e I. Soldorio. 1997.** Efeito do extrato de flor de *Melia azedarach* em *Anticarsia gemmatalis*, e em mistura com o seu vírus de poliedrose nuclear. Resumos do 16º Congresso Brasileiro de Entomologia. Salvador, Bahia, Brasil. p.110-1.
- Morales, H.; M. S. Pacheco; R. Barillas y J. Schuster. 1987.** Evaluación de un extracto acuoso de semilla de neem (*Azadirachta indica*) sobre mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en plantas de algodón y okra. Memorias del V Congreso Nacional y I Centroamericano México y el Caribe de Manejo Integrado de Plagas. Guatemala, C.A. 101-2p.
- Mordue (Luntz), A. J. and A. Blackwell. 1993.** Azadirachtin: an update. Journal of Insect Physiology 39(11):903-24.

Munch, E. L. 1988. Plantas con propiedades plaguicidas; posibilidades para el Depto. de Choluteca / Honduras. COHAAT (GTZ). Choluteca, Honduras.

OCIA. 2000. Estándares Internacionales de Certificación. Organic Crop Improvement Association (OCIA)-México. Oaxaca, México. 86p.

Pascual, M.J. s/f. Plaguicidas naturales de origen vegetal: Estado actual de la investigación. INIA. España. 35p.

Prabhaker, N.; N. C. Toscano and D. L. Coudriet. 1989. Susceptibility of the immature and adult stages of the sweetpotato whitefly (*Homoptera: Aleyrodidae*) to selected insecticides. *J. Econ. Entomol.* 82(4):983-8.

Price, P. 1984. Plant and insect herbivore relationship. In: Price, P. *Insect Ecology*. John Wiley & Sons. New York, USA. 40-69p.

Raguraman, S. and R. P. Singh. 1999. Biological effects of neem (*Azadirachta indica*) seed oil on an egg parasitoid, *Trichogramma chilonis*. *J. Econ. Entomol.* 92(6):1274-80.

Redfern, R. E.; J. D. Warthen Jr.; E. C. Uebel and G. D. Mills Jr. 1981. The antifeeding and growth-disrupting effects of azadirachtin on *Spodoptera frugiperda* and *Oncopeltus fasciatus*. In: Natural pesticides from the neem tree (*Azadirachta indica* A. Juss) and other tropical plants. International Neem Conference I. GTZ Press. Eschborn, Alemania. p. 129-36.

Rivera, I. 1944. Algunas plantas venenosas reportadas como insecticidas. *Fitófilo (México)* 3(3):42-52.

Rodríguez-Colorado, S. R.; J. C. Rodríguez-Maciell; D. Riestra-Díaz; J. A. Villanueva-Jiménez y D. A. Rodríguez-Lagunes. 2002. Influencia de la luz y de aditivos naturales sobre la germinación de conidias de *Metarhizium anisopliae*. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*. 64:34-40.

Rodríguez H., C. 1993. Fitoinsecticidas en el combate de insectos. Memoria del Curso de Bases prácticas de la agroecología en el desarrollo Centroamericano. Modulo II: Manejo de plagas en el sistema de producción orgánica. ALTERTEC, CLADES y HELVETAS. San Martín Zapotitlán, Retalhuleu, Guatemala, C.A. p. 12-26.

Rodríguez H., C. 1996. Plantas insecticidas: Un método sostenible de fitoprotección. In: Memorias del II Simposio Internacional y III Reunión nacional sobre Agricultura sostenible: Una contribución al desarrollo agrícola integral. Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México. p.233-8.

Rodríguez H., C. 1997. Insecticidas vegetales y agricultura orgánica. Memoria del Evento de Aprobación en Certificación de Agricultura Orgánica. SAGAR-CP. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México. p. 62-79.

Rodríguez H., C. 1999. Efecto insectistático de *Melia azedarach* y *Trichilia pallida* (Meliaceae) en el gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). In: Memorias del IV Simposio Internacional y V Reunión Nacional sobre Agricultura Sostenible. Montecillo, Texcoco, Edo. de México, México. p.295-306.

Rodríguez H., C. 2000a. Inhibición de la alimentación en insectos plaga. In: Métodos de Investigación en las Ciencias Ambientales. López O., J. F.; Aragón G. y M. A. Valera P. (eds). Publicación especial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México. p.75-97.

Rodríguez H., C. 2000b. Plantas contra plagas; Potencial práctico de ajo, anona, nim, chile y tabaco. RAPAM. Texcoco, Edo. de México, México. 133p.

Rodríguez H., C. 2001. El uso de insecticidas vegetales en el manejo de plagas en la floricultura. Memoria del 50 Seminario Internacional de Flor de Corte, MÉXICO 2001. Consejo Mexicano de la Flor. Ixtapan de la Sal, Estado de México, México. Artículo No 12 con 8 páginas.

Rodríguez H., C. 2002. Plantas plaguicidas de México. Memoria del 1er Foro Regional Fitosanitario. Fundación Produce Oaxaca y COSAVEO. Tuxtpec, Oaxaca, México. p.46-54.

Rodríguez H., C. y J. D. Vendramim. 1998. Uso de índices nutricionales para medir el efecto insectistático de extractos de meliáceas sobre *Spodoptera frugiperda*. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) 48:11-8.

Romero, F. y C. Villanueva. 2000. Resistencia vegetal a insectos y ácaros: los conceptos y las bases. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 324p.

Saxena, R. C.; N. J. Liquido and H. D. Justo Jr. 1981. Neem seed oil a potential antifeedant for the control of the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*. In: Natural pesticides from the neem tree (*Azadirachta indica* A. Juss). 1th International Neem Conference. GTZ Press. Eschborn, Alemania. p.171-88.

Schmutz, E. and L. Breazeale. 1986. Plants that poison. Northland Press. Flagstaff. Arizona, USA. 241p.

Schmutterer, H. 1990. Properties and potential of natural pesticides from the neem tree, *Azadirachta indica*. Annual Review of Entomology 35:271-97.

Schmutterer, H. 1996. Side effects of neem products on insect pathogens, predators and parasitoids. Abstracts 5th International Neem Conference. Gattton, Australia. p.59.

Secoy, D. M. and A. E. Smith. 1983. Use of plants in control of agricultural and domestic pests. Economic botany 37(1): 28-57.

Shapiro, M.; J. L. Robertson and R. E. Webb. 1994. Effects of neem seed extract upon the gipsy moth (Lepidoptera: Lymantridae) and its nuclear polyhedrosis virus. J. Econ. Entomol. 87 (2):356-60.

Sharma, D. C. and N. P. Kashyap. 2002. Impact of pesticidal spray on seasonal availability of natural predators and parasitoids in tea ecosystem. Journal of Biological Control. 16 (1):31-35.

Silva, G. 2001. Evaluación de polvos vegetales solos y en mezcla con inertes minerales para el combate de *Sitophilus zeamais* Motschulsky en maíz almacenado. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Texcoco, México. 75p.

Simmonds, M. S. J.; J. D. Manlove; W. M. Blaney and B. P. S. Khambay. 2002. Effects of selected botanical insecticides on the behaviour and mortality of the glasshouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* and the parasitoid *Encarsia formosa*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 102:39-47.

Singh, K.J. and O. P. Singh. 1993. Efficacy of biopesticides on eggs and adults of cowpea-pod bug (*Chauliops fallax*) infesting soybean (*Glycine max*). *Indian Journal of Agricultural Sciences* 63(11):756-8.

Slama, K. and C. M. Williams. 1965. Juvenile hormone activity for the bug *Pyrrhocoris apterus*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 54:411-4.

Stansly, P.A. and T. X. Liu. 1997. Selectivity of insecticides to *Encarsia pergandiella* (Hymenoptera: Aphelinidae), an endoparasitoid of *Bemisia argentifolii* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Bulletin of Entomological Research* 87:525-31.

Stark, J. D.; T.T.Y. Wong; R. I. Vargas and R. K. Thalman. 1992. Survival, longevity and reproduction of tephritid fruit fly parasitoids (Hymenoptera: Braconidae) reared from fruit flies exposed to azadirachtin. *J. Econ. Entomol.* 85(4):1125-9.

Stoll, G. 1989. Protección natural de cultivos con recursos provenientes de las granjas de las zonas tropicales y subtropicales. Trad. Jelenic, D. y D. Domann. Editorial Científica Josef Margraf. Weikersheim, Alemania. 184 p.

Sudoj, V.; C. M. Warul and J. H. Ombaka. 1989. Control of the yellow tea thrips *Scirtothrips kenyensis* Mound, (Thysanoptera: Thripidae) with formulations containing natural pyrethrum, synthetic pyrethroids and organophosphates. *Pyrethrum Post* 17(3):105-7.

Swain, T. 1977. Secondary compounds as protective agents. *Ann. Rev. Physiol.* 28:479-501.

Tang, Y. Q.; A.A. Weathersbee III and R. T. Mayer. 2002. Effect of neem seed extract on the brown citrus aphid (Homoptera: Aphididae) and its parasitoid *Lysiphlebus testaceipes* (Hymenoptera: Aphidiidae). *Environ. Entomol.* 31(1):172-6.

Torrecillas, S. M. 1997. Efeito de extratos aquosos de *Trichilia pallida* Swartz (Meliaceae) no desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) em diferentes genótipos de milho. Dissertação de Mestre em Ciências. Departamento de Entomologia, Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», Universidade de São Paulo. Piracicaba, São Paulo, Brasil. 141 p.

Trisyono, A. and M. E. Whalong. 1999. Toxicity of neem applied alone and in combination with *Bacillus thuringiensis* to Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *J. Econ. Entomol.* 92(6):1281-8.

Vendramim, J. D. y P. J. Scampini. 1997. Efeito do extrato aquoso de *Melia azedarach* sobre o desenvolvimento de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) em dois genótipos de milho. *Rev. Agr.* 72:159-70.

Vendramim, J. D. y S. M. Torrecillas. 1998. Efecto de extractos acuosos de *Trichilia pallida* (Meliaceae) y genotipos resistentes de maíz sobre *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith). In: Memorias del Simposio Internacional sobre Substancias Vegetales y Minerales en el Combate de Plagas. Rodríguez H., C. (ed). Acapulco, Guerrero, México. p.133-44.

Verkerk, R. H. J. and D. J. Wright. 1993. Biological activity of neem seed kernel extracts and synthetic azadirachtin against larvae of *Plutella xylostella* L. Pesticide Sci. 37:83-91.

Verschaffelt, E. 1910. The cause determining the selection of food in some herbivorous insects. Proc. Acad. Sci. Amsterdam 13: 536-42.

Walter, J. F. 1999. Commercial experience with neem products. In: Biopesticides: use and delivery. Hall, F. R. and J. J. Menn (Eds). Humana, Totowa, NJ, USA. p.155-70.

Ware, G. 1994. The pesticide Book. Thomson Publications. San Francisco, CA, USA. 356p.

Yee, W. L., and N. C. Toscano. 1998. Laboratory evaluations of synthetic and natural insecticides on beet armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) damage and survival on lettuce. J. Econ. Entomol. 91(1):56-63.

Yoshida, H. A. and N. C. Toscano. 1994. Comparative effects of selected natural insecticides on *Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. J. Econ. Entomol. 87(2):305-10.

INSECTICIDAS MICROBIANOS

Luis Garrigos Leite
Sergio Batista Alves
Roberto M. Pereira

Luis Garrigos Leite

Laboratorio de Control Biológico
Instituto Biológico.
Campinas. Brasil

Sergio Batista Alves

Departamento de Entomología, Fitopatología y Zoología Agrícola
Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
Universidad de Sao Paulo
Piracicaba. Brasil

Roberto M. Pereira

Center for Medical Agricultural and Veterinary Entomology Agricultural
Research Service.
United States Department of Agriculture (USDA)
Gainesville. U.S.A.

INTRODUCCION

Los entomopatogenos utilizados para el control microbiano de plagas comprenden bacterias, virus, hongos, protozoos y nematodos. A pesar de la investigación y permanente interés en el uso de insecticidas microbianos, que de hecho surgieron antes que el control químico, estos no han llegado a ocupar un lugar destacado entre los productos usados para el control de insectos en la agricultura y otras áreas. Este aparente desinterés del público por el desarrollo comercial de los insecticidas microbianos puede ser explicado porque en su mayoría no tienen un desarrollo tecnológico que permita un alto nivel de control o un costo compatible con las prácticas normales de control de plagas.

La comparación entre los entomopatogenos con los insecticidas químicos convencionales es generalmente hecha enfocando solamente la eficacia y costo de ambos productos. Cuando se haga una comparación esta se debe basar en los beneficios ambientales y la seguridad para los mamíferos, la reducción de los residuos en los alimentos, el aumento de la actividad de la mayoría de los enemigos naturales del suelo y en un aumento de la biodiversidad del ecosistema manejado; de esta forma se advierte que las ventajas de los insecticidas microbianos son numerosas. Los insecticidas microbianos también ofrecen algunas ventajas sobre los artrópodos utilizados en el control biológico, ya que la mayoría de los entomopatogenos pueden ser aplicados con equipos convencionales y muchos pueden ser producidos en medios artificiales y almacenados por largos períodos de tiempo. Como la mayoría de los artrópodos, muchos entomopatógenos son específicos para determinadas especies o grupos de insectos plaga y algunos poseen el potencial de proveer un control bastante duradero (Lacey *et al.*, 2001).

Según Weinzierl et al (1997), las ventajas y desventajas de los insecticidas microbianos son:

VENTAJAS

Los organismos usados como insecticidas microbianos no son tóxicos ni patogénicos para mamíferos y otros organismos.

La acción tóxica es generalmente específica para un único grupo o especie de insectos y por lo tanto los efectos sobre insectos benéficos son mínimos.

De ser necesario, la mayoría de los entomopatógenos pueden ser utilizados en mezclas con insecticidas sintéticos.

Los residuos no son tóxicos para humanos, permitiendo que los entomopatógenos puedan ser aplicados poco antes de la cosecha.

En algunos casos, los entomopatógenos pueden establecerse en un área tratada, provocando un control duradero del insecto objetivo por varias generaciones o estaciones.

DESVENTAJAS

La especificidad de los entomopatógenos limita el mercado de los insecticidas microbianos, y por ende los costos asociados al desarrollo de los productos no pueden ser compensados con su venta para el control de una amplia gama de insectos plaga.

Las altas temperaturas (calor) y la exposición a los rayos ultravioleta, desecan y reducen la eficiencia de los insecticidas. Por esto, la aplicación debe ser hecha en horarios adecuados, usando procedimientos generalmente más específicos.

Son necesarias formulaciones especiales para mantener la viabilidad de los agentes durante el almacenamiento.

La mayoría de los entomopatógenos deben ser ingeridos para llegar al hospedero, restringiendo el método y lugar de aplicación.

RESEÑA HISTORICA

Desde muy antigua data se sabe que los insectos también sufren enfermedades, los chinos, 2700 a.c., los egipcios, cerca del 2200 a.c, y los griegos poco después, entregan algunas referencias sobre enfermedades que se presentaban en el gusano de seda y las abejas. Aristoteles (384-322 a.c.), describe en su libro *Historia Animalium* enfermedades de las abejas cuyos síntomas coinciden con la «pudrición de la cría», importante enfermedad que ataca a las abejas en Brasil y en muchos otros lugares del mundo (Alves, 1988).

En 1835, Agostino Bassi, considerado «El padre de la patología de insectos» comprobó que el hongo *Beauveria bassiana* era el causante de una enfermedad de mucha importancia para el gusano de seda llamada «muscardina blanca». Posteriormente en 1865, Pasteur determinó como agente causal de la pebrina del gusano de seda al protozoo *Nosema bombycis*, desarrollando métodos prácticos para el control de este patógeno que permitieron salvar la industria de la seda francesa y mundial del fracaso económico.

Las primeras observaciones y estudios se concentraron en el gusano de seda y abejas, convirtiéndose estos en la base para los primeros trabajos referentes a la naturaleza de enfermedades de insectos y su importancia en la ecología de estos (Burgess y Hussey, 1971). Gradualmente, los trabajos se extendieron a otras especies de plagas, dando origen al concepto del uso de patógenos para el control de plagas.

En 1964, John Evelyn, en su libro *Sylva*, presenta la primera recomendación de un macerado de larvas (probablemente atacadas por virus), para el control de una plaga forestal, anticipándose en más de tres siglos al método empleado actualmente para el control de larvas con estos agentes entomopatógenos (Alves, 1998). En 1879, un ruso, Metchnikoff, condujo el primer experimento sobre mortalidad de un insecto plaga por medio de un microorganismo, infectando larvas de *Anisoplia austriaca* con el hongo *Metarhizium anisopliae* (Stenhaus, 1949).

Otra fecha importante en la patología de insectos fue el descubrimiento de *Bacillus thuringiensis* por Berliner en 1911 (Alves, 1998). Esta bacteria dio origen al primer producto comercial a base de un entomopatógeno, o Sporeine, producido antes de 1938 (Jacobs, 1951). Después de la segunda guerra mundial varias compañías de Estados Unidos comenzaron a producir esta bacteria y a probar otros productos a base de virus para el control de plagas. Como consecuencia, se crearon diversos centros de patología de insectos, comenzando en 1945 con el establecimiento del laboratorio de patología de insectos de la Universidad de California. Desde entonces el progreso en el uso de patógenos para el control de insectos y ácaros fue exponencial. En 1950 se registró un patógeno para ser usado en control de plagas, otro en 1960 y otros cinco entre 1970 y 1979 (Burgess, 1981). En Brasil los productos microbianos comenzaron a ser comercializados a inicios de la década del 70, con el lanzamiento de *Metarhizium anisopliae* para el control de cicadélidos en caña de azúcar y praderas (Cuadro 1). Actualmente existen más de 200 productos microbianos comercializados a nivel mundial, incluyendo bacterias, nematodos, hongos, virus y protozoos.

Cuadro 1. Establecimiento de programas con entomopatógenos en Brasil.

AÑO	GRUPO DE PATÓGENOS	PATÓGENO	PLAGA BLANCO
1970	Hongo	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Cicadelido de la caña de azúcar y empastadas
1980	Virus	<i>Baculovirus anticarsia</i>	Gusano de la soya
1984	Bacteria	<i>Bacillus sphaericus</i>	Mosquitos
1984	Bacteria	<i>Bacillus thuringiensis</i> , var. <i>israelencis</i>	Mosquitos y Simulidos
1987	Hongo	<i>Sporothrix insectorum</i>	Chinche del hule
1988	Virus	<i>Baculovirus erinnyis</i>	Gusano de la mandioca
1990	Virus	<i>Baculovirus spodoptera</i>	Larva del gorgojo del maíz
1990	Nematodo	<i>Beddingia sericidicola</i>	Avispa de la madera
1992	Hongo	<i>Beauveria bassiana</i>	Broca del banano
1992	Hongo	<i>Metarhizium anisopliae</i> e <i>Beauveria bassiana</i>	Termita de montículo
1995	Hongo	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Broca de los citricos
1998	Hongo	<i>Beauveria bassiana</i>	Ácaro rayado
1998	Hongo	<i>Beauveria bassiana</i>	Mosquita blanca

DESARROLLO DE LOS INSECTICIDAS MICROBIANOS

Diversas especies de nematodos y microorganismos poseen potencial para ser usados como productos comerciales (Starnes et al, 1993). Según Alves *et al.* (1998), un buen candidato para ser explotado comercialmente debería presentar como mínimo las siguientes características:

Seguridad: Un patógeno debe ser seguro en relación a los vertebrados, parasitoides, depredadores, insectos útiles y artrópodos no blanco, no producir un impacto ambiental o bien un mínimo perceptible.

Eficacia y viabilidad económica: Debe ser eficiente contra la plaga dirigida, conforme a la estrategia seleccionada, incluida en el MIP. Por tratarse de un producto microbiano, la evaluación de eficacia debe considerar la mortalidad directa y también la mortalidad de larvas, pupas, adultos, huevos, capacidad de postura, acción conjunta con parásitos y depredadores, persistencia, reciclaje, etc.. Debe también efectuarse un estudio de viabilidad económica, de acuerdo con el propósito propuesto por Belarmino (1992).

Tipo de patógeno: Los patógenos de acción lenta deben ser desarrollados para las estrategias de liberación acumulativa e incremento, dirigiendo el control de insectos a un agroecosistema más estable. Los patógenos de acción rápida pueden ser desarrollados para ser aplicados en liberaciones inundativas en diversos agroecosistemas. Por ejemplo,

los nematodos están más adaptados para el control de plagas subterráneas de insectos que viven en ambientes húmedos y crípticos.

Espectro de hospederos: Económicamente son más viables los patógenos de amplio espectro. Por esto, se debe preferir el uso de patógenos que actúen sobre más de una plaga de alta importancia económica o sobre varias plagas de menor importancia o que ocurran en épocas diferentes.

Modo de acción: Debe tener la capacidad de actuar, en forma mínima, por dos vías de infección.

Producción: Debe ser fácil y económico de producir en medio artificial o «in vivo».

Formulación: Debe poseer una fase de su ciclo que sea adaptable al proceso de formulación, manteniendo la estabilidad del producto por un período mínimo de dieciocho a veinte meses. Esta característica puede no ser importante para las pequeñas empresas que trabajan produciendo el patógeno puro por encargo en forma anticipada.

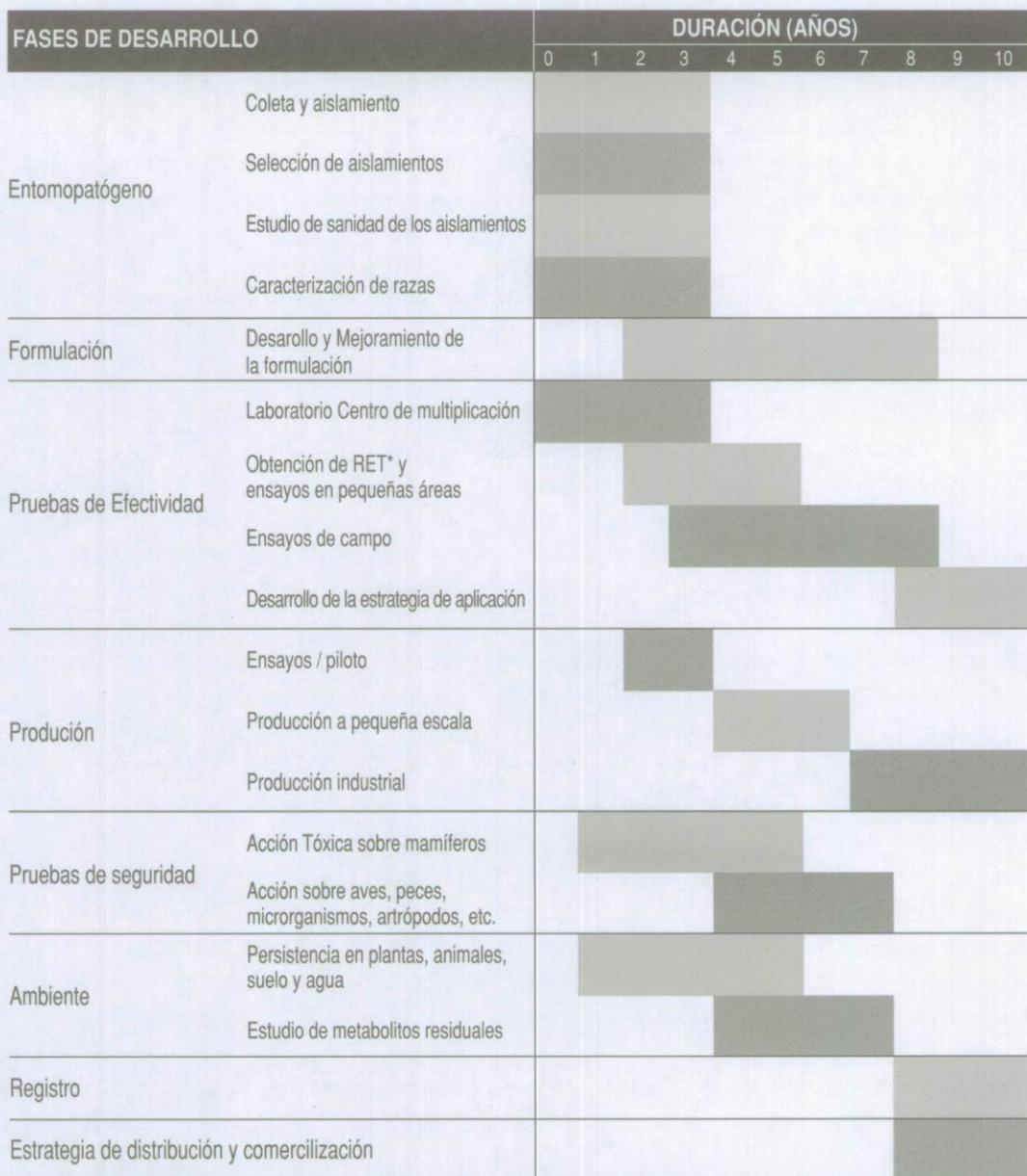
Aplicación: Debe ser adecuada y resistente a las condiciones ambientales y adaptado al proceso de aplicación y fácilmente disponible en el mercado, siendo deseables aquellos que pueden ser desarrollados en forma de cebos atrayentes.

Almacenamiento y Comercialización: No debe exigir condiciones especiales de almacenamiento y después de su acción no debe dejar estructuras visibles en los alimentos tratados.

Costos de desarrollo y registro: Deben ser compatibles con el costo potencial. Como los insecticidas microbianos tienen larga vida, estos costos pueden ser amortizados con el tiempo.

Marketing: Es deseable que pueda actuar sobre plagas resistentes a los insecticidas químicos y/o permitir también una sustitución de químicos en los agroecosistemas más estables, donde estos productos estén siendo utilizados en forma extensiva.

El éxito del desarrollo de patógenos para uso comercial en control biológico de plagas involucra la selección del agente (con el objetivo de obtener el mejor tipo de aislamiento para la plaga blanco), desarrollo de métodos eficientes y de bajo costo para la producción masiva, métodos eficientes para almacenamiento y envío del agente, desarrollo de formulaciones para proteger y liberar el agente en la zona donde se encuentra la plaga blanco, evaluar en campo la eficacia del producto y los métodos para su aplicación, factores económicos que afectan el desarrollo del mercado del producto y demostraciones de la seguridad de los productos en cuanto al hombre (o vertebrados) y ambiente (Van Driesche y Bellows Jr, 1986). Según Alves *et al.* (1998), las principales etapas que se necesitan para el desarrollo de un insecticida microbiano se describen en la Figura 1.



(*) RET – Registro Especial Temporal para fines de investigación de un producto microbiano.

Figura 1. Etapas necesarias para el desarrollo de un producto microbiano (Alves et al., 1998).

El tiempo necesitado para el desarrollo de un producto microbiano varía con el patógeno, los datos científicos disponibles y la estrategia de control de la plaga a ser adoptada. Apenas la fase de selección de líneas, cuando se efectúan bioensayos con centenas de aislamientos, tiene una duración mínima de uno a dos años. Es probable que para cada mil aislamientos evaluados sea posible seleccionar un aislamiento con posibilidades comerciales (1:1000), contra 1:75000 de las moléculas químicas. Puede considerarse que un período de cinco a diez años de investigación es suficiente para la obtención de una buena formulación microbiana. Con relación a los gastos para el desarrollo de un biodefensivo, se estima que sería necesaria la inversión del orden de US \$20 a 50 millones, lo cual es un 80% menor a los insecticidas químicos. El tiempo y la inversión señalados son factores importantes que deben ser considerados en cualquier proyecto, para que se puedan obtener productos agronómicamente confiables y seguros (Alves et al, 1998).

PRODUCTOS COMERCIALES

A pesar de la baja inversión en el área del desarrollo de productos microbianos por parte de las grandes industrias relacionadas al control de plagas y enfermedades de plantas, ya existen en el mercado internacional muchas formulaciones de diferentes agentes entomopatógenos.

BACTERIAS

Dentro de los diversos grupos de patógenos, las bacterias han representado el mayor éxito en el uso comercial de bioinsecticidas, constituyendo cerca del 50% de los productos microbianos existentes en el mercado (Alves et al, 1998) (Cuadro 2). Estos organismos se encuentran generalmente en el suelo, siendo la mayoría de los aislamientos con propiedades insecticidas provenientes de este medio. Tres especies de bacterias formadoras de esporas del género *Bacillus*, han sido utilizadas en el control de varios grupos de plagas; *Bacillus popilliae* y *B. lentimorbus* contra larvas de escarabeidos (Coleoptera); *Bacillus thuringiensis*, incluyendo a la variedad *kurstaki* contra larvas de lepidópteros, variedad *israelensis* contra larvas de dípteros (en diversas familias), y variedad *tenebrioides* contra larvas de crisomelidos (Coleoptera) y *Bacillus sphaericus* contra larvas de culicidos (Diptera) (Falcon, 1985; Lüthy, 1986; Osborne et al, 1990; Weinzierl et al., 1997). La bacteria *Serratia entomophila* también ha sido usada para el control de escarabeidos, en pequeña escala (Lacey, 2001).

La mayor importancia le ha sido dada a *B. thuringiensis* habiéndose encontrado hasta la fecha aproximadamente 60 subespecies obtenidas de más de 700 aislamientos (Van Driesche y Bellows, 1996). *B. sphaericus* tiene algunas ventajas sobre *B. thuringiensis* variedad *israeliensis*, ya que presenta mayor persistencia en habitats contaminados, y tiene la capacidad de ser reciclado en determinadas condiciones de campo. Por otro lado, *B. sphaericus* actúa en una menor gama de hospederos (Lacey y Udeen, 1986; Hougar, 1990; Charles et al, 1996; Nicolas et al; 1994). Algunas poblaciones de *Culex quinquefasciatus* han presentado altos niveles de resistencia a *B. sphaericus* (Rao et al., 1995; Nielsen-Leroux et al, 1995; Nielsen-Leroux et al, 1997).

La mayoría de las propiedades insecticidas de *B. thuringiensis* están asociadas a las proteínas tóxicas ubicadas en el cuerpo de la inclusión parasporal, también conocido como cristal proteico. Estas proteínas son formadas durante la esporulación y representan más del 30% de la proteína total de la bacteria (Höfte y Whiteley, 1989; Aronson, 1993; Agaisse y Lereclus, 1995). La toxina que se encuentra en el cristal proteico es conocida como δ -endotoxina y puede matar al hospedero en 24 horas.

La bacteria de mayor interés comercial, *Bacillus thuringiensis*, puede ser producida «in vitro», tanto en medio semi-sólido como en medio líquido. El sistema semi-sólido ha sido utilizado en forma paralela como substrato y/o como material terminado al final del proceso, generalmente seco y molido con el objetivo de obtener una formulación en polvo. Para la obtención de un polvo mojable, la bacteria debe ser producida en medios líquidos basados en componentes como melaza, extractos de maíz, harina de semilla de algodón, suero de leche, etc.. La bacteria y las toxinas asociadas pueden ser obtenidas por diversos métodos, incluyendo filtración, centrifugación y precipitación (Dulmage y Rhodes, 1971).

La producción de *Bacillus popilliae* involucra tanto la producción «in vitro» como «in vivo». La esporulación no ocurre en forma eficiente en medio artificial (Stahly y Klein, 1992). Por lo tanto, la etapa final para la obtención de grandes cantidades de esporas de *B. popilliae* incluye su inoculación en larvas de escarabeidos con células del patógeno (Van Driesche y Bellows, 1996). Esta dependencia de un hospedero vivo para la producción de la bacteria ha significado muchas veces la obtención de niveles de infección menores a los esperados en varias pruebas de campo (Klein y Kaya, 1995), lo que reduce el potencial de este agente para ser usado a gran escala.

Algunos productos a base de *B. thuringiensis* contienen esporas de bacterias y las proteínas tóxicas asociadas. Otros no contienen materiales vivos, sino que apenas las proteínas tóxicas que las bacterias produjeron en el medio de cultivo. Las esporas son relativamente estables, siendo comercializadas en formulaciones de polvo mojable y líquidas. La mayoría de los productos a base de *B. thuringiensis* son formulados para ser aplicados en aspersiones foliares. El caso de *B. thuringiensis* var. *israeliensis*, usada para el control de larvas de dípteros, existen formulaciones líquidas para ser aplicadas en ambientes acuáticos (Mulla et al, 1990). Otras formulaciones como los briquetes, liberan los agentes más lentamente pudiendo ser aplicadas a lo largo de

las áreas de reproducción de las larvas. *B. thuringiensis* también ha sido formulado en gránulos de almidón (para encapsular las esporas), y asociado con algunos aditivos como fijadores, protectores contra la radiación ultravioleta y fagoestimulantes (Van Driesche y Bellows, 1996).

Los aislamientos de *B. thuringiensis* que producen beta-toxina presentan alguna toxicidad para ratones y gallinas, sin embargo todos los aislamientos actualmente usados para el control de plagas no producen esta toxina, siendo seguros para humanos y otros vertebrados (Shaddock et al, 1980; Podgwaite, 1986; Siegel y Shaddock, 1990). En Alemania han surgido algunas preocupaciones sobre la posibilidad de que *B. thuringiensis* contamine los reservorios de agua potable debido a las semejanzas de esta bacteria con la especie *B. cereus* la cual puede infectar al ser humano (Helmuth, 1988).

Los insectos no blanco, comúnmente muertos por la exposición a *B. thuringiensis*, son aquellos del orden Lepidoptera, como el gusano de seda (*Bombyx mori*), y el grupo de parasitoides en las fases inmaduras (dentro de la plaga blanco) (Podgwaite, 1986). Los países con industrias basadas en la reproducción de insectos, como Japón, pueden exigir que las preparaciones de *B. thuringiensis* no contengan esporas vivas, sino que solo las toxinas (Aizawa, 1990).

Virus

Los virus entomopatógenos están distribuidos en por lo menos 16 familias (Etwistle, 1983; Moore et al., 1987; Tanada y Kaya, 1993). Los virus de la poliedrosis nuclear y granulosis, de la familia Baculoviridae, son los que se encuentran en mayor frecuencia y presentan el mayor potencial para un uso comercial, pudiendo causar infecciones letales, siendo conocidos como patogénicos solamente para insectos (Payne, 1986). Estos virus están envueltos en una capa proteica que los protege del medio exterior. También son promisorios para ser desarrollados como insecticidas microbianos los *Entomopoxivirus* o virus de la poliedrosis citoplasmática (VPC) (Alves, 1998). Del mismo modo las bacterias y protozoos, los virus son patógenos que penetran principalmente por la vía oral.

De modo general, los virus son menos dependientes de los factores bióticos y abióticos en comparación a los hongos. Son más específicos, tienen diversos métodos de aplicación, se pueden establecer en el área tratada, mantienen la plaga a niveles no económicos lo que normalmente no ocurre con los productos en base a *B. thuringiensis*. Sin embargo, son pocos los virus que han tenido éxito como productos comerciales debido a su elevado costo y estrecha gama de hospederos. Debido a su gran especificidad, la producción y acción de estos agentes, casi siempre, sobre los hospederos originales, ha limitado de sobremanera el desarrollo de los mismos a escala industrial. Además, al contrario de las bacterias que poseen acción rápida, son considerados lentos para disminuir la alimentación, matando al hospedero generalmente en 4 días. Esta es una gran desventaja de los virus en relación a *B. thuringiensis* y los insecticidas químicos. La mayoría de los productos a base de virus son subsidiados por instituciones públicas (Falcon, 1976; Falcon, 1985; Morris, 1980).

En Brasil se ha producido *Baculovirus anticarsia* para el control de la larva de la soya el cual ha sido producido en el hospedero vivo criado en condiciones de laboratorio y también en poblaciones de insectos recolectadas en siembras infestadas. Para la producción de campo, las empresas hacen contratos con los propietarios de las siembras para realizar el control del insecto con el patógeno recibiendo por su parte el permiso de coleccionar larvas infestadas. Este procedimiento resulta en un producto de bajo costo que se comercializa a un precio de US\$1,30 a 2,00 en cantidades de 50 larvas equivalentes a una hectárea.

Existen diversas formulaciones de *Baculovirus* disponibles en el mercado (Cuadro 3), representando cerca del 20% de los productos microbianos que han sido comercializados (Alves et al, 1998). Las formulaciones son desarrolladas para ser aplicadas con la maquinaria convencional usadas para la aplicación de insecticidas químicos, siendo generalmente preparadas con un espesante, un protector contra radiación ultravioleta y un fagoestimulante (Young y Yearian, 1986). Formulaciones de polvos mojables han sido ofrecidas en el mercado siendo preparadas con poliedros del virus más lactosa o arcilla. Pueden utilizarse algunos protectores contra radiación ultravioleta como colorantes; especialmente Congo vermellón (Shapiro y Robertson, 1992), cápsulas de almidón (almidón pre-gelatinizado) (Ignoffo et al, 1991) y clarificantes ópticos (Shapiro y Robertson, 1992).

Diversos virus de la poliedrosis nuclear han sido evaluados en cuanto a su actividad para más de 24 especies de vertebrados, incluidos mamíferos, aves y especies de peces, no presentando toxicidad alguna (Burges et al, 1980; Podwaite, 1986). Los virus de la granulosis han sido desarrollados con menor frecuencia, pero los existentes sugieren que este grupo, conocido por infestar a lepidópteros, son incapaces de infestar a los vertebrados.

Los virus entomopatogenos son conocidos por atacar solamente especies de un genero de sus hospedantes originales o géneros próximos, dentro de la misma familia. Por lo tanto, otros invertebrados no relacionados con los hospederos originales no son afectados con las aplicaciones de virus (Podwaite, 1986). También existen virus con una mayor gama de hospederos como VPN, patógeno de *Autographa californica*, que afecta a más de 43 especies de lepidópteros (Payne, 1986).

Hongos

Al contrario de los virus, protozoos y bacterias, los que infectan a sus hospederos principalmente por vía oral, los hongos pueden iniciar la colonización de los artrópodos por la vía traqueal, oral y por el integumento. Así, los hongos inducen menor resistencia a los insectos. Las conidias germinan en la cutícula del insecto, resultando en la formación de estructuras especializadas que rompen el integumento y permiten la penetración del patógeno al cuerpo del hospedero. La muerte del hospedero ocurre dentro de 3 a 7 días. Los hongos que atacan insectos, en su mayoría, están dentro de la subdivisión Deuteromycotina (especies conocidas solamente por formas asexuales) y de la familia Entomophthoraceae de la subdivisión Zygomycotina.

Epizootias de hongos ocurren periódicamente, pudiendo causar altos niveles de mortalidad en poblaciones de artrópodos (Goh et al, 1989). El hongo *Zoopthora radicans* encontrado en Israel fue introducido a Australia para contribuir con la supresión del pulgón de la alfalfa, *Therioaphis trifolii* (Monelf) f. *maculata* (Milner et al. 1982). Existen cerca de 700 especies de hongos entomopatógenos ya identificados siendo apenas 10 las evaluadas en el control de plagas, destacándose los generos: *Metarhizium*, *Beauveria*, *Hirsutella*, *Nomureaea*, *Paecilomyces*, *Verticillium*, *Aschersonia*, *Sporothrix* todos del orden Entomophthorales.

La selección de especies y aislamientos es una importante etapa del desarrollo de hongos entomopatógenos procurándose explorar la gran diversidad genética que estos organismos presentan y evaluando solo los más eficientes para el control de plagas. En Brasil, esta etapa ha sido bastante explorada (Tabla 4), contribuyendo en forma importante en la implementación de programas basados en hongos entomopatógenos. Así mismo, el desarrollo de bioinsecticidas a base de hongos han sido limitados debido, principalmente, a las elevadas concentraciones de propagulos para efectuar el control del insecto, generalmente sobre 5×10^{12} conidios ha^{-1} , la que es una unidad adecuada exigida para la germinación de conidias.

De modo general, los productos elaborados con hongos son desarrollados a partir de técnicas artesanales, utilizando medios sólidos y semi-líquidos, lo que limita de sobremañera la producción a gran escala. Estos métodos, se basan principalmente en el uso de arroz cocido como sustrato, proporcionando rendimientos para *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* en torno a los 10^8 y 10^9 conidias g^{-1} de hongo más sustrato, respectivamente. Un sistema bifásico de producción fue desarrollado con éxito por la empresa Emerald BioAgriculture (antigua Mycotech) para la obtención de *Beauveria bassiana*, proporcionando rendimientos en torno de 2×10^{11} g^{-1} de hongo más sustrato. Este método, incluye la producción de inóculo en un medio líquido y transferido a una cama de sustrato semi-sólido, rico en almidón, donde ocurre la conidiogénesis. La empresa tiene una capacidad instalada para una producción anual de $5,0 \times 10^{18}$ conidias de *B. bassiana* (Lord, 1997), suficiente para el tratamiento anual de un millón de hectáreas si se considera una razón de $5,0 \times 10^{12}$ unidades infectivas ha^{-1} . El sistema de producción que sumerge en un medio líquido, para fermentación, ha sido adoptado para la obtención de blastósporos de *Verticillium lecanii* y *Paecilomyces fumosoroseus*, los cuales constituyen la base de dos productos conocidos como Mycotal y PFR-97, respectivamente, comercializados en Europa para el control de ninfas de mosquita blanca y trips.

Menos de 15% de las formulaciones de insecticidas microbianos son de naturaleza fungosa, elaboradas con conidios, micelios o blastósporos. La gran mayoría de las formulaciones presentes en el mercado tiene problemas de estabilidad, pureza y concentración de propágulos. La formulación BIO 1020, desarrollada por Bayer, de Alemania, a pesar de presentar excelentes cualidades y buenas características para el control de insectos subterráneos, no llegó a ser comercializada. Lo mismo ocurrió con el producto Mycar, a base de *Hirsutella thompsonii*, desarrollado por Abbott. Estos casos deben ser cuidadosamente analizados por las industrias que quisieran desarrollar un insecticida microbiano a base de hongos.

Los bioinsecticidas a base de hongos siempre han presentado un gran potencial para ser usados en regiones de climas y ambientes húmedos como el interior de secadores o suelos. Sin embargo, nuevos métodos de formulación como uso de aceites o aceite emulsionado para aspersiones, parecen tener potencial para mejorar las condiciones de modo que los hongos puedan ser utilizados, prolongando el período con la humedad necesaria para que el patógeno actúe sobre el hospedero, además de proporcionar mayor protección al agente contra la luz ultravioleta (Moore et al, 1993).

Cuadro 4. Aislamientos de Hongos entomopatogenos seleccionados en Brasil para el control de insectos plaga.

PLAGA BLANCO	HONGO	AISLAMIENTO SELECCIONADO	MOTALIDAD (%)	REFERENCIA
<i>Heterotermes tenuis</i>	<i>B. bassiana</i>	634	91	Almeida et al. (1997)
<i>Bemisia tabaci</i> Biótipo B	<i>M. anisopliae</i>	E9	90	Ramos (2001)
	<i>B. bassiana</i>	447 e 969	55	
	<i>Paecilomyces</i> spp.	CB-144	46	
<i>Tetranychus urticae</i>	<i>B. bassiana</i>	CB-2, CB-46, CB-157, CB-161, CB-166	87-93	Tamai (1997)
		<i>M. anisopliae</i>	CB-345, CB-348, 1247, 1286 e PL-47	
<i>Leptopharsa heveae</i>	<i>M. anisopliae</i>	1144 e E9	100	Tanzini (2002)
	<i>Paecilomyces fumosoroseus</i>	1200	100	
	<i>Sporothrix insectorum</i>	1229	100	
	<i>B. bassiana</i>	1196	100	
	<i>Verticillium lecanii</i>	972	100	
	<i>Hirsutella verticilioides</i>	1235	85	
<i>Oryzophagus oryzae</i>	<i>M. anisopliae</i>	CB-103, CB-104 e CB-233	81	Takada (2002)

Una formulación de *Metarhizium flavoridae* en aceite de semilla de algodón redujo la LD50 del patógeno contra la langosta *Schistocerca gregaria* en más de 100 veces (Bateman et al., 1993). En Brasil una formulación en aceite emulsionable disponible en el mercado permite el almacenamiento de *M. anisopliae* en condiciones de anaquel por casi tres meses. Los principales insecticidas biológicos en base a hongos desarrollados por las industrias y centros de investigación se señalan en el Cuadro 5.

La mayoría de los hongos que están siendo desarrollados como bioinsecticidas no han demostrado la capacidad para infectar al hombre u otros vertebrados (Podgwaite, 1986). Algunos hongos con potencial de uso que continúan siendo motivo de preocupación son *Beauveria bassiana*, que puede causar problemas de alergia (Cork, 1958) por ser patógeno oportunista para el hombre y otros mamíferos (Burges, 1981). Los hongos pueden infestar y matar invertebrados inoculados por contacto e ingestión de las esporas. Los hongos *Beauveria bassiana* y *M. anisopliae* infectan al gusano de seda (*Bombix mori*) y pueden matar abejas en las aplicaciones de campo (Podgwaite, 1986). En general la mortalidad de invertebrados no blanco inoculados por contacto es generalmente menor al 10% pudiendo alcanzar el 50% cuando son inoculados por ingestión (Flexner et al., 1986). De cualquier forma, el efecto de estos agentes sobre los organismos benéficos es menor que aquellos causados por los insecticidas químicos.

PROTOZOOS

Los protozoos son patógenos lentos, crónicos y más o menos específicos. Penetran por vía oral y se diseminan por medio de huevos, contaminando larvas y ninfas. Varios protozoos infectan insectos (Brooks, 1988), siendo los microsporideos (Kluge y Caldwell, 1992) y los eugregarideos (Brooks y Jackson, 1990) los encontrados con mayor frecuencia. Los microsporideos, son representados principalmente por *Nosema* spp y *Vairimorpha* spp, presentando potencial para ser desarrollados como insecticidas microbianos. Especies de *Nosema* han sido evaluadas y consideradas como agentes potenciales para el control de saltamontes (Henry y Osager, 1982) y plagas del maíz (Lublinkhof y Lewis, 1980).

Los microsporideos han sido producidos en hospederos vivos, usando procedimientos semejantes a aquellos señalados para los virus (Brooks, 1980; Brooks, 1988; Kurtti y Munderloh, 1987). Henry et al, (1978), describen un sistema de producción "in vivo" de *Nosema locustae* para el control de saltamontes, para lo cual esporas suficientes para tratar una hectárea podrían ser producidas a un costo menor que US\$0,25 resultando en un total de US\$1,86 cuando se formula con un cebo.

Las esporas de los microsporideos han sido formuladas para aspersiones acuosas y asociadas con cebos. Las formulaciones de *Nosema locustae* para el control de saltamontes han sido elaboradas en mezclas de harina de trigo con esporas e hidroximetil de celulosa (0,2%), siendo usadas en pulverizaciones. Los principales insecticidas biológicos a base de protozoos se encuentran en el Cuadro 6.

Existen evidencias de que el genero *Nosema* y otros protozoos entomopatogenos no representan un riesgo para el hombre (Siegel y Shadduck, 1992) y pequeño o ningún riesgo para otros vertebrados (Saik et al., 1990). Una gama de hospederos de especies de microporideos pueden atacar a varios ordenes de insectos (Brooks, 1988). Estos patógenos han afectado insectos criados en laboratorio, infestados por parasitoides no afectando su longevidad y fertilidad (Flexner et al., 1986; Virson, 1990). *Nosema locustae* no infectó

abejas (Podgwaite, 1986) y *Nosema furnacalis* no fue patogenico para 9 depredadores que se alimentaron de una presa infectada con el patógeno (Oien y Ragsdale, 1993).

NEMATODOS

Los nematodos de las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae presentan gran potencial para el control de plagas agrícolas (Gaugler y Kaya, 1990; Kaya, 1993), debido a que poseen una amplia gama de hospederos y presentan una asociación mutualista con bacterias que matan al insecto rápidamente, en 48 horas, por septicemia (Kaya, 1985). Nematodos de otras familias también atacan insectos, matando sus hospederos más lentamente, conforme se van desarrollando, en un proceso que se asemeja más a los parasitoides. Estos incluyen algunos mermitideos (ex. *Romanomermis*), Phaenopsitylenchidos (ex. *Beddingia* [= *Delanus*]), Iontonchideos (ex. *Paraiotonchium*), Sphaerulariideos (ex. *Tripius*) y Tetradonematideos (ex. *Tetradonema plicans* Cobb) (Poinar, 1986; Kaya, 1993).

Especies de los géneros *Steinernema* y *Heterorhabditis* poseen una amplia gama de hospederos, no necesitando generalmente condiciones de alta humedad para actuar y sobrevivir; siendo sensibles a la luz ultravioleta, lo que limita sus posibilidades de uso de estos agentes para lugares protegidos como suelo y tejidos internos de plantas. Estos nematodos han sido utilizados comercialmente como insecticidas biológicos debido a la mayor gama de hospederos, capacidad de búsqueda del insecto, habilidad de matar en 48 horas, posibilidad de producción en medios artificiales, posibilidades de almacenamiento del estado infestivo, dificultades en la aparición de resistencia, seguridad al medio ambiente y facilidad de registro.

Algunas especies de nematodos son específicas para sus hospederos, lo que restringe su uso como agente introducido para el control de una plaga migratoria. Algunos ejemplos incluyen al phaenopsitylenchideo *Beddingia siricidicola*, que fue introducido en Australia y controló con éxito la avispa europea de la madera (*Sirex noctilio*) (Poinar, 1986) y el Esteinernematideo *Sterneinema scapterisci* que fue introducido en Florida para el control de grillos en campos de golf (Parkman et al, 1993).

La producción comercial de los Heterorhabditideos y Esternematideos ha sido realizada en medios artificiales, por la asociación de estos agentes con sus bacterias simbiotes. Las bacterias simbiotes producen enzimas que degradan las proteínas en moléculas más adecuadas para el desarrollo de los nematodos. Se pueden usar tanto los medios líquidos como sólidos, siendo el medio líquido el más adecuado para la producción a gran escala en sistemas automatizados, pensando en el uso comercial de los nematodos.

Estos agentes han sido formulados en diferentes preparaciones, incluyendo su combinación con alginato, arcilla, carbón activado, gel de poliacrilamida, vermiculita, turba, evaporetardantes, protectores ultravioleta, esponjas y cebos, siendo mantenidos en la forma de anidobiose (Georgia, 1990). *Heterorhabditis* y *Steinernema* sobreviven por varios meses si se mantienen en refrigeración y son almacenados en estratos húmedos y bien aireados. Las temperaturas óptimas para el almacenamiento de Esternematideos y

Heterohabditias se encuentran generalmente dentro de un rango de 5 a 10°C y 10 a 15°C, respectivamente. El producto Biosafet de Certis es una formulación de nemátodos que constituye una fina capa de gel adherida a una tela de plástico, permitiendo de esta forma la sobrevivencia de los organismos por más de un mes a una temperatura de 25°C (Friedman, 1990). *Steinernema carpocapsae* puede ser almacenado por más de 5 meses a temperatura ambiente y 12 meses en refrigeración (Georgia, 1990; Georgia y Hague, 1991).

La producción y aplicación de nemátodos para el control de plagas ha sido equivalente, en muchos países (excepto Francia y Japón) a la producción de insectos depredadores y parasitoides. Diversas evaluaciones han evidenciado que los nemátodos de las familias Steinernematidae y Heterorhabditidae, y las bacterias asociadas no son patogénicas para plantas y mamíferos (Gaugler y Bosch, 1979; Weinzierl et al, 1997). Estos nemátodos parecen tener una amplia gama de hospederos dentro de la clase insecta (Akhurst, 1990). Sin embargo, datos de campo sugieren que los riesgos para las especies no blanco de las aplicaciones son pequeños, pues estos agentes tienen una movilidad limitada, siendo restringidos a ambientes específicos, que mantengan mayor humedad y le proporcionen protección contra la radiación ultravioleta (Georgia et al, 1991). *S. carpocapsae* también se ha mostrado como no infectivo para minahojas del género *Aporrectodea* (Caminera et al., 1982).

Cerca del 25% de los productos biológicos existentes en el mercado mundial son a base de nemátodos, siendo los principales mencionados en el Cuadro 7.

MERCADO

La cantidad de recursos para el desarrollo de un entomopatógeno como bioinsecticida está determinado por el potencial de mercado de este agente para control de plagas (Falcon, 1985). El potencial de mercado para un producto microbiano está asociado a la especificidad del patógeno, competencia con los insecticidas químicos y leyes reguladoras (Van Driesche y Bellows Jr, 1996).

Especificidad

La especificidad de un patógeno con su hospedero es importante para determinar el potencial mercado de uso del producto. Para agentes específicos que presenten valor comercial, estos deben atacar plagas de plantas ampliamente cultivadas (como algodón, maíz o soya) o de gran valor de mercado para justificar la demanda del producto (Huber, 1986). El virus de la granulosis, *Baculovirus erinyiis*, patógeno del gusano de la mandioca, *Erinyiis ellu*, y el virus de la polidrosis nuclear, *Baculovirus* sp., patógeno del gusano del maracuyá, *Dione juno juno*, presentan un valor pequeño en Brasil por lo que disponen de un mercado restringido para justificar su producción a gran escala. Al contrario el virus de la polidrosis nuclear, *B. anticarsia*, patógeno del gusano de la soya, *Anticarsi gemmatalis*, y *B. spodoptera* patógeno del gusano cogollero del maíz, han sido comercializados con éxito por combatir plagas de cultivos de gran extensión.

En Brasil los hongos entomopatógenos *M. anisopliae* y *B. bassiana* abarcan una gran parte del mercado de los bioinsecticidas debido a la amplia gama de hospederos que atacan (Cuadro 8). Estos agentes son producidos por pequeñas industrias, cooperativas azucareras e instituciones de investigación. El hongo *B. bassiana* ha sido utilizado para el control de mosca blanca (*Bemisia tabaci*), termitas de madera y subterránea (*Cornitermes* spp), curculionido de la banana (*Cosmopolitas sordidus*), conchuela de los cítricos (*Orthesia praelonga*), broca del café (*Hypothenemus hampei*) y otros insectos. *M. anisopliae* está siendo utilizado para el control de cicadelidos de las empastadas (*Deois* spp) y de la caña de azúcar (*Mahanarva fimbriolata* y *M. posticitsaltans*) termita de los montículos y subterránea (*Cornitermes* spp), saltamontes y otros insectos.

Cuadro 8. Mercado actual de los insecticidas microbianos en Brasil.

PATÓGENOS	QUANTIDADE (TONELADAS)	VALOR APROXIMADO (US\$)
<i>B. thuringiensis</i> var. <i>kurstaki</i>	120	1 680 000
<i>B. thuringiensis</i> var. <i>israelensis</i>	40	800 000
VPN	20	2 000 000
<i>M. anisopliae</i>	705	1 585 882
<i>Beauveria bassiana</i>	21	123 529
<i>Sporothrix insectorum</i>	16	36 471
<i>Paecilomyces</i> sp.	12	21 177
Total	934	6 247 059

Competencia con insecticidas químicos

Los insecticidas microbianos deben competir con los insecticidas químicos, los cuales son más conocidos por los agricultores. Los productos microbianos pueden tener ventajas como que: el uso de algunos insecticidas químicos fueron prohibidos por el gobierno, los químicos existentes son ineficientes a causa del apareamiento de resistencia o a la capacidad de localización de la plaga; un producto microbiano es altamente eficiente y más barato que los insecticidas sintéticos. Los insecticidas sintéticos causan problemas como la resurgencia de plagas, son bastante inconvenientes en determinados cultivos o productos, o bien causan daños más severos como mortalidad de aves, peces y contaminación de cursos de agua.

Los insecticidas sintéticos están prohibidos para ser usados en bosques o parques públicos en varias provincias de Canadá, dejando abierto una gran oportunidad de mercado para el uso de bioinsecticidas. El uso de nematodos entomopatógenos ha sido la principal alternativa para el control de curculionidos plaga de la raíz de los cítricos en Estados Unidos debido a la gran eficacia de estos agentes y la ineficacia de los insecticidas sintéticos. El virus de la polidrosis nuclear *Baculovirus anticarsia*, comercializado con éxito para el control del gusano de la soya en Brasil, es un agente bastante eficiente, siendo vendido a

un costo 10 veces menor que el de los insecticidas químicos. El hongo *Sporothrix insectorum* ha sido largamente usado en Brasil para el control de *Leptopharsa heveae*, siendo generalmente preferido en comparación a los insecticidas sintéticos debido al alto riesgo de resurgencia de insectos y la aparición de plagas secundarias (como *Erynia ellos*) dependientes del uso de químicos. Las hortalizas representan uno de los mayores mercados para el uso de *B. thuringiensis* (Burges y Hussey, 1971) por ser generalmente consumidas los estados fenológicos de la planta preferidos por los insectos para su ataque, debiendo, por lo tanto, ser tratadas con productos que no contaminen el alimento o que no dejen residuos.

La preocupación de la sociedad por la preservación del medio ambiente y la preocupación cada vez mayor por usar productos orgánicos está desarrollando un interés cada vez mayor de los agricultores por métodos alternativos de control de plagas. Estos intereses asociados a restricciones gubernamentales tornando a los insecticidas químicos en más caros (aumento en los costos de registro, impuestos sobre los insecticidas y el seguro para los aplicadores) o menos conveniente su uso (exigencia de entrenamiento para el aplicador; registro de aplicadores y otros) pueden desarrollar en el largo plazo demandas para productos alternativos eficaces.

Elementos que afectan la preferencia de los agricultores por productos microbianos es que estos agentes actúan más lentamente que los insecticidas químicos, son generalmente menos eficientes, presentan resultados a veces variables, siendo muchas veces influenciados por las condiciones que varían de aplicación en aplicación. El desarrollo de productos microbianos debería apuntar hacia la solución de estos problemas. Inicialmente, la variabilidad de los resultados debe ser reducida con una mejor comprensión de los factores que afectan la eficacia de estos agentes, principalmente con el desarrollo de formulaciones o establecimiento de estrategias de uso más adecuadas. Segundo, los técnicos encargados de la extensión deben orientar a los agricultores que elevados niveles de control y muertes rápidas no son necesarias en el control efectivo de una plaga. Los técnicos deben enfatizar en el beneficio de una rápida detención de la alimentación de la plaga, la reducción por un largo período de su tasa de reproducción, un nivel de mortalidad más moderado, dejando algunas plagas para que sean eliminadas por los parasitoides y depredadores de modo de permitir la mantención de estos agentes benéficos para la agricultura.

Leyes reguladoras

El éxito comercial de un insecticida microbiano puede ser afectado por la exigencia y costo de registro del producto, la existencia de patentes (royalties), o de impuestos o subsidios. En diversos países, incluido Brasil, los productos microbianos, excepto nematodos (Hominick y Reid, 1990), deben ser registrados. Las informaciones exigidas, no necesariamente, son diferentes o de menor dificultad para ser obtenidas en comparación a las exigidas a los insecticidas sintéticos. Las patentes obtenidas con entomopatógenos están generalmente relacionadas con tecnologías de producción y formulación de técnicas de aplicación.

PERSPECTIVAS FUTURAS

La agricultura sustentable está basada en el uso de métodos alternativos de control de plagas, dentro del manejo integrado, que sean compatibles con el medio ambiente y reduzcan el contacto con el ser humano como los protectores químicos. Para tornar a los agentes de control microbiano más competitivos, será necesario obtener algunos avances pensando en el mejoramiento de los entomopatógenos y perfeccionamiento de los métodos de producción y formulación de los mismos; una mejor comprensión de cómo se les puede insertar dentro de un sistema integrado junto con sus interacciones con el ambiente y otros componentes del manejo integrado de plagas; una mayor valoración de sus ventajas (eficacia, seguridad, selectividad, etc..) sin llegar a compararlos con los insecticidas químicos; todo esto finalmente producirá una mayor aceptación por lo productores y público en general. En un futuro próximo, los entomopatógenos serán más valorizados por sus atributos y utilizados con mayor frecuencia en combinaciones con semioquímicos, insecticidas químicos menos tóxicos, otros enemigos naturales, plantas resistentes, etc.. los cuales aumentaran la eficiencia y sustentabilidad de las estrategias de control integrado (Lacey, 2001).

PRODUCCIÓN, FORMULACIÓN Y USO

El descubrimiento de nuevos aislamientos y el uso de la ingeniería genética para mejorar la virulencia de un entomopatógeno no terminarán en un producto comercial a menos que sea eficientemente producido y liberado al mercado como un producto económico y eficaz. El sistema de producción desarrollado por la empresa Emerald BioAgriculture muestra que la producción de hongos puede aumentar mucho con el mejoramiento de las técnicas. De esta misma forma, formulaciones de hongos en aceite y aceite emulsionable se han presentado como promisorias pensando en un aumento de la eficiencia de estos agentes, pudiendo ampliar la diversidad de ambientes que pueden ser utilizados.

Un mayor avance en el uso de hongos para el control de plagas podrá ser alcanzado combinando estos agentes con otros productos, tecnologías o agentes de control biológico, a través de la manipulación de ambientes para favorecer el proceso de infestación, y para la ubicación de la plaga blanco con el objetivo de incrementar la diseminación del patógeno. El uso de trampas con semioquímicos para atracción de insectos adultos, junto con conidias del hongo, puede controlar la plaga atraída y además diseminar el patógeno al ambiente de la larva, lo cual sería difícil de conseguir con un solo elemento (Klein y Lacey, 1999), en estructuras como la espiga del maíz (Vega et al, 1995), la cabeza del repollo (Furlong et al, 1995) y otros (Vega et al. 2000). Estudiando el control de *Heterotermes tenuis* en caña de azúcar, Almeida y Alves (1996), obtuvieron un efecto sinérgico en la combinación de Imidacloprid con *B. bassiana* asociados a un cebo de características atractivas para el insecto. Quintela y McCoy (1997) también demostraron efecto sinérgico en combinación con este insecticida con *M. anisopliae* y *B. bassiana* para el control de larvas del escarabajo de la raíz de los cítricos, *Diaprepes abbreviatus*.

MEJORAMIENTO GENETICO

Los entomopatógenos pueden ser genéticamente mejorados en diversos aspectos, como el rendimiento para la producción de propágulos para condiciones de producción a gran escala, la tasa de infectividad para un determinado hospedero, amplitud de hospedero y resistencia a defensivos. La gama de hospederos de un aislamiento de *Bacillus thuringiensis* fue ampliada por la ingeniería genética, mediante una combinación de genes aislados que atacan más a dípteros que coleópteros, formando un nuevo aislamiento bacteriano (Crickmore et al., 1990). Algunos aislamientos de *B. thuringiensis* producen cantidades significativas de una toxina adicional denominada thuringiensina, que es una exotoxina liberada por la célula bacteriana. Aunque la thuringiensina puede ser considerada como un producto natural por ser producida por un organismo vivo, esta es tóxica para diversas especies de animales y humanos. La thuringiensina es mucho más tóxica que *B. thuringiensis*, debiendo ser manejada con muchas más precauciones.

El mejoramiento genético de nematodos entomopatógenos puede expandir el potencial de estos organismos como agentes de biocontrol aumentando su capacidad de búsqueda del hospedero, la virulencia y resistencia a condiciones extremas del ambiente entre otros atributos (Burnell y Dowds, 1996; Gaugler y Hashmi, 1996). La habilidad de *S. carpocapsae* de localizar el hospedero fue mejorada entre 20 a 27 veces por presión de selección en el laboratorio. Trece ciclos de selección aumentaron la distancia a la cual el nematodo es capaz de localizar el hospedero de 3,5 cm a 20 cm/hr (Gaugler et al, 1991). Sin embargo, el aislamiento seleccionado no presentó aumento de la eficacia en condiciones de campo (Kaya y Gaugler, 1993). Recientemente Gaugler et al., (1997), usando técnicas moleculares, insertó una proteína tolerante a elevadas temperaturas dentro de *H. bacteriophora*, resultando un nematodo transgénico 18 veces mejor que el tipo silvestre en cuanto a sobrevivencia a las altas temperaturas. Estos nematodos; transgénicos y silvestres, liberados en el campo no presentaron diferencia en cuanto a la habilidad de persistencia en el ambiente.

Los plasmidios han sido usados para el mejoramiento del hongo *M. anisopliae* pensando en desarrollar resistencia al fungicida benomil (Goettel et al, 1990).

El desarrollo de la biología molecular de hongos permitirá esclarecer los mecanismos de patogenicidad y consecuentemente producir hongos recombinantes más virulentos (Charnley et al., 1997).

La incorporación de genes exóticos en un entomopatógeno ha sido pensada para aumentar la eficiencia de un organismo en el control de plagas, siendo un nuevo campo de estudio en la patología de insectos, el cual ha tenido los mayores avances en los virus. Los baculovirus son generalmente poco virulentos, tienen baja persistencia en el campo, poseen una gama de hospederos limitada y matan al insecto dentro de un período relativamente largo. La introducción de genes exóticos dentro de un genoma de *Baculovirus* puede aumentar su patogenicidad o actividad insecticida (Wood y Granados, 1991). Es posible la inserción de genes que produzcan toxinas, enzimas, inhibidores de hormonas específicas de insectos, o que bloquean la función neuronal o la producción normal de

hormonas. Las infecciones provocadas por *Baculovirus* recombinantes pueden causar toxicidad inmediata, ampliar la gama de hospederos, o inhibir o paralizar el crecimiento de la plaga blanco (Maeda, 1989a; Maeda 1989b; Tomalsky y Miller, 1991). La inserción de genes de la toxina de escorpiones en el virus de la polidrosis nuclear de *Autographa californica* (Stewart et al. 1991) y *Bombyx mori* (Maeda et a., 1991) aumentaron significativamente el nivel de mortalidad de sus hospederos, matando a lo menos 86 horas después de la infección.

INSECTICIDAS MICROBIANOS INCORPORADOS EN OTROS PRODUCTOS

La incorporación de insecticidas microbianos en otros productos es una realidad posible gracias a la expresión génica, siendo un campo de estudio más avanzado en las bacterias. Los estudios sobre recombinación de DNA ha dado mayor énfasis a la alfa-endotoxina de *Bacillus thuringiensis*. Después de la esporulación, la espora y la alfa-endotoxina se separan debido a la fragilidad del esporangio que envuelve a los mismos. Esto provoca con que la alfa-endotoxina quede expuesta a diversos factores después de su aplicación, reduciendo su eficacia como insecticida (Feitelson et al., 1990). A través de la ingeniería genética fue posible reencapsular la alfa-endotoxina en una forma más apropiada. El gen de la alfa-endotoxina, introducido en un plasmidio (Kronstad et al., 1983), ha sido clonado en una bacteria gram-negativa, *Pseudomonas fluorescens*. Pruebas de campo mostraron que estas células genéticamente modificadas son más eficaces que las preparaciones de *B.thuringiensis* e insecticidas convencionales (Feitelson et al, 1990). Las células de *P. fluorescens* no sufren lisis, no forman esporas y se producen naturalmente en las plantas. Debido a la preocupación de la sociedad y las reglamentaciones gubernamentales en cuanto a la liberación de organismos genéticamente modificados, las células de *P. fluorescens* que contienen alfa-toxina son muertas y estabilizadas antes de ser formuladas. El uso de alfa-toxina aislada, con su bacteria asociada, es por lo tanto equivalente a la aplicación de un insecticida sintético.

Las bacterias que colonizan plantas, incluyendo a *P. fluorescens*, *P. cepacia*, *Rhizobium leguminosarum* y *Azospirillum* spp han sido usadas para producir y liberar las proteínas insecticidas de *B. thuringiensis* (Obukowicz et al., 1986; Skot et al, 1990; Udayasuryan et al., 1995; Schnepf et al, 1998). La toxina de *B. thuringiensis* es producida dentro de la planta, donde las bacteria modificadas crecen y se multiplican. Sistemas específicos de liberación para ambientes acuáticos también han sido propuestos pensando en el control de larvas de mosquitos (Porter et al., 1993). En estos sistemas están incluidos las cianobacterias *Aeglellum quadruplicatum* (Stebens et al., 1994), *Synechococcus* sp. (Soltes-Rak et al., 1993) y *Ceulobacter crescentus* (Thanabalu et al., 1992).

La alfa-toxina ha sido clonada y expresada en diversas plantas, incluyendo tabaco, tomate, papa y algodón (Leemans et al., 1990). Estas plantas transgénicas quedan protegidas del ataque de coleopteros y de larvas de lepidopteros. Las implicaciones de estas manipulaciones en el desarrollo de resistencia a *B. thuringiensis* deben ser consideradas antes de efectuar la elección de un cultivar (Gould, 1988).

COMERCIALIZACIÓN

Actualmente el mercado mundial de insecticidas microbianos esta creciendo, aunque hoy en día representa apenas el 1-1,5% del mercado total de insecticidas y acaricidas sintéticos que ascienden a un total de 7,5 billones (Alves et al., 1998; Lacey, 2001). Las formulaciones de *B. thuringiensis* son los productos biológicos más vendidos en todo el mundo, representando cerca del 90% de la facturación de estos productos (Alves et al., 1998; Gaugler, 1997), estimándose en US\$75 a US\$125 millones anualmente (Soares, 1995; Georgis, 1997; Lisansky, 1997). Su uso se destina principalmente para el control de larvas, plagas forestales (30 millones de dólares), y vectores representados por mosquitos y simúlidos (Alves et al., 1998). La segunda mayor participación de este mercado pertenece a los nematodos entomopatógenos con una facturación de US\$2 a 3 millones anualmente (Georgis, 1997). En un futuro próximo, los insecticidas microbianos enfrentarán una competencia más dura con los nuevos insecticidas químicos y las plantas transgénicas. Muchos de los obstáculos que el control microbiano está enfrentando en estos momentos no podrán ser superados con una simple mejoría en las cualidades de los productos microbianos; con una mayor concientización de los productos en cuanto a los beneficios ofrecidos por el control microbiano, las necesidades de desarrollo de métodos alternativos a los insecticidas químicos convencionales (Georgis, 1997).

Cuadro 2. Productos en base a bacterias desarrollados por las industrias y centros de investigación.

PATÓGENOS	PRODUCTO	PLAGAS	EMPRESA/LUGAR
<i>B. moritai</i>	Lavillus M	Mosquitos y mosca doméstica	Sumitomo, Japão
<i>B. popilliae</i>	Doom	Escarabajo japonés	Fairfax, EUA.
	Grub Attack	Escarabajo japonés	P.Valley, EUA
	Japidemic	Escarabajo japonés	Necessary T., EUA
	Japonex	Escarabajo japonés	Hyponex Corp., EUA
	Milk Spore	Escarabajo japonés	Mellingers, EUA
	Milky Spore Powder	Escarabajos	Mellingers, EUA
<i>B. sphaericus</i>	Sferobac	Mosquitos	Inpal S.A, Brasil
	Spherico	Mosquitos	Geratec, Brasil
	Spherinos	Mosquitos s	Novo Nordisk, Eire
<i>B. thuringiensis</i> China Israel	Bt 8010, Rijin	Larvas	Scientific & Technological Developing,
		Bitayon	Larvas Jewin-Joffe Industry Limited,
		Delfin®, THURICIDE	Larvas SDS Biotech K.K, Japão
	Mianfeng pesticide	Larvas	Huazhong Agricultral University, Japão
	B.T.OSA	Larvas	Products OSA, Argentina
	Bacillus Spray	Larvas	Organic Farmers, UK
	Bactospeine	Larvas	Roger Belon, França
	Foray 48 B	Larvas	Novo Nordisk, Eire
	Nufarm	Larvas	Novo Nordisk, Eire
	Soilserv Bacillus Pellets	Larvas	Peaceful V.Farm Supply, EUA
	Turex	Escarabajos y Larvas	Ciba-Geigy, EUA
	Vegetable Insect Attack	Larvas	Peaceful V.Farm Supply, EUA
	Finish	Larvas, escarabajos y dípteros	Ciba-Geigy, EUA
<i>B.t. aisawai</i>	ABG-6346		Abbott, EUA
	Agree	Escarabajos y larvas	Certis, EUA
	Certan	<i>Galleria mellonella</i>	Sandoz, EUA
<i>B.t. aisawai</i>	Design®, Turex®	Larvas	Certis, EUA
	M/C	<i>Spodoptera</i> sp.	Mycogen, EUA
	Xentari	Larvas	Abbott, EUA
<i>B.t.-chinesensis</i>	Shuangdu preparation	Larvas, Mosquitos, Simulidos y Escarabajos	Huazhong strain CT-43 Agricultural University, China
<i>B.t. dendrolimus</i>	Dendrobacillin	Larvas	NPO Vector, Rússia
<i>B.t. - galleriae</i>	Spicturin	Plutella xylostella	Tuticorin Alkali Chemicals and Fertilisers limited, India

Cuadro 2. Productos en base a bacterias desarrollados por las industrias y centros de investigación (Continuación).

PATÓGENOS	PRODUCTO	PLAGAS	EMPRESA/LUGAR	
<i>B.t. israelensis</i>	Acrobe Biolarvicide	Mosquitos y Simulidos	ICI, UK/EUA	
	Aquabac	Mosquitos	Becker Microbials, EUA	
	Bactimos	Mosquitos	Duphar, EUA	
	Bactis	Mosquitos y simulidos	Comp. di R. Chimica, Itália	
	Bactivec	Mosquitos	Labiefan, Cuba	
	Bactulicide	Mosquitos	I.M. Pushikin, Rússia	
	Biolar	Mosquitos	NPO Vector, Rússia	
	Biological Fly Control	Mosquitos	Chembico GMBH	
	Biological Mosquito Control	Mosquitos	Natural Pest Control	
	BMC	Mosquitos	N. Pest Controls, UK/EUA	
	BMP		Becker, EUA	
	BTI Granules		Clarke, EUA	
	Gnatrol	Mosquitos y simulidos	Abbott, EUA	
	Inpalbac	Mosquitos y simulidos	Inpal S.A., Brasil	
	Mosquito control	Mosquitos	W.C. Ladybug Sales, EUA	
	Mosquito Dunks	Mosquitos	Summit Chem. Co., EUA	
	Novo Skeetal	Mosquitos	Novo Nordisk, Eire	
	Prehatch	Mosquitos	Meridian, EUA	
	Skeetal FC	Mosquitos	Microbial Resources, EUA	
	Summit		Summit Chem., EUA	
	<i>B.t. israelensis</i>	Teknar	Mosquitos y simulidos	Certis, EUA
		Vectobac	Mosquitos y simulidos	Huazhong Agricultural University, China
		Teknar	Mosquitos	Sandoz, EUA
<i>B.t. japonensis</i>	M-Press	Escarabeideos	Mycogen, EUA	
<i>B.t. kurstaki</i>	Bac-Control	Larvas	Agricontrol, Brasil	
	Bactec BT	Larvas	Plato Ind., EUA	
	Bactucide	Larvas	Comp. di R. Chimica, Itália	
	Baktukal	Larvas	Serum Zavod Kalinovica, Iugoslavia	
	Bactur	Larvas	Geratec, Brasil	
	Bactur	Larvas	Thompson Hayward, EUA	
	Bathurin	Larvas	Chemopol, Rep. Tcheca	
	Biobit	Larvas	Abbott, EUA	
	Biospor	Larvas	Hoechst, Alemanha	
	Bonide	Larvas	Bonide Prod., EUA	
	Condor	Larvas	Ecogen, EUA	
	CoStar®, 48 LV	Larvas	Certis, EUA	
	Crymax	Larvas	Ecogen, EUA	
	Crystalline	Larvas	NPO Vector, Rússia	

Cuadro 2. Productos en base a bacterias desarrollados por las industrias y centros de investigación (Continuación).

PATÓGENOS	PRODUCTO	PLAGAS	EMPRESA/LUGAR
<i>B.t. japonensis</i>	Cut lass	Larvas	Ecogen, EUA
	Delfin	Larvas	Certis, EUA
	Deliver	Larvas	Abbott, EUA
	Dipel	Larvas	Abbott, EUA
	Entobacterin	Larvas	Glavmikro-bioprom, Rússia
	Feri-Lome		Voluntary, EUA
	Foil	Escarabajo colorado y larvas	Ecogen, EUA
	Foray		Abbott, EUA
	Green Light BT		Green Light, EUA
	Hi-Yield		Voluntary, EUA
	Javelin	Plagas de productos almacenados	Certis, EUA
	Larvo BT	Larvas	Troy Bioproducts, EUA
	Lepidocide	Larvas	NPO Vector, Rússia
		Lepinox	Larvas Ecogen, EUA
	<i>B.t. kurstaki</i>	Martin's Dipel	Control Solutions, EUA
	M-Peril		Ecogen, EUA
	MVP	Larvas	Ecogen, EUA
	MVP II	Larvas	Ecogen, EUA
	Novo Biotic	Larvas	Novo Nordisk, Eire
	Novo Foray	Larvas	Novo, EUA
	Plantbac	Larvas	Procida, França.
	Raven	Larvas de escarabajos	Ecogen, EUA
	Royal Brand Dipel		Amvac Chem., EUA
	SA-50		Southern Agric. Insect., EUA
	Safer TM B.T.		Safer Inc., EUA
	SAN 415 SC32LV		Sygenta, EUA
	SoilServ		SoilServ Inc., EUA
	Sporeine	Larvas	LIBEC, França
	Super K-Gro		Alljack, EUA
	Thuricide	Larvas	Certis, EUA
	Toxobacterin	Larvas	Glavmikro- biopron, Rússia
	Worm Whipper		Cape Fear Chem., EUA
	<i>B.t. morrisoni</i>	Bactec Bernan BTII	Larvas
<i>B.t. tenebrionis</i>	M-Trak	Coleopteros	Mycogen, EUA
	M-One	Escarabajo colorado y otros	Mycogen, EUA
	Novodor	Escarabajo colorado	Abbott, EUA
	Trident		Certis, USA

Cuadro 2. Productos en base a bacterias desarrollados por las industrias y centros de investigación (Continuación).

PATÓGENOS	PRODUCTO	PLAGAS	EMPRESA/LUGAR
<i>B.t. thuringiensis</i>	Bitoxibacillin	Larvas	Oxford Virology Ltd.
<i>B.t. thuringiensis</i>	Gomelin	Larvas	NPO Vector, Rússia
Mistura de toxinas <i>cryAC + cryIC</i>	Match	<i>Spodoptera</i> sp.	Mycogen, EUA
<i>B. popilliae +</i> <i>B. thuringiensis</i>	Milky Spores Plus		Woodstream Corp., EUA
<i>Serratia</i> <i>entomophila</i>	Invade	Larvas de Escarabajos	Monsanto NZ Ltd.
<i>B. Sphaericus</i>	VectoLex®	Mosquitos	Abbott, EUA
	Spicbiomos	Mosquitos y simúlidos	Tuticorin Alkali Chemicals and Fertilisers limited

Cuadro 3. Productos a base de virus desarrollados por la industria y centros de investigación (Continuación).

PATÓGENOS	PRODUCTO	PLAGAS	EMPRESA/LUGAR
<i>Adoxophyes orana</i> VG	CAPEX	<i>Adoxophyes orana</i>	Andermatt Biocontrol AG, Suiza
<i>A. falcifera</i> VPN	<i>A. falcifera</i> VPN	<i>Anagrapha. falcifera</i>	Certis
<i>A. gemmatalis</i> VPN	Baculoviron	<i>A. gemmatalis</i>	Tecnivita, Brasil
	<i>Baculovirus anticarsia</i>	<i>A. gemmatalis</i>	COODETEC, Brasil
	<i>Baculovirus anticarsia</i>	<i>A. gemmatalis</i>	EMBRAPA-AEE, Brasil
	<i>Baculovirus anticarsia</i>	<i>A. gemmatalis</i>	EPAGRI, Brasil
	<i>Baculovirus anticarsia</i>	<i>A. gemmatalis</i>	IAPAR, Brasil
	<i>Baculovirus anticarsia</i>	<i>A. gemmatalis</i>	EMBRAPA (CNPSO), Brasil
	Baculovirus Nitral	<i>A. gemmatalis</i>	Nitral, Brasil
	Protege	<i>A. gemmatalis</i>	Geratec (Defensa), Brasil
<i>Autographa californica</i> multicapsidio VPN	Baculo-Soja	<i>A. gemmatalis</i>	Nova Era, Brasil
	Gusano® biological insecticide	<i>Lepidoptera</i>	Certis, EUA
Baculovirus	Mamestrin	<i>Mamestra brassicae</i> , <i>Helicoverpa armigera</i> , <i>Plutella xylostella</i> , <i>Phthorimaea opereulella</i> , <i>Lobesia botrana</i>	Natural Plant Protection (NPP)
<i>C. pomonella</i> VG	Carpovirusine	<i>C. pomonella</i>	Calliope SA, Francia
	CYD-X	<i>C. pomonella</i>	Espro Inc., EUA
	Granupon	<i>C. pomonella</i>	Alemania
	Madex	<i>C. pomonella</i>	Andermatt Biocontrol, Suiza
	VGCp-INTA503	<i>C. pomonella</i>	INTA, Argentina
	Baculo-viron	<i>Cydia pomonella</i>	EUA
<i>D. spectabilis</i> VPN	Matsukensin	<i>Dendrolinus spectabilis</i>	Japon
<i>Erynnis ello</i> VPN	<i>Baculovirus erinnyis</i>	<i>Erynnis ello</i>	IAPAR, Brasil
<i>H. zea</i> VPN	Gemstar	<i>Helicoverpa e Heliiothis</i>	Certis, EUA
<i>H. armigera</i> VPN	Virin HS	<i>Heliiothis armigera</i>	NPO Vector, Rusia
<i>L. dispar</i> VPN	Virin NSH	<i>L. dispar</i>	NPO Vector, Rusia
	Gypchek	<i>Lymantria dispar</i>	Espro Inc., EUA
<i>M. brassicae</i> VPN	Virin KS	<i>M. brassicae</i>	NPO Vector, Russia
	Mamestrin	<i>Mamestra brassicae</i>	Calliope SA, Francia
<i>N. sertifer</i> VPN	Neocker	<i>N. sertifer</i>	EUA
	Virox	<i>N. sertifer</i>	Oxford Vir. Ltd.

Cuadro 3. Productos a base de virus desarrollados por la industria y centros de investigación (Continuación).

PATÓGENOS	PRODUCTO	PLAGAS	EMPRESA/LUGAR
<i>N. lecontei</i> VPN	Lecontvirus	<i>Neodiprion lecontei</i>	Canadá
<i>O. pseudtsugata</i> VPN	Virtuss	<i>O. pseudtsugata</i>	Canadá
	TM Biocontrol 1	<i>Orgyia pseudtsugata</i>	Espro Inc., EUA
<i>Oryctes baculovirus</i>	<i>Oryctes baculovirus</i>	<i>Oryctes</i> sp.	HortResearch, Asia (Filipinas)
<i>Spodoptera exigua</i> multicapsideo	VPN	SPOD-X® biological insecticide	<i>Spodoptera exigua</i> Certis, EUA
<i>S. frugiperda</i> VPN	SPOD-X LC	<i>Spodoptera littoralis</i>	Certis, EUA
	Spodopterin	<i>Spodoptera littoralis</i>	Africa
<i>Spodoptera littoralis</i> VPN	<i>Spodoptera littoralis</i>	<i>Spodopterin</i>	Natural Plant Protection, Francia

Cuadro 5. Productos a base de hongos desarrollados por la industria y centros de investigación.

PATÓGENOS	PRODUCTO	PLAGAS	EMPRESA/LUGAR	
<i>B. bassiana</i>	<i>AGO</i>	<i>Coleoptera,</i> <i>BIOCONTROL</i>	<i>Ago Biocontrol, Colombia</i> <i>Homoptera,</i>	
	<i>BASSIANA 50</i>	<i>Lepidoptera, Diptera</i>		
	Mycotrol WP e ES; BotanicGard ES	Homoptera/Heteroptera, trips, algunos Lepidoptera y Orthoptera	Emerald BioAgriculture, EUA	
	BotaniGard	Mosca blanca, trips, simulidos	Emerald, EUA	
	Boveril	Termitas	Itaforte, Brasil	
	Boverin	Diversas	Rusia	
	Boveriol	Termitas	Tecnicontrol, Brasil	
	CornGard		Emerald, EUA	
	Mycotrol	Mosca blanca, trips, saltamontes	Emerald, EUA	
	Naturalis	Diversas	Troy Biosciences, EUA	
	OrganiGard		Emerald, EUA	
	Ostrinil	<i>Ostinia nubilalis</i>	Natural Plant Protection, Francia	
	<i>Beauveria</i> sp. e	<i>Beauveria</i>	Insectos	Eric Schweizer Seeds Ltd., Suiza
	<i>Metarhizium</i> sp.	Schweizer®, Metarhizium Schweizer®		
<i>B. brongniartii</i>	<i>AGO</i>	<i>Coleoptera,</i>	<i>Ago Biocontrol, Colombia</i>	
	<i>BIOCONTROL</i>	<i>Homoptera,</i>		
	<i>BEAUVERIA 50</i>	<i>Lepidoptera,</i> <i>Diptera</i>		
	Engerlingspilz	<i>Melolontha</i> <i>Melolontha</i>	Andermatt Biocontrol, Suiza	
	Hongo Blanco	<i>Premnotrypes</i> spp. Gorgojo de los Andes	INIAA, Peru	
<i>H. thompsonii</i>	Mycar		Abbott Lab., EUA	
<i>L. giganteum</i>	Laginex		AgraQuest, EUA	

Cuadro 5. Productos a base de hongos desarrollados por la industria y centros de investigación (Continuación).

PATÓGENOS	PRODUCTO	PLAGAS	EMPRESA/LUGAR
<i>M. anisopliae</i>	AGO	Lepidoptera,	Ago Biocontrol, Colombia
	BIOCONTROL	Coleoptera,	
	METARHIZIUM	Homoptera,	
	50	Orthoptera	
	Arroz + fungo	Cicadelidos	ESALQ/USP, Brasil
	Arroz + fungo	Cicadelidos	Biocana, Brasil
	Arroz + fungo	Cicadelidos	Biotech, Brasil
	Arroz + fungo	Cicadelidos	Biocontrol, Brasil
	Arroz + fungo	Cicadelidos	BTA, Brasil
	Arroz + fungo	Cicadelidos	São José do Rio Claro, Brasil
	BioCerto	Cicadelidos	BioCerto, Brasil
	Bio 1020	Insectos subterráneos	Bayer, Alemanha
	Bio-Blast	Termitas	Aventis, EUA
	Biocontrol	Cicadelidos	Agroceres, Brasil
	BioGreen	<i>Adoryphouse couloni</i>	Bio-Care Technology, Austrália
	Biomax	Cicadelidos	Labormax, Brasil
	Bio-Path	Baratas	EcoScience, EUA
	Conbio PM	Cicadelidos	Combio, Brasil
	BioGreenTM Granules	<i>Adoryphouse couloni</i>	Bio-Care Technology Pty. Limited, Australia
	Metaquino	Cicadelidos	CODECAP, Brasil
Metarril	Cicadelidos	Itaforte, Brasil	
Arroz + fungo	Cicadelidos	Asplana, Brasil	
Metabiol	Cicadelidos	Tecnicontrol, Brasil	
<i>N. rileyi</i>	ABG-6094		
	AGO	Lepidoptera	Ago Biocontrol, Colombia
	BIOCONTROL NOMURAEA 50		
<i>P. fumosoroseus</i>	AGO BIOCONTROL	Coleoptera	Ago Biocontrol, Colombia
	PAECILOMYCES 50		
	PFR-97&trade, biological insecticide	<i>Trialeurodes vaporariorum,</i> <i>Bemisia tabaci,</i> afidos, trips y ácaros	Certis, USA
<i>S. insectorum</i>	Arroz + fungo	Mosca-de-renda (seringueira)	IB, Usinas no MT, Brasil
	Arroz + fungo	Cicadelidos	São José do Rio Claro, Brasil
	BioCerto	Cicadelidos	BioCerto, Brasil

Cuadro 5. Productos a base de hongos desarrollados por la industria y centros de investigación (Continuación).

PATÓGENOS	PRODUCTO	PLAGAS	EMPRESA/LUGAR
<i>V.lecanii</i>	AGO BIOCONTROL VERTICILLIUM 50	Homoptera, Diptera	Ago Biocontrol, Colombia
	Microgermin	Mosca blanca, pulgones	Chr.Hansens BioSystems, Dinamarca
	Mycotal	Mosca blanca, trips	Koppert, Holanda
	Vertalec		
	Verticillim	Succionadores y Masticadores	NPO Vector, Rusia

Cuadro 6. Productos en base a protozoos desarrollados por algunas industrias

PATÓGENOS	PRODUCTO	PLAGAS	EMPRESA/LUGAR
<i>Nosema locustae</i>	Nolo Bait	Saltamontes	M & R Durango Inc., EUA
<i>Nosema locustae</i>	Grasshopper Control	Saltamontes	Beneficial Insectary, EUA
<i>N. locustae</i>	Grasshopper Parasite	Saltamontes	P.Valley Farm Supply, EUA
<i>N. locustae</i>	Grasshopper Spore	Saltamontes	Henry Field, EUA
<i>N. locustae</i>	Nolo-Bait	Saltamontes	Better Yield Insects, Canadá
<i>N. locustae</i>	Nolo Grasshopper Bait	Saltamontes	P.Valley Farm. Supply, EUA
<i>N. locustae</i>	Semaspore	Saltamontes y Grillos	Bozeman Biote, EUA

Cuadro 7. Productos en base a nematodos desarrollados por las industrias y centros de investigación.

PATÓGENOS	PRODUCTO	PLAGAS	EMPRESA/LUGAR
<i>Heterorhabditis</i> sp.	Bio-Nem H1	<i>Melolontha</i>	Siapa SpA, Italia
	Imektenparasiti she Nematoden	Larvas de escarabajo de la vid	Andematt Biocontrol, Alemania
	Nematoden	Escarabajos	Andermatt Biocontrol, Suiza
<i>H. bacteriophora</i>	Cruiser	Larvas de escarabajos y lepidópteros	Ecogen, EUA
	Nema-top	<i>Otiorhynchus</i>	e-nema GmbH
	Nema-green	<i>sulcanatus</i> , larvas de scarabeídeos y sciarídeos	
	Otinem	Larvas de escarabajos	Bioenterprises Pty Ltd., Australia/EUA
<i>H. megidis</i>	Dickmaurüssler ne-matoden	<i>Otiorhynchus s ulcanatus</i>	Andermatt Biocontrol AG, Suiza
	Larvanem	Larvas de escarabajos	Koppert, Holanda
	Nemays-H	Larvas de escarabajos de la vid	Agric. Gen. Comp., UK
<i>Heterorhabditis</i> sp. + <i>Steinernema</i> sp.	SCANMASK, ECOMASK e HETEROMASK	Insectos de suelo y ambientes crípticos	BioLogic company, EUA
	Terbiot	Escarabajo de la vid (<i>Otiorhynchus</i>) y escarabeidos	Bioerre SRL, Italia
	Terrix	Insectos del suelo	Tecno-verde Ltd., UK
<i>Steinernema</i> sp.	Piambiot	Larvas, Escarabajos etc.	Technowards, Italia
<i>S. bibeionis</i>	Nemasys S	Larvas de escarabajo de la vid (<i>Otiorhynchus</i>) y escarabeidos	Agric. Gen. Comp., UK
<i>S. carpocapsae</i>	Bioflea Halt	Pulgas	Farnam, EUA
	Biosafe	Larvas de escarabajos y lepidópteros	SDS Biotech K.K., EUA
	Bio Vector	Larvas de escarabajos de los de cítricos	Certis, EUA
	Boden-Nützlinge	Insectos del suelo	Celaflor, Alemania

Cuadro 7. Productos en base a nematodos desarrollados por las industrias y centros de investigación (Continuación).

PATÓGENOS	PRODUCTO	PLAGAS	EMPRESA/LUGAR
	Defend	Diversas	Pittman-Moore, EUA
	Exhibit	Insectos del suelo	Ciba-Geigy, EUA
	Guardian	Larvas, termitas	Better Yeld Insects, Canadá
	Interrupt	Diversas	Farnam, EUA
	Predatory Nematodes	Larvas diversas	Peacefull Valley Farm Supply, EUA
	Sanoplant	Insectos del suelo	Dr. R. Maag, Suiza
	Savior	Diversas	Certis, EUA
	Scanmask	Diversas	Better Yield Insects, Canadá
	S. carpocapsae	Grillos	Andermatt Biocontrol AG, Suíça
	Termask	Termitas	Better Yeld Insects, Canadá
	Vector PCO	Diversas	V.W. & Rogers, EUA
	Vector TL	Diversas	Certis, EUA
<i>S. feltiae</i>	Bio-Nem S1	<i>Zeura</i> , <i>Opogona</i> e <i>Epichoristodes</i>	Siapa SpA, Itália
	Entonem	Sciarídeos	Koppert, Holanda
	Magnet	Mosca del champiñon y hongos ostras	Certis, EUA
	Nemasys	Larvas de escarabajos y otras	Agric. Gen. Comp., UK
	Nema-plus	Sciarídeos	e-nema GmbH, EUA
	SCIA-RID	Sciarídeos	Koppert, Holanda
	Stealth	Diversas	Ciba-Geigy, EUA
	TRAUNEN	Sciarídeos	Andermatt Biocontrol AG, Suiza
<i>S. feltiae</i>	X-Gnat	Mosca del champiñon y hongos ostras	Certis, EUA
<i>S. riobravis</i>	Bio Vector 355	Larvas de escarabajos de los de cítricos y grillos	Certis, EUA
	Devour	Larvas de escarabajos de los de cítricos y grillos	Certis, EUA
	Vector MC	Larvas de escarabajos de los de cítricos y grillos	Certis, EUA
<i>S. scapterisci</i>	ProAct	Diversas	Biocontrol, EUA
Sem identificación	Nemus	Mosca doméstica	Urbio, UK

LITERATURA CITADA

Agaisse, H.; D. Lereclus. 1995. How does *Bacillus thuringiensis* produce so much insecticidal crystal protein? J. Bacteriol. 177: 6027-6032.

Aizawa, K. 1990. Registration requirements and safety considerations for microbial pest control agents in Japan p. 31-39. In: M. Laird; L.A. Lacey; E.W. Davidson (eds) Safety of Microbial insecticides. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A.

Akhurst, R.J. 1990. Safety to nontarget invertebrates of nematodes of economically importance pests p. 233-240. In: M. Laird; L.A. Lacey; E.W. Davidson (eds) Safety of Microbial insecticides. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A.

Almeida, J.E.M.; S.B. Alves. 1996. Mortalidade de *Heterotermes tenuis* (Hagen) atraídos por armadilhas com *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. e Imidacloprid. An. Soc. Entomol. Brasil 25(3): 507-512.

Almeida, J.E.M.; S.B. Alves; R.M. Pereira. 1997. Selection of *Beauveria* spp. isolates for control of the termite *Heterotermes tenuis* (Hagen, 1858). J. Appl. Ent. 121: 539-543.

Alves, S.B. 1998. Patologia e controle microbiano: vantagens e desvantagens p. 21-37. In: Alves, S.B. (ed) Controle Microbiano de Insetos. FEALQ, Piracicaba.

Alves, S.B.; A. Moino Jr.; J.E.M. Almeida. 1998. Desenvolvimento, potencial de uso e comercialização de produtos microbianos p. 1143-1163. In: Alves, S.B. (ed) Controle Microbiano de Insetos. FEALQ, Piracicaba.

Aronson, A.I. 1993. The two faces of *Bacillus thuringiensis*: Insecticidal proteins and post-exponential survival. Mol. Microbiol. 7: 489-496,

Bateman, R.P.; M. Carey; D. Moore; C. Prior. 1993. The enhanced infectivity of *Metarhizium flavoviride* in oil formulations to desert locusts at low humidities. Annals of Applied Biology 122: 145-152.

Belarmino, L.C. 1992. Avaliação econômica de inseticidas biológicos. Pesq. Agrop. Bras. 27: 371-389.

Brooks, W.M. 1988. Entomogenous protozoa p. 1-149. In: Ignoffo, C.M. (ed) Handbook of Natural Pesticides Volume V, Microbial Insecticides, Part A, Entomogenous Protozoa and Fungi. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A.

Brooks, W.M. 1980. Production and efficacy of protozoa. Biotechnology and Bioengineering 22: 1415-1440.

Brooks, W.M.; J.J. 1990. Jackson. Eugregarines: current status as pathogens, illustrated in corn rootworms p. 512-515. In: Pinnock, D.E. (ed) Vth International Colloquium on Invertebrate pathology and Microbial Control Adelaide, Australia, 20-24 August.

Burges, H.D. 1981. Progress in the Microbial Control of Pests, 1970-80 p. 1-6. In: Burges, H.D. (ed) Microbial Control of Pests and Plant Diseases. Academic Press, Inc, London.

- Burges, H.D.; G. Croizier; J. Huber. 1980.** A review of safety tests on baculoviruses. *Entomophaga* 25: 329-340.
- Burges, H.D.; Hussey, N.W. 1971.** Introduction p. 1-11. In: Burges, H.D.; N.W. Hussey (eds) *Microbial Control of Insect and Mites*. Academic Press, Inc., London.
- Burnell, A.M.; B.C.A. Dowds. 1996.** The genetic improvement of entomopathogenic nematodes and their symbiont bacteria: Phenotypic targets, genetic limitations and an assessment of possible hazards. *Biocontr. Sci. Technol.* 6: 435-447.
- Capinera, J.L.; S.L. Blue; G.S. Wheeler. 1982.** Survival of earthworms exposed to *Neoplectana carpocapsae* nematodes. *Journal of Invertebrate Pathology* 39: 232-239.
- Charles, J.-F.; C. Nielsen-Leroux; C. Delecluse. 1996.** *Bacillus sphaericus* toxins: Molecular biology and mode of action. *Annu. Rev. Entomol.* 41: 451-472.
- Charnley, A.K.; B. Cobb; J.M. Clarkson. 1997.** Towards the improvement of fungal insecticides p. 115-126. In: Evans, H.F. (chair) "Microbial Insecticides: Novelty or Necessity?", *Proc. Br. Crop. Prot. Council Symp.* 68.
- Crickmore, N.; C. Nicholls; D.J. Earp; T.C. Hodgman; D.J. Ellar. 1990.** The construction of *Bacillus thuringiensis* strains expressing novel entomocidal delta endotoxin combinations. *Biochemical Journal*, 240: 133-136.
- Dulmage, H.T.; R.A. Rhodes. 1971.** Production of pathogens in artificial media p. 507-540. In: Burges, H.D.; N.W. Hussey (eds) *Microbial Control of Insect and Mites*. Academic Press, Inc., London.
- Entwistle, P.F. 1983.** Control of insect by virus diseases. *Biocontrol News and Information* 4(3): 203-225.
- Falcon, L.A. 1985.** Development and use of microbial insecticides p. 229-242. In: Hoy, M.A.; D.C. Herzog (eds) *Biological Control in Agricultural IPM systems*. Academic Press, New York.
- Falcon, L.A. 1976.** Problems associated with the use of arthropod viruses in pest control. *Annual Review of Entomology* 21: 305-324.
- Feitelson, J.S.; T.C. Quick; F. Gaertner. 1990.** Alternate hosts for *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin genes p. 561-571. In: Baker, R.R.; P.E. Dunn (eds) *New Directions in Biological control*. Alan R. Liss, New York.
- Flexner, J.L.; B. Lighthart; B.A. Croft. 1986.** The effects of microbial pesticides on non-target, beneficial arthropods. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 16: 203-254.
- Friedman, M.J. 1990.** Commercial production and development p. 153-172. In: Gaugler, R.; H.K. Kaya (eds) *Entomopathogenic Nematodes in Biological Control*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A.

- Furlong, M.J.; J.K. Pell; O.P. Choo; S.A. Rahman. 1995.** Field and laboratory evaluation of a sex pheromone trap for the autodissemination of the fungal entomopathogen *Zoophthora radicans* (Entomophthorales) by the diamond-back moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae). *Bull. Entomol. Res.* 85: 331-337.
- Gaugler, R. 1997.** Alternative paradigms for commercializing biopesticides. *Phytoparasitica* 25: 179-182.
- Gaugler, R.; G.M. Boush. 1979.** Nonsusceptibility of rats to the entomogenous nematode, *Neoplectana carpocapsae*. *Environmental Entomology* 8: 658-660.
- Gaugler, R.; J.F. Campbell; P. Gupta. 1991.** Characterization and basis of enhanced host-finding in a genetically improved strain of *Steinernema carpocapsae*. *Journal of Invertebrate Pathology* 57: 234-241.
- Gaugler, R.; Hashmi, S. 1996.** Genetic engineering of an insect parasite p. 135-137. In: Setlow, J. (ed) "Genetic Engineering Principles and Methods". Plenum, New York.
- Gaugler, R.; H.K. Kaya. 1990.** Entomopathogenic Nematodes in Biological Control. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A.
- Gaugler, R.; M. Wilson; P. Shearer. 1997.** Field release and environmental fate of a transgenic entomopathogenic nematode. *Biol. Control* 9: 75-80.
- Georgis, R. 1997.** Commercial prospects of microbial insecticides in agriculture p. 243-252. In: Evans, H.F. (chair) "Microbial Insecticides: Novelty or Necessity?". *Proc. Br. Crop. Prot. Council Symp.* 68.
- Georgis, R. 1990.** Formulation and application technology p. 173-191. In: Gaugler, R.; H.K. Kaya (eds) *Entomopathogenic Nematodes in Biological Control*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A.
- Georgis, R.; N.G.M. Hague. 1991.** Nematodes as biological insecticides. *Pesticide Outlook* 2: 29-32.
- Georgis, R.; H.K. Kaya; R. Gaugler. 1991.** Effect of steinernematid and heterorhabditid nematodes (Rhabditida: Steinernematidae and Heterorhabditidae) on nontarget arthropods. *Environmental Entomology* 20: 815-822.
- Goettel, M.S.; R.J.S. Leger; S. Bhairi; M.K. Jung; B.R. Oakley; D.W. Roberts; R.C. Staples. 1990.** Pathogenicity and growth of *Metarhizium anisopliae* stably transformed to benomyl resistance. *Current Genetics* 17: 129-132.
- Goh, K.S.; R.C. Berberet; L.J. Young; K.E. Conway. 1989.** Mortality of *Hypera postica* (Coleoptera: Curculionidae) in Oklahoma caused by *Erynia phytonomi* (Zygomycetes: Entomophthorales). *Environmental Entomology* 18: 964-969.
- Gould, F. 1988.** Evolutionary biology and genetically engineered crops, consideration of evolutionary theory can aid in crop design. *BioScience* 38: 26-33.
- Helmuth, R. 1988.** *Bacillus thuringiensis* – Health aspects for man and animals. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem* 246: 95-101.

Henry, J.E.; E.A. Oma; J.E. Onsager. 1978. Relative effectiveness of ULV spray applications of spores of *Nosema locustae* against grasshoppers. *Journal of Economic Entomology* 71: 629-632.

Henry, J.E.; J.E. Onsager. 1982. Large-scale test of control of grasshoppers on rangeland with *Nosema locustae*. *Journal of Economic Entomology* 75: 31-35.

Höfte, H.; H.R. Whiteley. 1989. Insecticidal crystal proteins of *Bacillus thuringiensis*. *Microbiol. Rev.* 53: 242-255.

Hominick, W.M.; A.P. Reid. 1990. Perspectives on entomopathogenic nematology p. 327-345. In: Gaugler, R.; H.K. Kaya (eds) *Entomopathogenic Nematodes in Biological Control*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A.

Hougaard, J.-M. 1990. Formulations and persistence of *Bacillus sphaericus* in *Culex quiquefasciatus* larval sites in tropical Africa p. 295-306. In: Barjac, H.; D. Sutherland (eds) "Bacterial Control of Mosquitos and Black Flies: Biochemistry, Genetics and applications of *Bacillus thuringiensis israelensis* and *Bacillus sphaericus*". Rutgers Univ. Press, New Brunswick, NJ.

Huber, J. 1986. Use of baculoviruses in pest management programs p. 181-202. In: Granados, R.R.; B.A. Federici (eds) *The Biology of Baculoviruses: Volume II. Practical / application for Insect Control*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A.

Ignoffo, C.M.; B.S. Shasha; M. Shapiro. 1991. Sunlight ultraviolet protection of the *Heliothis nuclear polyhedrosis virus* through starch-encapsulation technology. *Journal of Invertebrate Pathology* 57: 134-136.

Jacobs, S.E. 1951. Bacteriological control of the flour moth, *Ephestia kuehniella* Z. *Proceedings of the Society of Applied Bacteriology* 13: 83-91.

Kaya, H.K. 1993. Entomogenous and entomopathogenic nematodes in biological control p. 565-591. In: Evans, K.; D.L. Trudgill; J.M. Webster (eds) *Plant Parasitic Nematodes in Temperate Agriculture*, Commonwealth Agricultural Bureaux International. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.

Kaya, H.K. 1985. Entomogenous nematodes for insect control in IPM systems p. 283-302. In: Hoy, M.A.; D.C. Herzog (eds) *Biological Control in Agricultural IPM systems*. Academic Press, New York.

Kaya, H.K.; R. Gaugler. 1993. Entomopathogenic nematodes. *Annual Review of Entomology* 38: 181-206.

Klein, M.G.; H.K. Kaya. 1995. *Bacillus* and *Serratia* species for scarab control. *Mem. Instit. Oswaldo Cruz* 90: 87-95.

Klein, M.G.; L.A. Lacey. 1999. An attractant trap for autodissemination of entomopathogenic fungi into populations of Japanese beetle, *Popillia japonica* (Coleoptera: Scarabaeidae). *Biocontrol. Sci. Technol.* 9: 151-158.

Kluge, R.L.; P.M. Caldwell. 1992. Microsporidian diseases and biological weed control agents: to release or not to release? *Biocontrol News and Information* 13(3): 43N-47N.

- Kronstad, J.W.; H.E. Schnepf; H.R. Whiteley. 1983.** Diversity of locations for *Bacillus thuringiensis* crystal protein genes. *J. Bacteriol.* 154: 419-428.
- Kurtti, t.J.; U.G. Munderloh. 1987.** Biotechnological application of invertebrate cell culture to the development of microsporidian insecticides p. 327-334. In: Maramorosch, k. (ed) *Biotechnology in Invertebrate pathology and Cell Culture*. Academic Press, San Diego, California, U.S.A.
- Lacey, L.A. 2001.** Insect pathogens as biological control agents: do they have a future? *Biological Control* 21: 230-248.
- Lacey, L.A.; R. Frutos; H.K. Kaya; P.Vail. 2001.** Insect pathogens as biological control agents: do they have a future? *Biological Control* 21: 230-248.
- Lacey, L.A.; A.H. Undeen. 1986.** Microbial control of black flies and mosquitoes. *Annu. Rev. Entomol.* 31: 265-296.
- Leemans, J.; A. Reynaerts; H. Hofte; M. Peferoen; H. Van Mellaert; H. Joos. 1990.** Insectidal crystal proteins from *Bacillus thuringiensis* and their use in transgenic crops p. 573-581. In: Baker, R.R.; P.E. Dunn (eds) *New Directions in Biological control*. Alan R. Liss, New York.
- Lisansky, S. 1997.** Microbial biopesticides p. 3-10. In: Evans, H.F. (chair) "Microbial Insecticides: Novelty or Necessity?". *Proc. Br. Crop. Prot. Council Symp.* 68.
- Lord, J. 1997.** Mycotech recives EPA registration of improved *Beauveria bassiana* products. *Society for Invertebrate Pathology Newsletter* 29: 19-20.
- Lublinkhof, J.; L.C. Lewis. 1980.** Virulence of *Nosema pyrausta* to the European corn borer; when used in combination with insecticides. *Environmental Entomology* 9: 67-71.
- Luthy, P. 1986.** Insect pathogenic bacteria as pest control agents p. 201-216. In: Franz, J.M. (ed) *Biological Plant and Health protection, Biological Control of Plant Pests and of Vectors of Human and Animal Diseases*. International Symposium of the Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Germany.
- Maeda, S. 1989a.** Expression of foreign genes in insects using baculovirus vectors. *Annu. Rev. Entomol.* 34: 351-372.
- Maeda, S. 1989b.** Increased insecticidal effects by a recombinant baculovirus carrying a synthetic diuretic hormone gene. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 165: 1177-1183.
- Maeda, S.; S.L. Volrath; T.N. Hanzlik; S.A. Harper; K. Majima; D.W. Maddox; B.D. Hammock; E. Fowler. 1991.** Insecticidal effects of an insect-specific neurotoxin expressed by a recombinant baculovirus. *Virology* 184: 777-780.
- Milner, R.J.; Soper, R.S.; Lutton, G.G. 1982.** Field release of an Israeli strain of the fungus *Zoophthora radicans* (Brefeld) Batko for biological control of *Therioaphis trifolii* (Monell) f. maculata. *Journal of the Australian Entomological Society*, 21: 113-118.

Moore, D.; P.D. Bridge; P.M. Higgins; R.P. Bateman; C. Prior. 1993. Ultra-violet radiation damage to *Metarhizium flavoviride* conidia and the protection given by vegetable and mineral oils and chemical sunscreens. *Annals of Applied Biology* 122: 605-616.

Moore, N.F.; L.A. King; R.D. Possee. 1987. Mini review: viruses of insects. *Insect Science and Its Application* 8: 275-289.

Morris, O.N. 1980. Entomopathogenic viruses: Strategies for use in forest insect pest management. *Canadian Entomologist* 112: 573-584.

Mulla, M.S.; J.D. Chaney; J. Rodcharoen. 1990. Control of nuisance aquatic midges (Diptera: Chironomidae) with the microbial larvicide *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* in a man-made lake in southern California. *Bulletin of the Society for Vector Control* 15(2): 176-184.

Nicolas, L.; L.N. Regis; E.M. Rios. 1994. Role of the exosporium in the stability of the *Bacillus sphaericus* binary toxin. *FEMS Microbiol. Lett.* 124: 271-276.

Nielsen-Leroux, C.; J.F. Charles; I. Thierry; G.P. Georghiou. 1995. Resistance in a laboratory population of *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) to *Bacillus sphaericus* binary toxin is due to a change in the receptor on midgut brush-border membranes. *Eur. J. Biochem.* 228: 206-210.

Nielsen-Leroux, C.; F. Pasquier; J.F. Charles; G. Sinigre; B. Gaven; N. Pasteur. 1997. Resistance of *Bacillus sphaericus* involves different mechanisms in *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) larvae. *J. Med. Entomol.* 34: 321-327.

Obukowicz, M.G.; F.J. Perlak; K. Kusano-Kretzmer; E.J. Mayer; S.L. Bolten; S.L. Watrud. 1986. Tn5-mediated integration of the delta-endotoxin gene from *Bacillus thuringiensis* into the chromosome of root-colonizing pseudomonads. *J. Bacteriol.* 168: 982-989.

Oien, C.T.; D.W. Ragsdale. 1993. Susceptibility of nontarget hosts to *Nosema furnacalis* (Microsporida: Nosematidae), a potential biological control agent of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae). *Biological Control* 3: 323-328.

Osborne, K.J.; R.J. Powles; P.L. Rogers. 1990. *Bacillus sphaericus* as a biological agent. *Australian Journal of Biotechnology* 4: 205-211.

Parkman, J.P.; W.G. Hudson; J.H. Frank; K.B. Nguyen; G.C. Smart Jr. 1993. Establishment and persistence of *Steinernema scapterisci* (Rhabditida: Steinernematidae) in field populations of *Scapteriscus* spp. mole crickets (Orthoptera: Gryllotalpidae). *Journal of Entomological Science* 28: 182-190.

Payne, C.C. 1986. Insect pathogenic viruses as pest control agents p. 183-200. In: J.M. Franz (ed) *Biological Plant and Health protection, Biological Control of Plant Pests and of Vectors of Human and Animal Diseases, International Symposium of the Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Germany.*

Podgwaite, J.D. 1986. Effects of insect pathogens on the environment p. 279-287. In: Franz, J.M. (ed) Biological Plant and Health protection, Biological Control of Plant Pests and of Vectors of Human and Animal Diseases, International Symposium of the Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Germany.

Poinar, G.O. 1986. Entomophagous nematodes p. 95-121. In: Franz, J.M. (ed) Biological Plant and Health protection, Biological Control of Plant Pests and of Vectors of Human and Animal Diseases, International Symposium of the Akademie der Wissenschaften und der Literatur, Mainz. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Germany.

Porter, A.G.; E.E. Davidson; J.W. Liu. 1993. Mosquitocidal toxins of *Bacillus* and their genetic manipulation for effective biological control of mosquitoes. Microbiol. Rev. 57: 838-861.

Quintela, E.D.; C.W. McCoy. 1997. Pathogenicity enhancement of *Metarhizium anizopliae* and *Beauveria bassiana* to first instars of *Diaprepes abbreviatus* (Coleoptera: Curculionidae) with sublethal doses of imidacloprid. Environ. Entomol. 26: 1173-1182.

Rao, D.R.; T.R. Mani; R. Rajendran; A.S. Joseph; A. Gajanara; R. Reuben. 1995. Development of a high level of resistance to *Bacillus sphaericus* in a field population of *Culex quinquefasciatus* from Kochi, India. J. Am. Mosq. Control Assoc. 11: 1-5.

Saik, J.E.; L.A. Lacey; C.M. Lacey. 1990. Safety of microbial insecticides to vertebrates-domestic animals and wildlife p. 115-132. In: Laird, M.; L.A. Lacey; E.W. Davidson (eds) Safety of Microbial insecticides. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A.

Schnepf, E.; N. Crickmore; J. Van Rie; D. Lereclus; J. Baum; J. Feitelson; D.R. Ziegler; D.H. Dean. 1998. *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal proteins. Microbiol. Mol. Biol. Rev. 62: 775-806.

Shadduck, J.A.; S. Singer; S. Lause. 1980. Lack of mammalian pathogenicity of entomocidal isolates of *Bacillus sphaericus*. Environmental Entomology 9: 403-407.

Shapiro, M.; J.L. Robertson, 1992. Laboratory evaluation of dyes as ultraviolet screens for the gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) baculovirus activity by optical brighteners. Journal of Economic Entomology 85: 1120-1124,

Siegel, J.P.; J.A. Shadduck. 1990. Clearance of *Bacillus sphaericus* and *Bacillus thuringiensis* ssp. *israelensis* from mammals. Journal of Economic Entomology 83: 347-355.

Siegel, J.P.; J.A. Shadduck. 1992. Testing the effects of microbial pest control agents on mammals p. 745-759. In: Levin, M.A.; R.J. Seidler; M. Rogul (eds) Microbial Ecology, Principles, Methods and Applications. McGraw-Hill, New York.

Skot, L.; S.P. Harrison; A. Nath; L.R. Mytton; B.C. Clifford. 1990. Expression of insecticidal activity in *Rhizobium* containing the d-endotoxin gene cloned from *Bacillus thuringiensis* subsp. *tenebrionis*. Plant Soil 127: 285-295.

Soares Jr., G.G. 1995. Challenges and strategies for the wider adoption of Bt insecticides p. 223-240. In: Feng, T.-Y.; K.-F. Chark; R. Smith; T. Yamamoto; J. Margalit; C. Chilcott; R. Rose (eds) "Bacillus thuringiensis Biotechnology and Environmental Benefits". Hua Ahiang Yuan, Taipei.

Soltes-Rak, E.; D.J. Kushner; D.D. Williams; J.R. Coleman. 1993. Effect of promoter modification on mosquitocidal cryIVB gene expression in *Synechococcus* sp. strain 7942. Appl. Environ. Microbiol. 59: 2404-2410.

Stahly, D.P.; M.G. Klein. 1992. Problems with in vitro production of *Bacillus popilliae* for use in biological control of the Japanese beetle. Journal of Invertebrate Pathology 60: 283-291.

Starnes, R.L.; Chi Li Liu; P.G. Marrone. 1993. History, use and future of microbial insecticides. American Entomologist 39(2): 83-91.

Steinhaus, E.A. 1949. Principles of Insect Pathology. McGraw-Hill, New York.

Stevens Jr., S.E.; R.C. McMurphy; W.J. Lamoreaux; L.B. Coons. 1994. A genetically engineered mosquitocidal cyanobacterium. J. Appl. Physiol. 6: 187-197.

Stewart, L.M.D.; M. Hirst; M.L. Ferber; A.T. Merryweather; P.J. Cayley. R.D. Possee. 1991. Construction of an improved baculovirus insecticide containing an insect-specific toxin gene. Nature 352: 85-88.

Stock, C.A.; T.J. McLoughlin; J.A. Klein; M.J. Adang. 1990. Expression of a *Bacillus thuringiensis* crystal protein gene in *Pseudomonas cepacia* 526. Can. J. Microbiol. 36: 879-884.

Tamai, M.A. 1997. Avaliação de fungos entomopatogênicos para o controle de *Tetranychus urticae* Koch: Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

Tanada, Y.; H.K. Kaya. 1993. Insect Pathology. Academic Press, San Diego, California, U.S.A.

Tanzini, M.R. 2002. Controle do percevejo-de-renda da seringueira (*Leptopharsa heveae*) com fungos entomopatogênicos: Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

Takada, H.M. 2002. Patogenicidade e seleção de isolados de *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin e *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. para o controle de *Oryzophagus oryzae* (Costa Lima, 1936) (Coleoptera: Curculionidae): Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade do Estado de São Paulo.

Thanabalu, T.; J. Hindley; S. Brenner; C. Oei; C. Berry. 1992. Expression of the mosquitocidal toxins of *Bacillus sphaericus* and *Bacillus thuringiensis* subsp. israelensis by a recombinant *Caulobacter crescentus*, a vehicle for biological control of aquatic insect larvae. Appl. Environ. Microbiol. 58: 905-910.

Tomalski, M.D.; L.K. Miller. 1991. Insect paralysis by baculovirus-mediated expression of a mite neurotoxin gene. Nature 352: 82-85.

Udayasuryan, V.; A. Nakamura; H. Masaki; T. Uozomi. 1995. Transfer of an insecticidal protein gene of *Bacillus thuringiensis* into plant-colonizing *Azospirillum*. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 11: 163-167.

Van Drieschie, R.G.; T.S. Bellows Jr. 1996. *Biological Control*. Chapman & Hall, New York.

Vega, F.E.; P.F. Dowd; R.J. Bartelt. 1995. Dissemination of microbial agents using an autoinoculating device and several insects species as vectors. *Biol. Control* 5: 545-552.

Vega, F.E.; P.F. Dowd; L.A. Lacey; J.K. Pell; D.M. Jackson; M.G. Klein. 2000. Dissemination of beneficial microbial agents by insects p. 152-177. In: Lacey, L.A.; 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, Dordrecht.

Vinson, S.B. 1990. Potential impact of microbial insecticides on beneficial arthropods in the terrestrial environment p. 43-64. In: Laird, M.; L.A. Lacey; E.W. Davidson (eds) *Safety of Microbial insecticides*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A.

Weinzierl, R.; T. Henn; P.G. Koehler. 1997. *Microbial Insecticides*. Univ. Illinois Extension Circular 1295.

Wood, H.A.; R.R. Granados. 1991. Genetically engineered baculoviruses as agents for pest control. *Annual Review of Microbiology* 45: 69-87.

York, G.T. 1958. Field tests with the fungus *Beauveria* sp. for control of the European corn borer: *Iowa State College Journal of Science* 33: 123-129.

Young, S.Y.; W.C. Yearian. 1986. Formulation and application of baculoviruses p. 157-179. In: Granados, R.R.; B.A. Frederici (eds) *The Biology of Baculoviruses: volume II. Practical Application for Insect Control*. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, U.S.A.

EVALUACION DE INSECTICIDAS EN LABORATORIO

Gonzalo Silva A.
José C. Rodríguez M.
Diana Pizarro D.

Gonzalo Silva A.

Departamento de Producción Vegetal
Facultad de Agronomía
Universidad de Concepción
Chillán. Chile.

José C. Rodríguez M.

Programa de Entomología y Acarología
Instituto de Fitosanidad
Colegio de Postgraduados
Montecillo. México

Diana Pizarro D.

Programa de Postgrado en Producción Vegetal
Facultad de Agronomía
Universidad de Concepción
Chillán. Chile.

INTRODUCCION

La evaluación de insecticidas en laboratorio es una de las etapas fundamentales tanto en la búsqueda de nuevas moléculas con propiedades insecticidas como en la detección y monitoreo de la resistencia. Esta metodología recibe el nombre genérico de bioensayo y consiste principalmente en la evaluación de las propiedades de un compuesto en función de la respuesta que produce. Normalmente se trata de una metodología sencilla y de bajo costo, misma que permite obtener resultados de manera rápida. Además, prácticamente no hay plaga para la cual no se haya desarrollado una metodología que permita cumplir con estos objetivos.

Usualmente se señala que los datos que se obtienen en laboratorio no son, necesariamente, la fiel representación de lo que sucede en el campo; sin embargo, la ventaja de trabajar con condiciones controladas es que permite hacer valiosas inferencias que pueden ser consideradas como una señal de lo que puede estar pasando en el campo.

En el presente capítulo se hace un análisis del bioensayo, los factores que lo afectan y la manera de interpretar los resultados.

DEFINICION

En términos generales, un bioensayo o ensayo biológico, se define como cualquier evaluación que involucra organismos vivos (Miller; 1999). A su vez Lagunes y Villanueva (1994) señalan que un bioensayo es cualquier método por medio del cual alguna propiedad de una sustancia

o material, es medida en términos de la respuesta biológica que produce.

En resumen, desde un punto de vista agronómico, un bioensayo es una metodología que se utiliza para determinar la respuesta de insectos plaga u organismos benéficos a los insecticidas.

COMPONENTES DE UN BIOENSAYO

Un bioensayo posee dos componentes: el estímulo y la respuesta. El estímulo se define como la variable independiente o el insecticida que se utiliza en varias concentraciones. Mientras que la respuesta es el efecto o manifestación que produce la aplicación del estímulo, tales como porcentaje de mortalidad, número de larvas que llegan al tercer instar, reducción de peso y otros.

TIPOS DE BIOENSAYO

Existen varios criterios para clasificar los bioensayos. Según Lagunes y Villanueva (1994), los bioensayos se dividen en directos e indirectos. El bioensayo directo es aquel en donde se aplica una dosis conocida a cada organismo en forma individual y solo deseamos saber la manera en que los individuos tratados responden al estímulo; mientras que en el bioensayo indirecto, las diferentes concentraciones del insecticida objeto de estudio, se aplican a una muestra de insectos que sea representativa de una población de campo.

En el bioensayo directo nos interesa conocer la respuesta específica del organismo de interés; mientras que en el bioensayo indirecto inferimos, con base a lo observado de los organismos evaluados, la respuesta de la población de donde dichos organismos proceden. Por lo tanto, en el bioensayo indirecto es importante que la muestra sea representativa de la población de campo. Usualmente es mejor hacer varios muestreos que cubran el rango de distribución poblacional, en vez de hacer una gran colecta de individuos procedentes de una zona pequeña altamente infestada. Miller (1999), por su parte clasifica a los bioensayos de la siguiente manera:

Bioensayos de aplicación tópica o localizada

En este tipo de bioensayo, la concentración de tóxico se deposita en forma directa sobre alguna parte del cuerpo de los organismos evaluados. La aplicación debe realizarse con una microjeringa montada a un micrómetro y calibrada para liberar 0.5 ó 1.0 microlitro por cada avance que se le da a dicho microlitro. El tóxico se disuelve en algún solvente orgánico como acetona, aceite de maní, o benceno, entre otros. Sin embargo, aplicar una cantidad conocida de tóxico al insecto, no significa que sepamos la cantidad precisa que llegará al sitio de acción.

Bioensayo por inyección

Otra forma de aplicar una cantidad precisa de tóxico al insecto, consiste en inyectarlo, disuelto en una base salina que no altere demasiado la composición de iones de la hemolinfa, directamente al cuerpo del insecto. Esta técnica requiere especial cuidado debido a que el insecto puede resultar dañado como producto de la inyección.

Bioensayos de aplicación residual

En una aplicación residual, el tóxico se aplica al ambiente en donde se encuentra el organismo de prueba. El sustrato puede ser una hoja, una placa petri, un vial de vidrio o un vaso con una cantidad conocida de agua, entre otros. Esta metodología es menos precisa que la tópica, pues se desconoce con exactitud la cantidad de solución que ha sido puesta en contacto con el insecto, pero requiere de menor sofisticación para llevarse a cabo y además tiene la ventaja que simula mejor una aplicación de insecticida en campo. Dentro de este tipo de bioensayos, la aplicación del tóxico puede ser por aspersión, inmersión o contaminación del medio.

En la aplicación por aspersión, el insecticida se disuelve en agua, acetona o benceno y se aplica con un dispositivo especial como una torre de "Potter", la cual controla la presión, cantidad de líquido liberado, tamaño de gota, tiempo de exposición, etc.

La inmersión o "dip tests" son metodologías en las cuales el insecto, una hoja o un disco de hoja se sumergen durante un tiempo determinado en una concentración conocida de tóxico. Para el caso de estructuras vegetales, una vez terminado el proceso de inmersión, se dejan secar a temperatura ambiente y se procede a confinar a los insectos para observar la respuesta en el tiempo que dicha metodología indique. En la evaluación de resistencia a insecticidas sistémicos, como imidacloprid, es conveniente sumergir las raíces, previamente lavadas y secadas, en la concentración conocida de tóxico; permitir que haya absorción durante 24 horas y posteriormente utilizar discos de hojas para exponer a los insectos de prueba, como mosquitas blancas por ejemplo.

La contaminación del medio donde se desarrollan los insectos también es útil para evaluar resistencia. El medio puede ser la dieta o el agua donde se encuentran los organismos de prueba como es el caso de larvas acuáticas de mosquitos. La contaminación de la dieta con el tóxico es muy común en la evaluación de la resistencia a las delta endotoxinas de *Bacillus thuringiensis*. En este caso se agregan, a cada cavidad de la bandeja de bioensayo, un mililitro de dieta artificial y una vez que se seca (24 h) se agregan 200 mL de la toxina a la concentración deseada. Ocho horas después, se deposita una larva neonata por cavidad y se cubre dicha cavidad con un plástico adherente especial que permite el intercambio gaseoso. A los cinco días se evalúa el porcentaje de mortalidad, porcentaje de larvas que llegaron al tercer instar y el porcentaje de reducción de peso con respecto al testigo absoluto.

La contaminación del agua se utiliza en la evaluación de la resistencia a insecticidas en larvas de mosquito. Para este caso, en un vaso de papel encerado, se depositan 100 mL de agua de la llave, 20 larvas del cuarto instar temprano y un mililitro de la concentración conocida de tóxico. A las 24 h se evalúa el porcentaje de mortalidad.

Cuando se sabe la cantidad precisa de tóxico que se le suministra a cada insecto, hablamos de dosis; mientras que cuando solamente conocemos la cantidad de tóxico que aplicamos al medio donde éstos se desarrollan, hablamos de dosificación. Aparentemente el empleo de dosis es más preciso, sin embargo, en ningún caso conocemos con exactitud el número de moléculas que interaccionan con el sitio de acción. La dosificación tiene la ventaja que representa mejor a una aplicación de insecticidas en campo.

FACTORES QUE AFECTAN A UN BIOENSAYO

En general y con el objetivo de disminuir el error experimental, se debe trabajar con unidades experimentales lo más homogéneas posibles. Existen una gran variedad de factores que pueden afectar los resultados de un bioensayo. Según Lagunes y Vázquez (1994), estos se dividen en factores inherentes al organismo de prueba y factores inherentes al procedimiento experimental.

a) Factores inherentes al organismo de prueba

Se relacionan específicamente con la naturaleza del insecto con el que se está evaluando el insecticida. Los factores inherentes al organismo de prueba son la edad, peso, sexo y fase de desarrollo, entre otros (Champ y Dyte, 1976).

Edad y estado de desarrollo

Como en todos los seres vivos, existen diferentes niveles de susceptibilidad de acuerdo al estado del ciclo en que el insecto se encuentre. Desde el punto de vista de la diferencia entre el estado adulto e inmaduro, Lagunes y Villanueva (1994), señalan que las larvas son, en general, menos susceptibles que los adultos ya que presentan una mayor diversidad de enzimas metabólicas. Además, las diferencias de susceptibilidad son mucho más notorias entre los insectos con metamorfosis completa que incompleta (Lagunes y Vázquez, 1994). También se acepta, en forma general, que los individuos de mayor tamaño requieren de una mayor cantidad de tóxico para morir que uno de menor tamaño.

Sexo

En general las hembras son menos susceptibles a los insecticidas que los machos (Busvine, 1971); por lo que es mejor realizar los bioensayos en las hembras, a menos que se

demuestre que dichas diferencias no son importantes, como ocurre en varias especies de insectos que atacan a granos almacenados (Champ y Dyte, 1976).

Variación natural

Este es un elemento que normalmente no es considerado en la evaluación de insecticidas en bioensayos de laboratorio. Según Robertson *et al* (1995), una población siempre varía en su forma natural de responder a un determinado insecticida, sin importar el lugar en donde se encuentre. Estos autores estimaron la LC50 tanto a DDT como a insecticidas piretroides en una colonia de campo de *Leptinotarsa decemlineata*, a lo largo de 91 generaciones consecutivas. Los resultados mostraron que en un 95% de los casos, los valores difirieron a los observados en una colonia susceptible de la misma especie; indicando inestabilidad en la resistencia a insecticidas por parte de la colonia de campo.

Período de cautiverio de la raza sensible

Es común que en los estudios de resistencia se utilice una raza susceptible que carece de genes de resistencia y que sirve como punto de referencia o comparación. La raza susceptible normalmente esta confinada, por muchas generaciones, en cámaras de cría y sin presión de selección con insecticidas (Rodríguez, 1996). La utilización de una raza susceptible permite estimar el efecto de los factores ambientales sobre la respuesta a insecticidas.

La susceptibilidad a insecticidas tiene, en general, una distribución normal; es decir que la respuesta puede variar entre poblaciones, a pesar de que todas ellas sean susceptibles. Por lo tanto, la proporción de resistencia puede aumentar o disminuir en función del grado de sensibilidad que tenga la raza susceptible que se este usando como punto de comparación. Razón por la cual, las diferencias que se observen entre la raza de campo y la raza susceptible, no necesariamente deben atribuirse a la expresión de genes de resistencia; a menos que también se hagan estudios de efectividad biológica en campo y se correlacionen ambos resultados

b) Factores inherentes al procedimiento experimental

El procedimiento experimental que se utilice influye sobre la magnitud de la respuesta de los organismos de prueba. En consecuencia, dos bioensayos son comparables solamente si se trata de la misma especie, mismo insecticida y mismo procedimiento de bioensayo. Para cada caso, existen factores propios de la metodología y del ambiente que deben regularse y homogeneizarse con la finalidad de no afectar la confiabilidad de los bioensayos.

Factores ambientales

Lagunes y Villanueva (1994), señalan que los piretroides tipo I son más tóxicos a medida que la temperatura disminuye y viceversa (correlación negativa), mientras que los ciclodienos lo hacen en forma positiva. Además Miller (1999) señala que la toxicidad de un insecticida es fuertemente influida por la hora en que se realice el bioensayo: mañana, tarde o noche. Busvine (1971), menciona que la iluminación puede alterar el comportamiento del insecto al modificar su tasa metabólica y por lo tanto su susceptibilidad a los insecticidas. Según este autor, la iluminación también puede aumentar la movilidad del insecto e incrementar la cantidad de tóxico que adquiere, dando la falsa idea de que es más sensible.

Alimentación

Busvine (1971), señala que la cantidad y calidad de la dieta puede afectar el tamaño y la capacidad de sobrevivencia del insecto; además de que podría existir una diferencia en la tolerancia entre individuos recién alimentados y aquellos que se han mantenido sin alimento por un tiempo.

Método de exposición

De acuerdo a Lagunes y Vázquez (1994), la respuesta de los organismos de prueba es muy diferente cuando se compara la aplicación tópica con la de inmersión. Champ y Dyte (1976), señalan que el método más adecuado es aquel que ofrezca los resultados con una menor heterogeneidad, una pendiente más pronunciada y el menor valor de CL50.

Criterios de Respuesta

La elección de la respuesta a medir en un bioensayo es discrecional y debe estar estrechamente relacionada con la medición de la tolerancia al tóxico (Lagunes y Vazquez, 1994). Existen una gran cantidad de criterios para evaluar la respuesta al tóxico. Por ejemplo, de acuerdo al método propuesto por FAO (1974, 1979 y 1984), un insecto debe considerarse muerto cuando no muestre movimientos coordinados al ser tocado por una aguja u otro elemento puntiagudo. Lamentablemente existe una tendencia estereotipada a evaluar solamente mortalidad lo cual no siempre es el único ni el mejor parámetro, como sucede en el caso de algunos insecticidas naturales como son los de origen vegetal (Silva *et al*, 2002). Otros criterios de respuesta son: porcentaje de reducción de peso respecto al testigo absoluto, porcentaje de larvas que llegan al tercer instar y tiempo de duración del estado larval. Rodríguez (2000), también señala que se pueden utilizar como índices de respuesta, repelencia, porcentaje de inhibición de la alimentación, consumo foliar, protección del 95% del área foliar y peso de pupas.

Tiempo de exposición

El tiempo de exposición depende del tipo de bioensayo y también de la velocidad de acción del insecticida (Lagunes y Vazquez, 1994, Miller 1999). French-Constant y Roush (1990), señalan que el tiempo de exposición es influenciado por el tipo de respuesta a observar (Knock down vs mortalidad) y el tipo de insecticida a evaluar (*Bacillus thuringiensis*, organoclorados, organofosforados, cloronicotinoides, etc.).

Solventes

Para preparar las concentraciones requeridas, el insecticida a evaluar debe disolverse en un solvente apropiado. Generalmente se utilizan solventes orgánicos como acetona o xileno cuando el insecticida de interés se encuentra en grado técnico de pureza (Lagunes y Vázquez, 1994). A pesar de que la Sociedad Americana de Entomología sugiere usar acetona como solvente universal, muchas veces no es posible hacerlo debido a que se deben tratar partes del vegetal que son altamente sensibles a éste y otros solventes orgánicos. En estos casos se utiliza el producto formulado diluido en agua destilada. Es importante que el solvente no se volatilice antes de que el insecticida llegue al cuerpo del insecto.

Tamaño de la muestra

La cantidad de individuos a evaluar debe ser representativa de la población a que pertenece y el tamaño de muestra a utilizar en cada repetición debe ser lo suficientemente grande para disminuir al máximo el error experimental. Robertson *et al* (1984), señalan que para obtener una estimación confiable de la línea de respuesta log dosis – mortalidad, se requiere de una muestra mínima de 120 individuos por dosis.

Efectos de depósito estructural

Este es un efecto que rara vez se considera, a pesar de que puede afectar significativamente los resultados de un bioensayo (Ebert y Hall 1999). Según estos autores, una aspersión de insecticidas crea un mosaico de áreas tratadas y no tratadas; a esta heterogeneidad de la presencia del tóxico se le conoce como depósito estructural e influye significativamente en los resultados del bioensayo.

ANÁLISIS DE LOS DATOS

Los datos obtenidos de un bioensayo se someten a un análisis Probit para obtener las líneas de respuesta log dosis-probit. Para tal efecto existen en el mercado varios programas estadísticos que contienen a este tipo de análisis: SAS, Minitab, Raymond, Polo Pc, etc. Algunos de ellos incluso hacen automáticamente la corrección por mortalidad en el testigo.

Corrección de la mortalidad

Es natural que un porcentaje bajo de insectos del testigo absoluto pueda estar muerto al momento de tomar los datos. En consecuencia, es importante definir el nivel de mortalidad natural máximo que se acepta para el testigo absoluto; este valor normalmente varía de 10 al 20%, dependiendo del insecto de prueba y la metodología de bioensayo. Cuando en el testigo absoluto la mortalidad supera estos valores, todas las repeticiones deberán desecharse y realizar el bioensayo de nuevo. En caso contrario, el mismo porcentaje de mortalidad que ocurrió en el testigo absoluto se asume que ocurrió también en todos los tratamientos insecticidas, razón por la cual debe hacerse la corrección de Abbott (Abbott 1925).

$$MC = \left[\frac{Mtr - Mte}{100 - Mte} \right] \times 100 \quad (1)$$

Donde:

MC= Porcentaje de mortalidad corregida

Mtr= Porcentaje de mortalidad en el tratamiento

Mte= Porcentaje de mortalidad en el testigo absoluto

Ley de Weber y Fechner

La Ley de Weber y Fechner señala que el cambio en magnitud o intensidad de una respuesta biológica es proporcional no al cambio aritmético en el estímulo sino a su logaritmo. Por lo tanto, las concentraciones a utilizar en el bioensayo deberán estar espaciadas logarítmicamente y cubrir, lo más uniforme posible, todo el rango de respuesta biológica desde el cero hasta el 100%. Al menos deben utilizarse un total de cinco dosis, repetidas cinco veces en días diferentes.

Transformación de una línea sigmoide a una línea recta

Si se grafica el estímulo contra la respuesta, se obtendrá una línea sigmoide asimétrica con la curvatura inferior muy pequeña cuyos valores son de muy difícil interpretación. Al transformar la dosis a la función Log_{10} dosis, la respuesta se vuelve una línea sigmoide simétrica. A pesar de ello, resulta complicado analizar estadísticamente líneas curvas; además, sobre el 95% de respuesta, no se sabe con certeza la dirección que tomará dicha curva.

Para obtener una línea recta, además de realizar la transformación antes indicada, es necesario que la respuesta se transforme a unidades Probit, Anglit o Logit y estar en posibilidades de realizar un análisis paramétrico. El campo de la estadística paramétrica contiene procedimientos más sólidos, que la estadística no paramétrica, para comparar líneas rectas de respuesta log-dosis respuesta.

Transformación Probit

Probit es una palabra que viene de la contracción de **probability unit**; a pesar de ello, no son unidades de probabilidad, sino unidades de desviación estándar incrementadas en cinco con la finalidad de evitar el uso de números negativos. Los resultados del análisis Probit se expresan normalmente como la concentración o tiempo requerido para matar a una determinada proporción de los insectos de prueba (Thorne *et al.*, 1995 a y b).

Esta transformación asume que la respuesta de los individuos se distribuye en forma normal, correspondiendo la curva de respuesta a una sigmoidea o función de distribución normal acumulativa (Gil-Criado y Muñiz, 1978). Esta curva normal solo se diferencia de la tradicionalmente usada, en que tiene una media de 5 y no 0, valor que corresponde a un umbral proporcional de respuesta del 50% (Infante y Calderón, 1994).

Transformación Logit

Algunos autores sostienen que la respuesta no se distribuye en forma normal sino que de forma sigmoide o logística, por lo que sugieren que se utilice la siguiente ecuación (Infante y Calderón, 1994):

$$P = \frac{1}{(1 + e^{-(a+bx)})}$$

Transformación Anglit o Angular

La transformación angular se usa principalmente cuando los valores obtenidos experimentalmente se expresan en términos de una proporción (p), cuyo valor oscila entre 0 y 1. Esta transformación presenta el problema que puede sobrevalorar los datos extremos de la evaluación.

Según Rustom *et al.* (1989), la decisión sobre cual transformación utilizar debe estar sustentada sobre condiciones teóricas y sobre el conocimiento previo del tipo de distribución que manifiesta la respuesta biológica. A las distribuciones normales, logísticas o binomiales, se les debe aplicar una transformación probit, logit o angular; respectivamente. El problema se vuelve complicado cuando se desconoce la distribución de la respuesta. Finney en 1978, estudió la relación entre las tres curvas de distribución antes señaladas y demostró que entre la distribución normal y la logística hay diferencias mínimas en el tramo correspondiente entre el 1 y 99% de respuesta. La distribución normal con la angular tiene ínfimas diferencias en el tramo entre el 5 y 95%. Gil-Criado y Muñiz (1978), señalan que la transformación a utilizar no reviste mayor importancia; pudiéndose, inclusive, usar más de una a la vez y trabajar posteriormente con la que presente una menor varianza.

Ajuste de la recta de regresión

Una vez que se han realizado todas las transformaciones pertinentes, se debe hacer un ajuste de regresión lineal ($y=a+bx$) entre los logaritmos del estímulo y las unidades probit, anglit o logit de la respuesta. Este ajuste recibe el nombre genérico de línea dosis-respuesta (Ldp).

Propiedades del ajuste de regresión

Forma de la recta

Si los valores de X^2 indican que los datos se ajustan bien a una línea recta, entonces podemos aseverar que la respuesta es del tipo normal. Cuando en los datos se observan escalones o plataformas, se infiere que la población es multimodal es decir que en realidad hay una mezcla de fenotipos que responden al insecticida de manera muy distinta entre ellos (Lagunes y Villanueva, 1994), o bien que se tienen problemas en la ejecución técnica del bioensayo.

Posición de la recta

Cuando se comparan dos líneas log dosis – probit, la línea que se encuentre a la izquierda de la gráfica corresponde a la sustancia más tóxica debido a que se requiere de menos dosis para matar al mismo porcentaje de individuos de prueba (Figura 1), a menos de que los límites fiduciales se traslapen.

Pendiente

La pendiente representa la proporción de cambio de Y (respuesta) asociado con una unidad de cambio en la variable independiente de X (estímulo). A mayor pendiente, la línea log dosis – probit será más vertical: indicando también que hay menor variabilidad en la respuesta al insecticida, es decir que en un rango de concentraciones muy pequeño se encuentra el cero y el 100% de respuesta (Figura 2). Un elemento a considerar al momento de hacer el análisis de la pendiente es que no necesariamente un alto valor de esta se relaciona positivamente con una baja CL50. Chilcut y Tabashnik (1995), encontraron que para 18 plagas sometidas a 25 plaguicidas distintos en la mayoría de los casos esta relación no se cumplió.

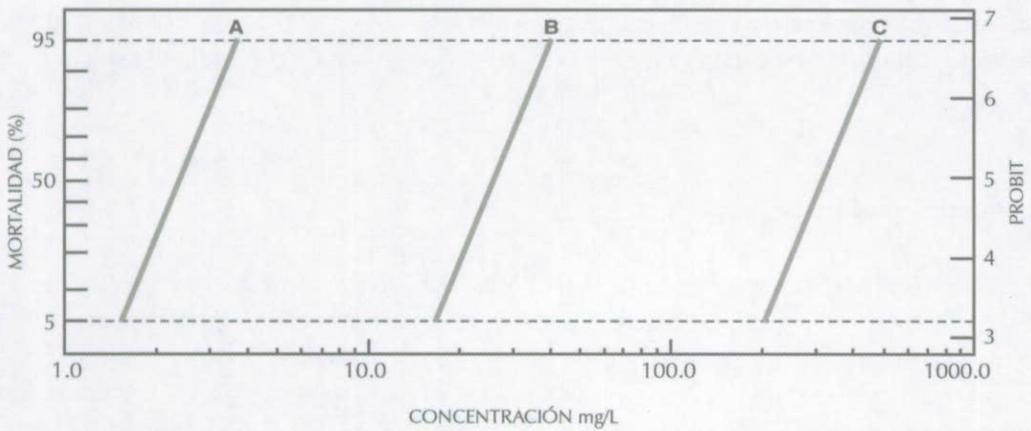


Figura 1. La posición de la recta y su relación con la toxicidad del insecticida. El insecticida representado por la línea A es más tóxico que el representado por la línea B y éste más tóxico que el representado por la línea C.

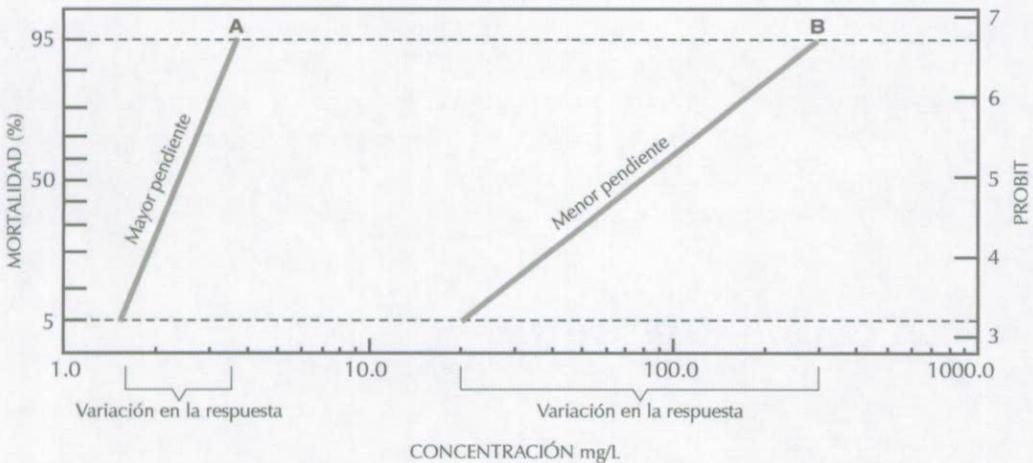


Figura 2. La pendiente de la recta y su relación con la amplitud de la respuesta al tóxico. En la línea A existe menor variación en la respuesta que en la línea B.

Dosis equitóxicas

Dos o más dosis son equitóxicas cuando producen el mismo nivel de respuesta. Por ejemplo, supongamos que tanto 10 mg Kg⁻¹ de permetrina como 100 mg Kg⁻¹ de paratión metílico matan al 50% (DL50) de los organismos de prueba; entonces decimos que ambas dosis son equitóxicas. Cuando los límites de confianza de dos dosis equitóxicas se traslapan, quiere decir que no son significativamente diferentes (Lagunes y Villanueva, 1994). Una dosis equitóxica es aquella concentración de tóxico a la cual se elimina una proporción de la población de insectos previamente determinada. Usualmente estos valores son de un 50% (CL50) o 90% (CL90). De

acuerdo a este criterio se considera como más tóxico a aquel compuesto que necesita de una menor concentración de tóxico para eliminar al porcentaje determinado de la población.

Línea de referencia

Los valores que se obtengan de DL50, DL95 en una población de campo son difíciles de interpretar debido a que no se sabe si existe o no expresión de genes de resistencia. Por tal motivo, es importante realizar de manera simultánea, bioensayos con una colonia de organismos de la misma especie que sea susceptible a insecticidas. Generalmente, la diferencia en respuesta que se obtenga entre los organismos de campo y los susceptibles se atribuye a la resistencia. En la mayoría de los casos esto es cierto; sin embargo, una buena parte de esas diferencias se pueden deber a características genéticas no asociadas a resistencia o diferencias de adaptación a condiciones de laboratorio donde se realizan los bioensayos.

El índice de resistencia (IR) nos permite estimar el nivel de resistencia de la población de campo, en comparación de su contraparte susceptible. Por ejemplo, supongamos que la población de campo tiene un valor de DL(90) de 1000 mg L⁻¹ y la contraparte susceptible de 10 mg L⁻¹. Entonces aplicamos la fórmula que a continuación se indica y obtenemos un índice de resistencia de 100 X; lo que significa que, en promedio, la población de campo requiere de una dosis 100 veces mayor para lograr el 90% de mortalidad, en comparación de los organismos susceptibles de referencia.

$$IR = \frac{DL50(90) \text{ Población de campo}}{DL50(90) \text{ Población susceptible}}$$

Este índice se compara con la siguiente escala:

Si Ri :

1-3x	Sensible
4-10x	Tolerante
>10x	Resistencia incipiente
>100x	Resistencia acentuada
>1000x	Alta resistencia

(Fuente: Ciba, 1991).

Prueba de bondad de ajuste

Para determinar la bondad de ajuste se hace necesario calcular la ji cuadrada (χ^2). Este estadígrafo indica el grado de ajuste de la respuesta a una línea recta (Miller, 1999). Si el valor de valor χ^2 observado es mayor al valor tabulado, entonces los datos no se ajustan

a una línea recta. Por lo tanto existen fallas en la realización del bioensayo o efectivamente no existe tal recta debido a la presencia de una mezcla de fenotipos con respuesta diferente al tóxico que se evalúa.

IDEAS FINALES

El bioensayo es una metodología rápida, eficiente y de bajo costo para la evaluación de las propiedades insecticidas de compuestos tanto sintéticos como naturales. Puede ser utilizado tanto en la búsqueda de nuevas moléculas, donde constituye el primer paso, como para programas de detección de la resistencia por parte de las plagas. Sin embargo, no se debe perder de vista que como toda metodología no es absoluta y existen una serie de factores que pueden alterar sus resultados por lo que debe manejarse con el mayor rigor científico posible de modo de disminuir el error experimental al máximo. Esta metodología constituye una útil herramienta en la toxicología y manejo de insecticidas y sin lugar a dudas con el tiempo se seguirá perfeccionando apareciendo nuevas metodologías más precisas y sencillas que nos ayudarán a tomar las decisiones correctas en el manejo racional de insecticidas.

LITERATURA CITADA

Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol* 18:265-267.

Busvine, R. J. 1971. A critical review of the technique for testing insecticides. Commonwealth Agricultural Bureaux. Slugh. UK. 345p.

Champ, B. R y C. E. Dyte. 1976. Informe de la prospección mundial de la FAO sobre la susceptibilidad de los insecticidas de las plagas de granos almacenados. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal N°5.

Chilcutt, C, B. Tabashnik. 1995. Evolution of pesticide resistance and slope of the concentration-mortality line: are they related?. *J. Econ. Entomol* 88(1):11-20.

Ciba Geigy. 1991. Entomología y control de insectos. Manual de uso interno. 187p.

Ebert, T. y F.R. Hall. 1999. Deposit structure on insecticide bioassays. *J. Econ. Entomol* 92(5):1007-1013.

FAO. 1974. Métodos recomendados para la detección y medición de la resistencia de plagas agrícolas a los plaguicidas. Boletín Fitosanitarios. Vol 22. 46p.

FAO. 1979. Métodos recomendados para la detección y medición de la resistencia de plagas agrícolas a los plaguicidas. Boletín Fitosanitario. Vol 27. 42p.

FAO. 1984. Recommended methods for the detection and measurement of resistance of agricultural pests to pesticides 32(1):25-27.

Ffrench-Constant, R y R. Roush. 1990. Resistance detection and documentation: the relative roles of pesticidal and biochemical assays. In: R. Roush y B. Tabashnik (Eds). Pesticide resistance in arthropods. Chapman and Hall. New York. USA. p 4-38.

Finney, D. 1978. Statistical method in biological assay. Charles Griffin & Company LTD. London. England. 508p.

Gil-Criado, A., y M. Muñiz. 1978. Nuevas transformaciones en experimentos biológicos basados en la respuesta cuantitativa. Bol. Ser. Plagas 4:89-229.

Infante, S y L. Calderón. 1994. Manual de análisis Probit. Centro de Estadística y Cómputo Aplicado. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Texcoco. México. 108p.

Lagunes, A y J. Villanueva. 1994. Toxicología y manejo de insecticidas. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Texcoco. México. 108p.

Lagunes, A y M. Vázquez. 1994. El Bioensayo en el manejo de insecticidas y acaricidas. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Texcoco. México. 159p.

Miller, T. 1999. Bioassay In: Insect Toxicology (ENT 128). [On Line] <http://web.ucr.edu/web/schools/CNAS/entm/tmiller/1/modules/page20.html>. Department of Entomology. University of California. Riverside. USA.

Robertson, J, K. Smith, N. Savin y R. Lavigne. 1984. Effects of Dose selection and sample size on the precision of lethal dose estimates in dose-mortality regression. J. Econ. Entomol. 77:833-837.

Robertson, J, H. Preisler, S. S. N G, L. Hickle y W. Gelernter. 1995. Natural variation: a complicating factor in Bioassays with chemical and microbial pesticides. J. Econ. Entomol. 88(1):1-10.

Rodríguez, J. C. 1996. ¿Cuándo Una población de artrópodos es resistente a plaguicidas?. Memoria VI Congreso Internacional de Manejo Integrado de Plagas. Acapulco. México p 136.

Rodríguez, C. 2000. Inhibición de la alimentación en insectos plaga. In: López, J, A. Aragón y M. Valera (Eds). Métodos de Investigación en Ciencias Ambientales. Publicación especial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla. México. p 75-97.

Rustom, A., B. Latorre y M. Lolas. 1989. Método para una correcta comparación de la efectividad de nuevos fungicidas In: Latorre B. (Ed) Fungicidas y Nematicidas. Avances y Aplicabilidad. p 149-164

Silva, G.A. Lagunes, J.C. Rodríguez y D. Rodríguez. 2002. Insecticidas vegetales; una vieja nueva alternativa en el manejo de plagas. Revista Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica). 66:4-12.

Thorne, J., D. Weaver y J. Baker. 1995a. Probit analysis: Assessing goodness-of-fit based on backtransformation and residuals. J. Econ. Entomol 88(5):1513-1516.

Thorne, J., D. Weaver, V. Chew y J. Baker. 1995b. Probit analysis of correlated data: Multiple observations over time at once concentration. J. Econ. Entomol 88(5):1510-1512.

EVALUACION DE INSECTICIDAS EN CAMPO

Pedro Casals Bustos

Pedro Casals Bustos

Departamento de Producción Vegetal
Facultad de Agronomía
Universidad de Concepción
Chillán. Chile.

INTRODUCCIÓN

Existen numerosos textos de estadística y diseño experimental (Cochran y Cox, 1964., Sokal y Rohlf, 1994., Price, 1997., Huffaker y Gutierrez, 1998., Pfadt, 1988., Schowalter, 2000., Binns *et al.*, 2000., Wayman, 2004) pero solo unos pocos discuten aspectos básicos útiles para la realización e interpretación de ensayos con plaguicidas. (Unterstenhoefer, 1963). Bleiholder, 1996.; Dent, 1997., Matthews, 1984, 199., Bautista y Díaz, 2001). Es el propósito de este capítulo mencionar algunos conceptos básicos que ayudarán a comprender la naturaleza y el objeto de algunos ensayos de campo y laboratorio destinados a evaluar la respuesta de los insectos a la aplicación de insecticidas.

RAZONAMIENTO

Para resolver un problema empleamos la lógica ya sea deduciendo, Razonamiento Deductivo, o induciendo, Razonamiento Inductivo.

El razonamiento deductivo va de lo general a lo particular. Dados algunos principios de control de plagas ¿qué respuesta es de esperar al aplicar determinada dosis de insecticida a una hectárea de un cultivo en particular? ; Se conoce la clave para separar los adultos de noctuidos de Chile ¿a qué familia pertenece uno colectado en Chillán?.

El razonamiento inductivo es opuesto al anterior. A partir de casos específicos llegamos a principios generales que serán aplicados a todos los miembros de la clase representada por dichos miembros. Va de lo particular a lo general. Dados los resultados de una serie de ensayos de control de insectos, ¿que recomendaciones generales se pueden hacer respecto a la utilización de los métodos de control empleados?. Dadas diferentes mariposas de una mariposa no descrita ¿como podríamos describir la mariposa como un todo y expresar su relación con otras especies en una clave?. Casi todos los problemas agronómicos son inductivos.

Todas las interrogantes mencionadas tienen algo en común, empiezan con un grupo de observaciones que se manejan en un experimento.

¿QUE ES UN EXPERIMENTO?

El experimento viene a ser una respuesta lógica a un ensayo que se realiza bajo ciertas condiciones conocidas, algunas manejadas por el experimentador y otras no. Las informaciones obtenidas serán máximas cuando se emplee el método apropiado según un plan determinado con fuerza probatoria en un rango de probabilidades de ocurrencia que tome en cuenta la variabilidad de los problemas biológicos naturalmente expuestos a grandes dispersiones.

El objeto de un experimento es suministrar un medio de realizar observaciones (muestreo probabilístico) que pueda utilizarse para formular generalizaciones plausibles acerca de la práctica objeto de estudio. Llegar a estas generalizaciones es un problema del razonamiento inductivo. Sin embargo las conclusiones inductivas deben ser comprobadas mediante métodos deductivos.

Para dilucidar la acción de los insecticidas se efectúan ensayos de laboratorio y de campo. El ensayo de laboratorio se efectúa bajo condiciones previamente elegidas. La temperatura y exposición así como la exclusión de viento y lluvia producen condiciones ambientales artificiales que se pueden variar selectivamente. En el ensayo de campo se presentan condiciones naturales y complejas que no pueden ser alteradas por el experimentador por lo que la metodología que se sigue es diferente a la de laboratorio. Los ensayos de laboratorio y de campo son complementarios.

En el desarrollo de insecticidas el ensayo de laboratorio es el medio inicial de investigación. Su importancia radica fundamentalmente en medir la eficacia insecticida de nuevas moléculas, su fitotoxicidad, efectos secundarios sobre otros organismos además de acción sobre insectos benéficos. De estos experimentos salen las dosis óptimas que deben ser corroboradas en el campo. El ensayo de laboratorio proporciona las bases para nuevas posibilidades de control mientras que el ensayo de campo las debe confirmar.

A veces en el campo ocurren resultados inexplicables de la acción de los insecticidas por lo que se hace necesario volver a la investigación de laboratorio para analizar e interpretar fenómenos como resistencia de las plagas a los productos, efectos sobre organismos benéficos y otras relaciones causa efecto que se observan mejor en condiciones simplificadas artificialmente.

El experimento se basa en un grupo de **observaciones**, generalmente en condiciones controladas y está sometido a **tratamientos** que son los factores objeto de estudio, se hacen variar sistemáticamente y se minimizan otros factores influyentes.

En todo experimento se usan los siguientes términos:

Unidad Experimental. Es el equivalente a **parcela** en los ensayos de campo. Unidad a la que se le aplican los tratamientos. Puede ser una hoja, un árbol, un área de terreno, un grupo de insectos.

Variable. Es la característica medible de una unidad experimental.

Variable Discreta(Discontinua).Número de plantas infestadas,número de insectos por hoja.

Variable Continua. Cualquier valor entre ciertos límites. Producción de granos, rendimiento de raíces.

Elemento. Mediciones individuales de una variable.

Población Estadística. Es el conjunto de mediciones o cálculos de una única variable tomado sobre todos los individuos que se ha especificado y pertenecen a la población.

Población Entomológica. Es un concepto impreciso que incluye al individuo que coloniza un área y a toda su población. Reconoce la naturaleza estocástica de la presencia de los individuos en un área, la probabilidad de la incidencia de sub-poblaciones en unidades agregadas y la heterogeneidad espacial y temporal de la distribución de los insectos.(Czaran y Bartha 1992).

Muestra. Conjunto de mediciones que constituye parte de la población. A partir de la muestra obtenemos información y hacemos inferencias acerca de la población.

Muestra al azar. Es aquella que en cualquier medición individual tiene tantas probabilidades de ser incluida como cualquier otra.

Parámetro. Describe las poblaciones. Son valores fijos. Por ejemplo la media aritmética de todos los componentes de una población.

Estadísticos. Características de una muestra. Se usa para estimar un parámetro

Frecuencia. Diferentes valores de una variable que inciden en una población.

Tabla de frecuencia. Cuando la muestra está formada por un gran número de observaciones es deseable resumir los datos en una tabla en la cual se indica la frecuencia con que ocurre cada valor numérico o cada una de las clases que representan. Los valores son clasificados de acuerdo con diversos intervalos de clases. Los totales pueden entonces ser marcados como frecuencia de ocurrencia para cada intervalo de clase y se construye un histograma de frecuencia.

DISTRIBUCIÓN NORMAL

La distribución de frecuencia más importante y común es la **distribución normal**. La curva es acampanada con su punto más alto cerca del medio y representa a la clase más común. Las otras clases se desvían simétricamente sobre cualquiera de sus lados a las clases más raras y las excepcionales en sus dos extremos.

Como es imposible conocer los valores absolutos y totales de una población recurrimos a tomar muestras y a partir de ellas inferir con cierto nivel de probabilidad los valores reales o *paramétricos*. Estos valores que técnicamente describen a las poblaciones son constantes e invariables por lo que se trabaja con la distribución de las muestras de una población poniendo énfasis en los requisitos de independencia de las unidades de muestreo. Hay que hacer notar que la repetición de los muestreos en igualdad de condiciones y circunstancias permite definir adecuadamente el concepto de probabilidad y desarrollar una teoría estadística válida. (Perry, 1997).

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL

Es prácticamente imposible contar todos los insectos en una población por lo que como se indicó anteriormente debemos tomar muestras, las que corresponden a una población de unidades de muestreo. Por ejemplo la población de áfidos en un cultivo de remolacha es el número total de pulgones presentes en toda el área sembrada con el cultivo y esta área está dividida en unidades de muestreo de igual tamaño. Es difícil obtener la información total de las unidades de muestreo por lo tanto se selecciona un grupo que es representativo del total y esto constituye la muestra. Casi siempre se trabaja con las **medias**(ξ) de las muestras.

$$\xi = \Sigma x/n.$$

Otras medidas de tendencia central de uso muy restringido en ensayos agrícolas son: la mediana que es el valor central cuando los elementos se agrupan en orden de magnitud y el modo o moda que es el valor de ocurrencia más frecuente. En una distribución normal, la media, la mediana y el modo son iguales.

MEDIDAS DE DISPERSIÓN

Desviación Estándar

Una medida de dispersión que toma en consideración la distancia ponderada de cada conteo con respecto a la media o centro de distribución. Es decir son los "desviados" de cada observación con respecto a la media. Cuando los "desviados" se elevan al cuadrado y se suman se obtiene la **varianza**(S^2) que es una medida estadística fundamental.

Error Estándar

Sería óptimo tener numerosos muestreos de tamaño n y a partir de ellos calcular directamente la desviación estándar de las medias, como esto no es posible se acostumbra estimar la desviación estándar de las medias a partir de una muestra obteniendo una colección de desviaciones estándares de las medias de las muestras que se denomina

error estándar. $S_m = S/\sqrt{n}$. Indica la cantidad de error en la media (ξ) cuando es usada para estimar la media real de la población. Hay un punto que diferencia la desviación estándar de los elementos y la desviación estándar de las medias de las muestras que es su relación con el tamaño de la muestra. La desviación estándar de las medias (error estándar) disminuye al aumentar el tamaño de la muestra mientras que la desviación estándar de los estimados permanece sin variación al modificar el tamaño de muestra.

Rango

Es la diferencia entre el número máximo y el mínimo. Depende solo de los valores en los extremos. Es de utilidad limitada.

Coefficiente de Variación

Una vez obtenida la desviación estándar como medida de la cantidad de variación de los datos deseáramos comparar las magnitudes de la desviación estándar de poblaciones semejantes y ver si la población A es más o menos variable que la B. Sin embargo cuando las poblaciones difieren apreciablemente en sus medias como por ejemplo si queremos comparar el número de individuos por planta de una población de áfidos versus una de larvas de escarabeidos en el suelo es obvio que las poblaciones de pulgones serán mayores que las de los coleopteros. Para comparar la cantidad de variación que existe en poblaciones con distintas medias se desarrolló el **coeficiente de variación (C.V.)**. Corresponde a la desviación estándar expresada como un % de la media general del experimento.

$$C.V. = S \times 100/\xi$$

Un concepto importante es el teorema del límite central: "Las medias de las muestras de una población normal se distribuyen normalmente, independiente del tamaño de estas muestras". Sin embargo a medida que aumenta el tamaño de la muestra (n) el valor x (estadístico) se aproxima al valor μ que es la media real de la población. Este teorema no impone ninguna restricción acerca de la distribución de las poblaciones de insectos que no siempre son normales o al azar (**Poisson**, $S^2 = \xi$; $S^2/\xi = 1$), sino que curtósicas y asimétricas. En otras palabras no son totalmente al azar sino que **binomiales negativas** en las cuales la media de la muestra puede ser sensiblemente afectada por unos pocos conteos de gran magnitud. Las muestras que se obtienen de poblaciones naturales de insectos generalmente tienen una varianza que excede a la media ($S^2 > \xi$; $S^2/\xi > 1$). Esto es de esperar ya que los insectos tienden a agregarse y su distribución no es homogénea por lo tanto los muestreos tendrán gran cantidad de individuos en algunos sectores y muy pocos en otros. En otras ocasiones los organismos están uniformemente distribuidos en el espacio especialmente cuando ocurre el fenómeno de territorialidad. Las muestras tendrán números más o menos semejantes independiente del lugar donde se las tome. Este es un caso de **distribución regular** y la varianza de la muestra será inferior a la media ($S^2 < \xi$; $S^2/\xi < 1$) (Czaran, y Bartha, 1992).

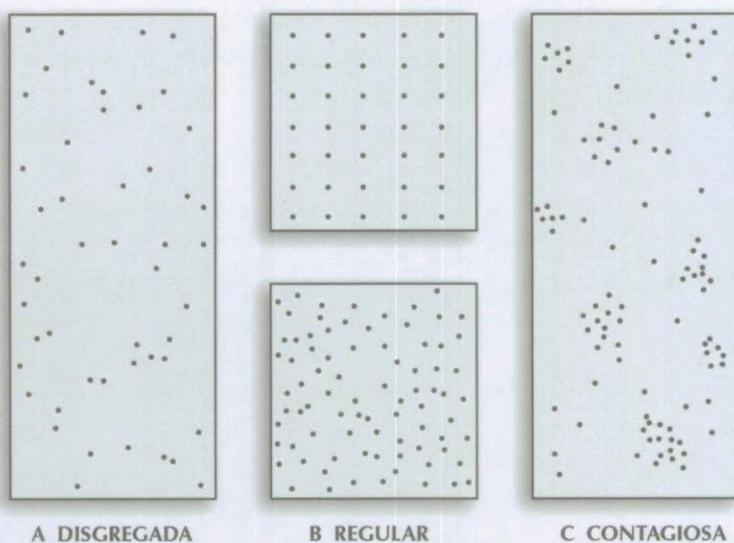


FIGURA 1. Las tres formas de distribución espacial de los insectos. (A) Disgregada (Azar), (B) Regular (arriba- forma ideal, abajo- forma normal), (C) Contagiosa. (Adaptado de Binns et al , 2000).

Indices de Dispersión

Al efectuar un estudio de la respuesta a la aplicación de plaguicidas debemos evaluar si existen cambios o diferencias en el número de individuos de un tratamiento o lugar a otro o de un tiempo a otro. Si deseamos conocer si la abundancia de las poblaciones es mayor en un sector no intervenido que en otro tratado con tóxico es necesario conocer la confiabilidad de las estimaciones poblacionales. Para conocer la confiabilidad de las estimaciones es necesario saber su grado de dispersión alrededor del promedio (media) es decir el error estándar o los intervalos de confianza pero para poder calcular estos estadísticos es necesario saber la distribución espacial de la población y su variabilidad. Esto permite: 1. Describir la distribución en términos matemáticos. 2. Estimar los errores en los parámetros poblacionales. 3. Comparar cambios espaciales y temporales en la densidad.

En general los conteos poblacionales no presentan distribución normal, como se indicó anteriormente, generalmente los insectos se encuentran agrupados ya que los recursos, especialmente alimenticios, están concentrados. Cuando las poblaciones son bajas su distribución más común es al azar. Cuando se tiene gran cantidad de muestras es posible utilizar métodos estadísticos paramétricos y cuando el número de muestra es bajo a veces es preferible usar una estadística no paramétrica. (Price, 1997., Lloyd, 1967).

Se han desarrollado **índices de dispersión** los cuales permiten medir el grado relativo de agregación de las poblaciones. (Schowalter, 2000). Algunos de los atributos de estos índices son, según Elliot (1977):

- a) Proveer valores reales y continuos para todo el rango desde la máxima regularidad de la distribución hasta la mayor agregación.

- b) No debe ser afectado por el tamaño de la unidad de muestreo(cuadrante), el número de unidades de muestreo(n), la media de la muestra(ξ) y el número total de la muestra(Σx).
- c) Fácil de calcular a partir de gran número de observaciones.
- d) Permitir las pruebas de significancia entre las diferencias de las muestras.

No hay ningún índice que cumpla a cabalidad con lo anterior pero los que se usan más frecuentemente se citan a continuación:

Razón de varianza : media

Esta prueba se basa en la igualdad de la varianza y la media en una serie de Poisson(Distribución al azar). La razón s^2 / ξ se aproximará a 1 si hay una concordancia con la distribución de Poisson. Este índice de dispersión a menudo es diferente de 1 y la significancia de estas dispersiones se evalúan mediante la prueba de X^2 . El valor de X^2 puede ser :

- Menor que lo esperado por lo tanto se sospecha una distribución regular($s^2 < \xi$).
- Mayor que lo esperado y se asume una distribución contagiosa ($s^2 > \xi$).

Los valores de X^2 para un nivel de significancia de 5% para varios grados de libertad se muestran en la figura 2 indicándose los rangos y áreas para cada una de las distribuciones. (Elliot 1977, Waters, 1959.). La prueba de varianza:media es buena para detectar distribuciones de Poisson pero no es suficiente para otras distribuciones puesto que está muy influenciada por el número de individuos en la muestra.(Elliot, 1977).

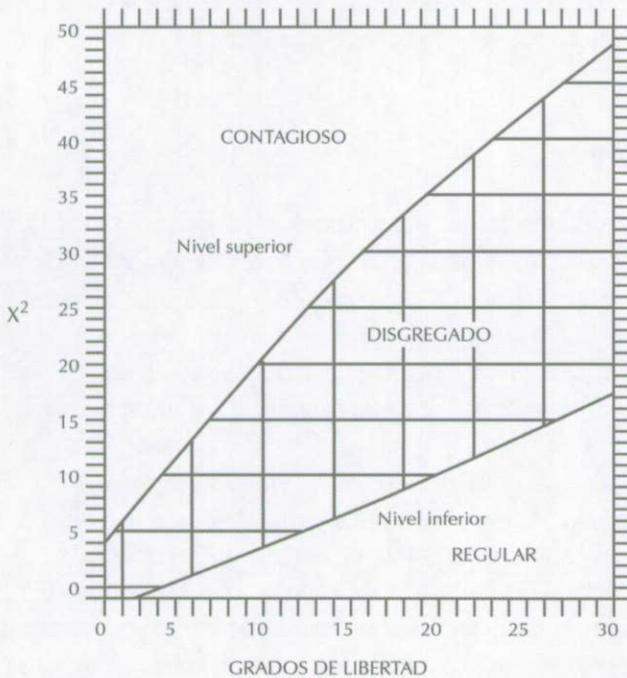


Figura 2. Niveles de significancia de X^2 al 5 % para determinar la dispersión de una población. (Elliot, 1977).

Valor de k en el binomial negativo

Cuando la varianza de la población es mayor que la media, esta población es agregada y la distribución matemática que mejor la describe es el binomial negativo. Muchos insectos se distribuyen de esta manera y se basa en la expansión de la serie de probabilidades $(q-p)^k$. Donde p es la probabilidad de encontrar un insecto ($p=\mu/k$) y q es la probabilidad de no encontrar un insecto ($1+p$) y k está relacionado con la distribución espacial y viene a ser un índice de dispersión. No es necesariamente un número entero y es inversamente proporcional al nivel de agregación por eso es más conveniente usar su recíproco $1/k$. A medida que $1/k$ se aproxima a 0 la distribución converge hacia una serie de Poisson (azar, disgregada) y a medida que se aleja de 0 hay una tendencia a la agregación. En la práctica k varía con la densidad media de la población y esto resulta obvio puesto que cambios en la densidad poblacional lleva a cambios en la dispersión. Cuando los insectos están pocos densos y esparcidos las posibilidades que un individuo esté presente en alguna de las unidades de muestreo es tan baja que la dispersión de la población es al azar o disgregada. A medida que aumenta la densidad y exista una tendencia a la agregación está es fácilmente detectable pero si la población sigue creciendo volverá a ser al azar y si crece aún más terminará siendo regular. Las desventajas de este índice son:

- no es independiente del número de unidades de muestreo (n)
- cuando existe distribución al azar puede variar de $+$ a $-$ infinito
- el valor de k está influenciado por el tamaño de la unidad de muestreo

Por lo tanto las comparaciones del nivel de agregación con este método son válidas cuando el número de unidades de muestreo y el tamaño de los cuadrantes de muestreo son los mismos en cada una de las muestras.

Ley de poder de Taylor

Este es un índice que a diferencia de los anteriores es independiente de la media de la muestra (\bar{x}) y del número total de individuos en la muestra ($\sum x$) pero es función del número de unidades de muestreo (n).

Taylor (1971) establece que la varianza de una población es proporcional a un poder fraccional de la media: $S^2 = a \bar{x}^b$ lo que equivale a $\log S^2 = \log a + b \log \bar{x}$.

Donde el $\log a$ es el intercepto que depende de la unidad de muestreo, b es la pendiente e índice de dispersión y ambos son estimados por simple regresión lineal. Es decir se calcula la varianza de las muestras a partir de un gran número de medias y se grafica el logaritmo de cada varianza versus el logaritmo de la correspondiente media. El inconveniente de este método es la gran cantidad de muestras que se necesitan para disminuir la variabilidad de b y hacerlo específico para cada especie y estado de desarrollo en varios lugares y densidades poblacionales y al mismo tiempo usar la ecuación de regresión como predictor de frecuencias poblacionales.

Cuando se requiera un análisis detallado del patrón de dispersión de una especie se puede usar el índice de Morisita (1959) o el índice de agregación de Lloyd (1967).

Transformaciones

Si queremos utilizar un análisis de varianza para procesar nuestros datos debemos cumplir con ciertos requisitos para que las pruebas de significancia sean válidas:

1. Que el error experimental esté distribuido normalmente y sea independiente de la media con una varianza común y estable.
2. La escala de medidas debe ser aditiva y lineal.

La heterogeneidad del error se caracteriza porque a pesar de la aleatorización en la distribución ciertos tratamientos tienen más variabilidad que otros y sin que aparezcan relaciones aparentes entre las medias y las varianzas. Es decir no se cumple el principio de la independencia de las medias y varianzas. Es el caso que se da en un ensayo de insecticidas en que el número de insectos en los tratamientos control o testigo es mayor y más variable que en las unidades experimentales tratadas con tóxicos. De esta manera las unidades sin control contribuyen en mayor grado al error que lo que lo hacen las parcelas tratadas.

En consecuencia la desviación estándar será muy grande para comparar entre insecticidas y fallará en la detección de diferencias reales entre ellos. En estos casos se puede omitir ciertas porciones de datos o subdividir el error para cada comparación que queramos establecer. Cuando la heterogeneidad se origina por falta de normalidad en la distribución de los datos, como por ejemplo cuando tenemos que comparar porcentajes, razones, tasas, insectos por redada, pulgones por hoja, estas variables derivadas se pueden transformar a una nueva escala de medida que los haga distribuirse normalmente. El objeto es hacer que las medias y las varianzas sean independientes y estas últimas además se homogenicen. La elección de la transformación correcta depende de la distribución original de la población y se muestra en el cuadro I.

Antes de efectuar las transformaciones es deseable dentro de lo posible examinar los datos para verificar si hay o no correlación entre las medias de los tratamientos y sus varianzas dentro de los tratamientos. Si la variación muestra pequeños cambios el valor de efectuar una transformación es dudoso. Cuando se tengan dudas acerca de la mejor transformación es recomendable usar varios métodos y adoptar el que demuestre la menor relación entre la media y la varianza. (Sokal & Rohlf, 1994).

Cuadro I. Transformaciones para distribuciones biológicas al azar, uniforme y contagiosa y distribuciones estadísticas Poisson, binomial negativa, binomial positiva. (Adaptado de Galindo-Leal, 2000).

DISTRIBUCIÓN ORIGINAL	DISTRIBUCIÓN NO CONOCIDA	TRANSFORMACIONES COMUNES	CONDICIONES
Poisson	$S^2 = \xi$	Reemplazar x por \sqrt{x}	Conteos >10 % 0-20% ó 80-100% Conteos 0 ó < 10
Poisson	$S^2 = \xi$	Reemplazar x por $\sqrt{x + 0.5}$	
Binomial Negativa		Reemplazar x por $\text{seno}^{-1} \frac{\sqrt{x + 0.375}}{k - 2(0.375)}$	k > 5
Binomial Negativa		Reemplazar x por $\log(x + k/2)$	k entre 2 y 5
Binomial Negativa		Arcoseno \sqrt{x}	Conteos fracciones o amplios rangos %
Binomial Negativa	$S^2 = \xi$	Reemplazar x por $\log x$	Conteos > 10 y sin valores 0
Binomial Negativa	$S^2 = \xi$	Reemplazar x por $\log(x + 1)$	Conteos > 10 y con algunos valores 0

PLANIFICACIÓN DE ENSAYOS

Continuamente están apareciendo productos para controlar las plagas y enfermedades de las plantas y nosotros debemos comprobar su acción en condiciones de campo. Estas varían de año en año y de un lugar a otro, la solución de este problema supone experimentos exactos cuyos resultados deben ser válidos para las diferentes condiciones que imponen el suelo, el clima y el manejo del cultivo. Por lo tanto debemos realizar ensayos exactos y dignos de confianza. Para estos efectos debemos separar los conceptos de exactitud y precisión. La exactitud está referida a la proximidad con su valor real de una cifra medida o computada y la precisión está relacionada con la magnitud de la diferencia que un experimentador es capaz de detectar entre dos o más tratamientos.

Antes de planear un ensayo es necesario conocer la biología, etología y epidemiología del artrópodo sobre el cual vamos a investigar su respuesta a uno o varios tratamientos. El objeto de nuestros estudios será llegar a conocer las verdaderas relaciones entre el plaguicida y el insecto u otro organismo que queramos controlar y prever con cierta probabilidad que el control de una plaga ocurre a un nivel de eficacia determinado y relacionado con cierta dosis.

Al planificar un ensayo el experimentador debe formular con precisión los objetivos y asegurarse que responden a las interrogantes planteadas. La revisión estadística debe enfatizar la reducción del error experimental es decir debemos aumentar la precisión, sensibilidad o cantidad de información obteniendo el máximo número de muestras posibles ya que a medida que n aumenta $S^2_{\bar{x}} = S^2/n$ disminuye. El tamaño de la unidad de muestreo afecta la distribución de las frecuencias de ocurrencia y depende de la distribución espacial de los individuos muestreados. A medida que aumenta el tamaño de la muestra la comparación entre las medias es más sensitiva y es capaz de detectar menores diferencias entre los resultados obtenidos en nuestros experimentos.

Cuando se requiere estudiar formalmente la efectividad biológica de uno o varios productos que implique conocer la certidumbre o margen de error de los resultados es necesaria una investigación que incluya un diseño experimental y una metodología estadística apropiada que permita obtener conclusiones científicamente válidas.

DISEÑOS EXPERIMENTALES

Según Mora y Rivas(2001) un diseño experimental es una disposición temporal y/o espacial de n -tratamientos, cada uno de los cuales debe aplicarse en forma repetida. Los objetivos son:

1. Permitir una comparación con criterios estadísticos(nivel de error) del efecto de tratamientos en uno o más atributos medidos en un grupo de individuos. En otras palabras determinaremos si existe alguna diferencia real entre las medias de nuestros tratamientos y estimaremos la magnitud de tales diferencias si es que existieran. Se usa frecuentemente la hipótesis nula la cual presupone con cierta probabilidad preasignada que los tratamientos no tienen efecto sobre la población.
2. Controlar las principales fuentes de error que se asocian a un proceso de medición. Las repeticiones nos aseguran los medios para calcular el error experimental y la aleatorización nos permite medir este error. Se deben realizar varias mediciones de la variable respuesta en distintas unidades experimentales sometida al mismo tratamiento(repetición). El mismo tratamiento debe tener la misma probabilidad de ser aplicado a cualquier unidad experimental (aleatorización).

Influencia recíproca de dos o más factores(interacción)

La efectividad biológica puede estar asociada a un tratamiento tal como un producto químico o una dosis de producto y el atributo que se mide puede ser la mortalidad de una especie de insecto o el daño inducido por una plaga a la cual se le aplicó el tratamiento.

Los tratamientos pueden ser productos o formulaciones nuevas aplicados en diferentes dosis cuyos efectos serán comparados entre sí y un tratamiento testigo sin aplicar o un

producto estándar que actuaría como testigo químico. La actividad es usualmente expresada en porcentaje de efectividad aplicando fórmulas que se verán más adelante o basándose en el grado de daño causado por el organismo cuya respuesta se mide. Se aprovecha también el ensayo para averiguar el tipo y grado de efectos secundarios que afectan al organismo controlado, la planta hospedera y otros organismos asociados o no al cultivo, especialmente enemigos naturales.

Todo diseño experimental supone la existencia de al menos tres condiciones experimentales que están bajo nuestro control:

a) tratamientos, que serían los plaguicidas.

b) unidades experimentales a veces llamadas parcelas, que serían la población de entes biológicos cuya respuesta se quiere medir y están ubicados sobre un hospedero en un área determinada. La unidad experimental puede ser una hoja, un árbol, un calendario de aspersión. El efecto de un tratamiento se mide sobre una unidad de muestreo que es una fracción de la unidad experimental. Así la unidad de muestreo puede ser toda la unidad experimental como por ejemplo una muestra al azar de hojas tomadas de un árbol asperjado o la cosecha de las 2 hileras centrales de una unidad experimental con 6 hileras.

c) variable respuesta que son los atributos medibles (mortalidad, daño) en las unidades experimentales.

Al establecer un diseño experimental surge la pregunta acerca de las estimaciones poblacionales, el tamaño, la forma y la disposición de las parcelas.

Estimaciones Poblacionales

Por lo general es imposible contar todos los individuos presentes en un ensayo de campo por lo que debemos estimarlas mediante un muestreo al azar con un cierto grado de precisión y así definir el número de muestras necesarias para la precisión estadísticas que nos hemos fijado.

La secuencia de pasos necesarios para obtener estimaciones poblacionales ha sido establecida por Caughley(1977):

I. Tipo de Muestreo. El muestreo puede llevarse a cabo utilizando métodos con parcelas o sin parcelas. Los métodos sin parcelas incluyen captura-recaptura, del vecino más cercano y otros. Cuando se utilizan parcelas estas pueden dividirse en cuadrantes, círculos, rectángulos. También se establecen muestreos en transectos que son efectivos cuando la distribución es agregada. Una discusión sobre estos métodos puede ser revisada en Southwood (1978), Matthews (1984) y Perry(1997).

2.-Muestreo preliminar al azar. Es esencial para obtener el promedio y la variabilidad de una población. Se basa en las siguientes estrategias:

Azar simple. Todas las unidades muestrales tienen la misma probabilidad de ser seleccionadas.

Azar estratificado. Se aumenta la eficiencia de muestreo dividiendo la zona de muestreo en áreas más pequeñas o estratos. La precisión depende de la intensidad del muestreo y de la variabilidad entre las unidades de muestreo. Se identifican áreas lo más homogéneas posible y dentro de ellas se escogen estratos más homogéneos que pueden estar separados. A menudo se escogen los estratos basándose en igualdad de tipos vegetacionales o habitats.

Muestreo estratificado. La primera unidad se escoge al azar pero las siguientes se eligen a un intervalo sistemático. Tiene la ventaja que es fácil de llevar a cabo y las muestras se distribuyen regularmente sobre toda el área. El inconveniente es que el error estándar puede ser erróneo si la población se distribuye con la misma regularidad que el intervalo de muestreo.

3. Determinar la variabilidad. El muestreo para obtener el tamaño poblacional se hace al azar y con el máximo número de muestras, así calculamos la desviación estándar (S) la varianza (S^2) y el coeficiente de variación ($C.V.$). Con estos datos podemos comparar la variabilidad de dos o más muestras y obtener el tamaño óptimo para los siguientes muestreos.

4. Determinar la distribución espacial. Como lo analizáramos anteriormente el conocimiento del patrón espacial o dispersión de una población es fundamental para definir el método de muestreo, transformaciones de los datos y análisis estadístico de una población. Se determina aquí la relación entre la varianza y la media. Los métodos empleados para detectar los patrones de dispersión ya fueron indicados.

5. Definir la precisión requerida. La precisión de la estimación poblacional depende de la magnitud de los cambios que queremos registrar. La precisión de la estimación se expresa en relación al error estándar o a los intervalos de confianza. Ya que los intervalos de confianza equivalen aproximadamente a dos errores estándar, la precisión de un error estándar de 10% de la media se traduce en intervalos de confianza del 20% de la media. Según Southwood (1978) para insectos que aumentan o disminuyen sus poblaciones entre 10 y 100 veces, la precisión de un error estándar de 20 a 25% de la media permite detectar indistintamente aumentos o disminuciones del doble o la mitad de la población.

6. Determinar el número de muestras. Depende de la precisión requerida la cual como se explicó recién se expresa como intervalos de confianza o error estándar. La distribución espacial de la mayoría de los insectos es agregada por lo que su variación es muy grande sobre todo en muestras pequeñas ya que el error es función del número de muestras, hay que tomar el máximo posible de ellas. Pero si sabemos la distribución de la población y toleramos un error de 20% de la media como lo recomienda Southwood (1978)

y conocemos x y S^2 de muestreos preliminares, podemos según Elliot(1977) determinar el número de unidades de muestreo. El cociente del error estándar sobre la media es un índice de precisión(D) y estaría dado por la siguiente fórmula general para una Muestra al Azar:

$$D = 0.2 = \text{error estándar/media} = 1/\xi + S^2/n; \quad n = 25 S^2 / \xi^2$$

$$\text{Poisson : } D = 1/\sqrt{n\xi}; \quad n = 25/\xi$$

$$\text{Distribución Binomial Negativa: } D = \sqrt{1/n\xi + 1/nk}; \quad n = 25(1/\xi + 1/k)$$

7. Hacer muestreo al azar. Una vez decidido el número de muestras de acuerdo a la precisión requerida se realiza el muestreo que puede ser al azar o combinación con sistemático. Lo importante es que los muestreos se puedan comparar, para lo que se necesita que sean todos lo más parecidos posibles, mismo número de muestras, equipos semejantes, igual esfuerzo.

8. Estimación de la media e intervalos de confianza. Una vez obtenida la media general a partir de los muestreos es necesario conocer la precisión de dicha estimación. Mientras mayor sea la varianza, error estándar y C.V. menor será la precisión de la estimación. A menudo se usan los intervalos de confianza en lugar del error estándar(Colegrave y Ruxton,2003), son más fáciles de interpretar ya que definen el valor más alto y el más bajo del rango dentro del cual se encuentra la verdadera media especificando cierto grado de probabilidad. Los intervalos de confianza dependen de la distribución de la población y del tamaño de la muestra.

TAMAÑO, FORMA Y DISPOSICIÓN DE LAS PARCELAS

Cuando realizamos ensayos fitosanitarios es difícil establecer reglas fijas ya que las condiciones cambian dependiendo del problema, de la localidad y año.

Como regla general unidades experimentales grandes muestran menos variación que las pequeñas. Las diferencias en el grado de ataque de las plagas tienen menor importancia a mayor tamaño de parcela. Sin embargo cuando estas unidades son muy grandes puede disminuir el número de repeticiones físicamente posibles. Las parcelas pequeñas permiten un mayor número de repeticiones. Cuando realizamos un ensayo sobre un cultivo en que el ataque ya existe el tamaño de la parcela puede establecerse sin dificultad ya que se dimensionan de acuerdo al número y distribución de la plaga. El problema se presenta en la prueba de métodos preventivos en las que no es posible determinar de antemano la densidad de ataque ni sus fluctuaciones.

Las decisiones acerca del tamaño de las parcelas son empíricas y basadas en experiencias de varios años en distintos cultivos y presión de plagas. La eliminación de la variabilidad individual de cada insecto y cada planta se consigue con un número suficientemente grande de individuos. Para obtener resultados exactos es necesario un número mínimo de ataque en plantas o partes de la planta y de individuos plaga que se presenten sobre ellas. En términos generales el tamaño mínimo de la parcela depende de:

- Especies de plantas, número por parcela y variabilidad genética
- Distribución y movilidad de la plaga, efecto vecinal o marginal
- Modalidad de cosecha, línea central, toda la parcela
- Equipo aplicador y cosechador

La exactitud de los resultados aumenta hasta cierto límite con el tamaño creciente de la parcela y después de ese tamaño óptimo no hay una relación lineal entre tamaño y disminución de error.

Hay tamaños mínimos recomendados para ensayos con plagas que afectan algunos cultivos y se mencionan a continuación. (Bleiholder, 1996; Unterstenhoefer, 1963.) :

Trigo	25 m ² (5 x 5)	Frejoles	25 m ²
Papas	15 m ²	Remolacha	25 m ²
Maíz	25 m ²	Manzanos	1 árbol
Vid	15 plantas	Hortalizas	10 m ²
Ornamentales	2, 5 m ² ó 10 plantas	Forrajeras	15 m ²

La forma de la parcela experimental es por lo general rectangular para compensar la heterogeneidad del suelo y su ancho se basa casi siempre en el de la máquina aplicadora del plaguicida o de la cosechadora. Pero esta forma no es la óptima en ensayo de productos fitosanitarios pues se aumenta el efecto de bordes y hay mayor contaminación por deriva de tóxicos cuando son aplicados con equipos de barra o de espalda. Por lo tanto, cuando se pueda, son preferibles las parcelas cuadradas. Esta forma, para una cierta variabilidad entre las unidades experimentales tiende a maximizar la variación entre bloques al mismo tiempo que minimiza la variación entre parcelas dentro de los bloques. Grandes variaciones entre bloques indican que su uso ha sido útil porque esta variación se ha eliminado del error experimental y no contribuye a las diferencias entre las medias de los tratamientos.

Cuando se investigan efectos de formulaciones sólidas al suelo o tratamientos de semillas la superficie puede ser pequeña pero si tratamos con aplicadores de espalda por lo menos necesitamos 100 m² a menos que usemos barreras antideriva. (Matthews 1984). Siempre se debe tomar en cuenta el efecto de bordes *marginal* (i.e. mayor infestación por insectos en las plantas del borde) y *vecinal* (i.e. propagación desde parcelas contiguas de insectos y plaguicidas) por lo que el área de muestreo debe estar situada en el centro de la parcela, alejada de los bordes. Un área experimental debe estar rodeada por un cultivo no experimental para reducir los efectos de borde o mantener la homogeneidad vegetal. Si la especie aleña es una fuente de infestación de insectos o patógenos debe recibir el manejo de plagas normal para el cultivo.

Para determinar el arreglo espacial o disposición de las parcelas más apropiado al tipo de experimento que se planea se debe estudiar el número y tipo de tratamientos y el número y grado de heterogeneidad de las unidades experimentales. Para reducir el error expe-

rimental se recurre al bloqueo que corresponde al área en que se disponen las parcelas. Dentro del bloque(repetición) las parcelas con los tratamientos se disponen al azar dependiendo del diseño experimental.

La diferencia más importante entre los diseños experimentales está en la forma en que se agrupan las unidades experimentales, el análisis de varianza utiliza las medias de estos agrupamientos y determina a un nivel de precisión previamente establecido si existe o no diferencia de al menos un tratamiento con respecto al atributo o variable medida. Nos permite verificar nuestra hipótesis experimental que puede ser la falta de efecto de los tratamientos: "hipótesis nula" o la hipótesis alternativa que al menos uno de los tratamientos tuvo efectos reales. Hay que resaltar que si la hipótesis nula no es rechazada y que concluyamos que no existen diferencias significativas entre las medias, no prueba que alguno de los tratamientos no produjo efectos. Siempre queda la posibilidad de que existió un efecto pero el experimento no fue lo suficientemente sensible para detectarlo al nivel de probabilidad establecido.

La disposición de las parcelas o unidades experimentales y su denominación como diseño experimental se ilustran a continuación:

a) Bloque al azar

4	4	6	5	8	3	2	1	7
3	3	5	1	6	3	7	4	2
2	8	2	3	4	1	7	6	5
1	1	2	3	4	5	6	7	8

b) Bloques completos al azar.
 Los tratamientos se asignan al azar a cualquier parcela experimental.

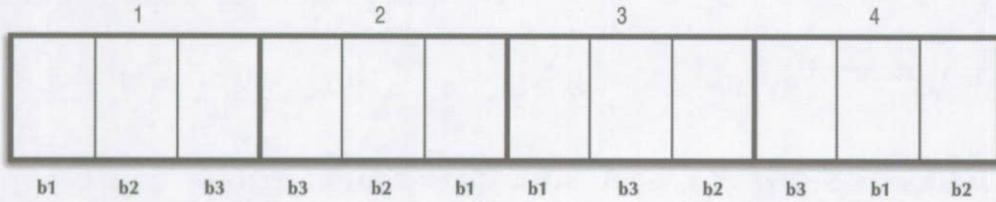
Ensayo con 8 tratamientos y cuatro repeticiones. Cada bloque contiene todos los tratamientos una vez y dentro del bloque los tratamientos se distribuyen al azar.

c) Cuadrado Latino

3	6	2	3	5	4	1
5	4	6	1	3	2	5
2	1	3	4	6	5	2
6	3	5	6	2	1	4
1	2	4	5	1	6	3
4	5	1	2	4	3	6

Cada tratamiento aparece una vez en cada bloque y en cada columna. Requiere tantas repeticiones como tratamientos así que no resulta práctico para ensayos con muchos tratamientos. Este diseño es más preciso que el de bloques al azar cuando existe una gran variación asociada a columnas.

d) Parcelas divididas



Bloques 1-2-3- 4 ; Insecticidas 3 = b1, b2, b3 ; Subparcela 2 fechas aplicación.

Se emplean frecuentemente con los arreglos factoriales. Los tratamientos de un factor se asignan a la parcelas principales (grandes) dispuestas en un diseño completo al azar, bloques completos al azar o cuadrado latino. Los tratamientos del segundo factor se asignan a subparcelas dentro del tratamiento principal. Este diseño si bien no es muy preciso para comparar los efectos de los tratamientos en la parcelas principales es efectivo para comparar los efectos de los tratamientos en las subparcelas y sus interacciones dentro de una parcela principal.

e) Arreglo Factorial

Bloques al Azar



Ensayo de 2 x 3 con 4 repeticiones. 2 fechas de aplicación y 3 productos.

11-12-13 = Fecha de aplicación 1 para productos a-b-c

21-22-23 = Fecha de aplicación 2 para productos a-b-c

Cuadrado Latino

		COLUMNA N°					
		1	2	3	4	5	6
BLOQUE N°	1	23	13	22	11	21	12
	2	21	23	12	22	13	11
	3	12	22	21	23	11	13
	4	22	11	23	13	12	21
	5	13	21	11	12	23	22
	6	11	12	13	21	22	23

Los arreglos factoriales utilizados en los diseños permiten un mejor uso de los recursos ya que cada factor puede ocurrir en diversos niveles y combinarse entre sí permitiendo cuantificar las interacciones entre ellos. Un factor representa una condición experimental que se evaluará en distintos niveles.

En resumen un diseño experimental es una disposición temporal y/o espacial de tratamientos que se repiten para controlar las principales fuentes de variación y permite comparar los efectos de tratamientos insecticidas u otros sobre una población de insectos u otros organismos.

PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA PARA COMPARAR MEDIAS

Cuando se termina el análisis de varianza y comprobado que el F calculado con un determinado grado de precisión, es mayor que el F de la tabla podemos rechazar la hipótesis nula, por ejemplo que todos los tratamientos ejercen un mismo efecto sobre una población de insectos. Se acepta entonces que al menos uno de los tratamientos obtiene una respuesta diferente a los demás y debemos determinar en forma precisa que tratamiento o tratamientos son los más efectivos y como se diferencian estadísticamente uno de otros con un nivel de error generalmente del 5%. Desgraciadamente estas pruebas no dan información concerniente a la magnitud de los efectos de cada uno de los tratamientos que puede ser el objetivo del experimento.

Diferencia Mínima Significativa (DMS)

Según Mora y Rivas(2001) es uno de los procedimientos de comparación de medias más usados en pruebas de efectividad biológica de productos en condiciones de campo. Es el método menos estricto para separar medias asociadas a tratamientos. A veces el valor de F para tratamientos no es significativo y no existe suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula por lo tanto no se deberían hacer comparaciones entre tratamientos específicos. La excepción está cuando se han programado comparaciones antes del experimento y este se ha diseñado de acuerdo a lo planeado. Por ejemplo cuando se tiene un tratamiento estándar con el cual se compararan nuevos productos para decidir si son mejores que el actualmente en uso en tal caso podemos usar la DMS. En general la prueba solo debe usarse cuando F es significativo y solo para comparar medias adyacentes dispuestas por orden de magnitud y para comparar un tratamiento estándar con otros tratamientos. No se debe usar indiscriminadamente para probar todas las posibles diferencias entre distintas medias.

Prueba de Rango Múltiple de Duncan

Esta prueba permite comparar todas las medias entre sí sin cometer los errores de una prueba de DMS puesto que asigna diferencias significativas según la proximidad(magnitud) de las medias que se comparan. El menor valor significativo lo tendrán las medias adyacentes y el mayor los extremos. Al igual que la DMS es una prueba menos exigente que las que discutiremos a continuación.

Prueba de Tukey

El procedimiento es similar a la DMS ya que usa un solo valor para determinar la significancia de todas las diferencias pero es mucho más sensible que los dos métodos anteriores ya que requiere que un 95% de nuestros experimentos no haya diferencia significativa si las medias son muestras homogéneas. El error en la determinación de la diferencia significativa se aplica a todo el experimento y no a los pares de comparaciones. La prueba se puede usar para obtener intervalos de confianza que también son pruebas de significancia entre medias.

Hemos mencionado las pruebas más comunmente usadas en estadística paramétrica aplicada a ensayos de plaguicidas. Existen otras pruebas de comparación de medias como *t*, Student-Newman-Keuls' (SNK), Scheffé, Dunnett, que pueden ser utilizados dependiendo del grado de control del error que tengamos en un diseño experimental. En experimentos bien diseñados y con antecedentes previos sobre la efectividad de los plaguicidas empleados podremos usar programas más estrictos como SNK o Tukey pero como ocurre en la mayoría de los casos los ensayos de campo presentan mucha variabilidad no controlada por lo que usamos comparaciones más liberales como DMS y Duncan.

Perry (1986) tiene una opinión disidente con respecto a las pruebas de significancia y sostiene que en general tienen un valor reducido en ensayos biológicos puesto que la significancia está relacionada con una probabilidad y no con la importancia biológica. El resultado de una prueba depende tanto del número de repeticiones como del tamaño del efecto estudiado. Añade (Perry, 1997) que muchas veces se sabe de antemano que una hipótesis nula es falsa pero se acepta su comprobación más por fines prácticos que teóricos. Critica este autor el uso masivo de paquetes estadísticos estilo recetario y su uso indiscriminado y poco crítico sin comprender los principios en que se basan los análisis de resultados y recomienda a los biólogos y entomólogos:

- Graficar los datos más a menudo.
- Evitar el uso rutinario de paquetes estadísticos y emplear más tiempo examinando sus datos.
- Buscar la consistencia de los resultados en el tiempo, lugares o situaciones.
- Confiar más en criterios propios para decidir acerca de los efectos de los tratamientos.

MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LOS PRODUCTOS FITOTERAPÉUTICOS

Los productos fitoterapéuticos pueden evaluarse de acuerdo a varios criterios dependiendo del insecto controlado, productos utilizados, efectos directos e indirectos, oportunidad y duración de la evaluación (Wayman *et al.* 2004).

En el desarrollo de técnicas de evaluación es importante que se realicen suficientes observaciones para que eventos poco usuales se tomen en cuenta. Ya no basta con registrar mortalidad de los insectos que deseamos controlar sino que también el efecto que se produce sobre otra artropodofauna asociada a la plaga y a la planta hospedera. Tampoco

es suficiente el número de individuos muertos a las 24 horas ya que hay productos antialimentarios que inhiben el estímulo fágico sin matar de inmediato al insecto, otros afectan a su progenie o disminuyen su capacidad reproductiva y sus efectos son a más largo plazo.

Unos de los aspectos importantes a considerar en el establecimiento de un ensayo es la necesidad de una alta densidad poblacional. Si por ejemplo el testigo tiene 100 individuos y el tratado 101 ó 99 la diferencia en eficacia va a ser de un 1 % que tal vez no sea efectiva y debemos comparar estos resultados con otros de ensayos similares efectuados en diferentes localidades o en años anteriores.

En esta oportunidad solo podremos describir a grandes rasgos algunos de los métodos usados para recopilar información que nos permita evaluar la acción de insecticidas.

I. Métodos Generales

a) Efectos sobre la planta. Hay algunos productos que pueden ser fitotóxicos así como otros que estimulan el crecimiento de las plantas. Debemos medir esta acción a partir de la siembra si es que los compuestos son aplicados al suelo .

Germinación. Porcentaje de emergencia por metro lineal o metro cuadrado dependiendo si se trate un cultivo en hilera o continuo.

Vigor. Existen índices de vigor(Maguire, 1961., Afinrud, 1984.) pero también y al igual que la emergencia se pueden establecer índices relativos con respecto al testigo. Se le puede otorgar el valor máximo al testigo o un valor medio que permita comparaciones en ambos sentidos. Por ejemplo en una escala de 1-10 se le otorga 5 al testigo y los tratamientos pueden ser más vigorosos que el testigo con una nota superior a 5 o menos con una nota inferior a 5.

Fitotoxicidad. Generalmente observada en el follaje para lo cual se usan escalas de 1-5 correspondiendo a 1 plantas sanas y a 5 aquellas que con respecto al testigo presentan mínima altura, acortamiento de nudos, poca densidad, decoloración intensa, clorosis máxima, deformaciones, necrosis, defoliación, caída de flores, atrofia de frutos. Las evaluaciones se hacen en porcentaje de plantas en cada una de las categorías es decir nos dan una idea de la frecuencia e intensidad del daño.

b) Rendimiento. Los componentes del rendimiento dependerán de la especie vegetal sobre la que se aplique el fitoquímico.

Cereales

Peso del grano(Kg/há) – Peso por hectólitro – Peso de mil granos – Peso de las espigas(g)
– Número de granos/ espiga.

Remolacha

Raíces limpias (tons/há) – Hojas y coronas(tons/há) – Número de Raíces(Nº/há) – Contenido de azúcar(% polarización) – Rendimiento Industrial(tons/há) – Azúcar al saco(tons/há)

Papas

Rendimiento de tuberculos(tons/há) - Contenido de almidón(%).

Maíz para grano

Rendimiento grano(tons/há) – Peso de mil granos(g) – Peso por hectólitro – Humedad(%).

Maíz para ensilaje

Mazorcas(tons/ha) – Materia seca planta(tons/ha)

Empastadas

Materia verde(tons/ha) – Materia seca (tons/ha)

Vid

Racimos(tons/ha) – Graduación alcohólica(°B) – Acidez(%)

Los rendimientos para frutales, hortalizas y ornamentales se basan en las calidades que se estratifican en clases, calculándose los valores absolutos y relativos(%) para cada clase.

2. Criterios Cuantitativos

Para evaluar la eficacia de un producto generalmente se omite el uso de un criterio comercial es decir se evita utilizar a los rendimientos como criterio único ya que estos están influidos por muchos factores difíciles de medir y a veces son el resultado de situaciones ocurridas mucho antes de la aplicación de insecticidas. Por lo tanto el valor de un producto biocida se expresa a menudo por su grado de eficacia que indica el porcentaje en que un compuesto puede reducir la intensidad de ataque o daños causados por organismos nocivos en comparación con un testigo no tratado. (Costa, 1974., Unterstehoefer, 1963).

a) Método de Abbott (1925).

Cuando se tiene una población de insectos uniforme antes de la aplicación es posible utilizar la siguiente fórmula:

$$\%Eficacia = \frac{\text{Individuos vivos en el testigo} - \text{Individuos vivos en el tratado}}{\text{Individuos vivos en el testigo}} \times 100$$

Esta fórmula al igual que las siguientes considera la mortalidad natural en el testigo no tratado.

b) Método de Schneider –Orelli (1947)

Semejante a Abbott pero toma en cuenta los individuos muertos es decir el éxito letal obtenido con los productos. En todo caso el resultado es idéntico a Abbott.

$$\% \text{ Eficacia} = \frac{\% \text{ muertos en ensayo} - \% \text{ muertos en testigo}}{100 - \% \text{ muertos en testigo}} \times 100$$

c) Método de Henderson y Tilton

Estos autores(1955) desarrollaron esta fórmula para determinar la eficacia de acaricidas pero también es posible utilizarla en insectos. Toma en cuenta la fluctuación natural de la población del testigo antes y después de la aplicación de productos.

$$\% \text{ Eficacia} = 100 \left(1 - \frac{N^{\circ} \text{ individuos después trat.} \times N^{\circ} \text{ individuos testigo antes trat.}}{N^{\circ} \text{ individuos antes trat.} \times N^{\circ} \text{ individuos testigo después trat.}} \right)$$

d) Método de Sun y Shepard.

Las fórmulas anteriores consideran de una manera incompleta la disminución o aumento natural de las poblaciones en estudio. Esto ocurre a menudo con insectos que se reproducen rápidamente o las poblaciones varían por migraciones. Luego el grado de ataque será mayor que la población inicial y por lo tanto negamos el efecto letal del producto y le atribuimos propiedades de estímulo poblacional. Hay algunos pulgones que duplican sus densidades en 24 horas(Dixon, 1993) lo que llevaría a obtener resultados erróneos del grado de eficacia de un producto al subvalorarlo. Sun y Shepard(1947) han tratado de corregir estas diferencias poblacionales mediante su fórmula:

$$\% \text{ Eficacia} = \frac{P_t \pm P_{ck}}{100 \pm P_{ck}} \times 100$$

P_t = mortalidad en % de acuerdo con el numero de insectos vivos antes de la aplicación y después de la aplicación en el tratamiento.

P_{ck} = % de aumento(+) o disminución(-) de la población en el testigo

El grado de eficacia de los productos insecticidas u otros debe estar asociado con los niveles críticos permitidos para cada insecto sobre una especie vegetal determinada. Por ejemplo en remolacha el nivel crítico para *Myzus persicae* Sulz. es de 1 individuo áptero por 5 plantas. Si la población antes de la aplicación es de 1000 individuos /5plantas y la eficacia de 99% quedarán 10 individuos/ 5 plantas pero si la población antes es de 100

áfidos/ 5 plantas sobrevivirá 1 individuo/ 5 plantas. Justo en el nivel crítico. En tales casos se usan las cifras absolutas como criterio y como referencia para determinar la eficacia del producto la capacidad del compuesto para disminuir la población a niveles inferiores a los críticos.

e) Método de escala de ataque

A veces no es posible obtener datos cuantitativos precisos y los derivamos de escalas asociadas a grados de eficacia. Podemos así obtener la frecuencia e intensidad de daños en un cultivo. Bleiholder (1996) propone una evaluación del ataque de daño causado por larvas de lepidópteros en el follaje tomando plantas al azar y visualmente asignándoles una clasificación de daño.

CLASE	ATAQUE	FACTOR
1	Sin ataque	0
2	< 10 % de la superficie de la hoja dañada	0,1
3	10-30 % de la superficie de la hoja dañada	0,3
4	31-50 % de la superficie de la hoja dañada	0,5
5	51-70 % de la superficie de la hoja dañada	0,7
6	> 70% de la superficie de la hoja dañada	1,0

La frecuencia en porcentaje del ataque se calcula:

$$\frac{CI\ 2 + CI\ 3 + CI\ 4 + CI\ 5 + CI\ 6}{CI\ 1 + CI\ 2 + CI\ 3 + CI\ 4 + CI\ 5 + CI\ 6} \times 100$$

La intensidad del ataque en porcentaje se calcula:

$$\frac{CI\ 2 \times 0,1 + CI\ 3 \times 0,3 + CI\ 4 \times 0,5 + CI\ 5 \times 0,7 + CI\ 6}{CI\ 1 + CI\ 2 + CI\ 3 + CI\ 4 + CI\ 5 + CI\ 6} \times 100$$

Hay que considerar que estos valores tienen una validez limitada en el tiempo ya que las hojas como respuesta al ataque crecen o se reemplazan por otras nuevas.

Algunos autores (Solomon, 1955., Pfadt, 1988., Dent y Walton 1997., Huffaker y Gutierrez, 1998.) proponen no usar la mortalidad como criterio para evaluar prácticamente la efectividad de un insecticida sino que determinar el tiempo transcurrido hasta que la población alcance una densidad compatible con lo que estemos económicamente dispuestos a soportar

Hay muchos métodos y criterios que pueden ser seleccionados para evaluar plaguicidas en el campo aquí solo hemos dado algunos ejemplos para ilustrar las bases detrás de ellos. El objetivo de cada estudio influirá en el criterio seleccionado pero el aumento de los costos para investigar tiende a que los estudios sean simples y estandarizados dejando de lado evaluaciones de interacciones más complejas como las que se producen entre los plaguicidas y poblaciones tolerantes, enemigos naturales, resistencia de plantas hospedadas, cultivos transgénicos por citar algunas.

LITERATURA CITADA

Abbott, W.S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*. 18, 265-267.

Afinrud, M.N., A.A. Schneiter 1984. Relationship of sunflower germination and vigor tests to field performance. *Crop Science* 24: 341-344.

Bautista N. y O. Díaz (editores). 2001. Bases para realizar estudios de efectividad biológica de plaguicidas. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco. Mexico. pp. 1-28.

Binns, M.R. , W. Van Der Werf, J. P. Nyrop. 2000. Sampling and Monitoring in Crop Protection: The Theoretical Basis for Designing Practical Decision Guides. CABI Publishing, CAB International. 295 p.

Bleiholder, H. 1996. Métodos de planeamiento y valoración de ensayos de campo con pesticidas. BASF. 397 p.

Caughley, G. 1977. Analysis of vertebrate populations. John Wiley and Sons. London. 228 p.

Cochran, W.G. y G.M. Cox 1964. Experimental design. John Wiley & Sons, N.Y. 617p.

Colegrave, N. and Ruxton, G.D. 2003. Confidence intervals are a more useful complement to nonsignificant tests than are power calculations. *Behavioral Ecology* 14(3):446-447.

Costa, J.J., A.E. Margheritis, O.J. Marsico 1974. Introducción a la terapéutica vegetal. AID. Centro Regional de Ayuda Técnica. Hemisferio Sur. Buenos Aires. pp. 292-295.

Czaran, T., S. Bartha. 1992. Spatiotemporal dynamic models of plant populations and communities. *Trends in ecology and Evolution* 7(2):38-42.

Dent, D. R., M. P. Walton(editores) 1997. Methods in ecological & Agricultural Entomology. CAB International, U. K. 387 p.

Dixon, A.F.G. 1993. Biology of aphids. Camelot Press Ltd. London. 58 p.

Elliot, J. M. 1977. Statistical Analysis of samples of benthic invertebrates. Freshwater biological association. Scientific Publication 25. 157 p.

Henderson, C. F., E.W.Tilton 1955. Test with acaricides against the brown wheat mite. *Journal of Economic Entomology*. 48, 157-161.

- Huffaker, C. B. (Editor), A. P. Gutierrez (Editor), 1998.** Ecological Entomology, 2ª Ed. John Wiley & Sons, N.Y. 776 p.
- Lloyd, M. 1967.** Mean crowding . J. Anim. Ecol. 36, 1-30.
- Matthews, G.A. 1984.** Pest Management. Longman House. Essex. England. 231 p
- Matthews, G.A. 1999.** Application of Pesticides to Crops. Imp. College Press. 300 p.
- Maguire, J.D. 1961.** Speed of germination and evaluation for seedling emergence and vigor . Crop Science 2(13):176-177.
- Morisita, M. 1959.** Measuring the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser E. Biol. 2, 215-235.
- Mora, G., P. Rivas, 2001.** Análisis estadístico de estudios de efectividad biológica de plaguicidas, en Bases para realizar estudios de efectividad biológica de plaguicidas.
- Perry, J.N. 1986.** Multiple comparison procedures : a dissenting view. Journal of Economic Entomology 79, 1149-1155.
- Perry, J.N. 1997.** Statistical aspects of field experiments in Dent & Walton. Methods in ecological and agricultural entomology. pp.171-201).
- Pfadt, R.W. 1988.** Fundamentals of Applied Entomology. 4ª Ed. R. B. Pearson Education, POD. 351 p.
- Price, P.W. 1997.** Insect Ecology. 3ª Ed. John Wiley & Sons. 874 p.
- Schowalter, T. D. 2000.** Insect Ecology: An Ecosystem Approach. Academic Press. N.Y. 496 p
- Schneider-Orelli, O. 1947.** Entomologisches Praktikum. 2ª Ed. Aaru. 89 p.
- Southwood, T.R.E. 1978.** Ecological Methods. Chapman and Hall, London. 524 p.
- Sokal, R.R., F. James Rohlf . 1994.** Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research. 3d ed. W H Freeman & Co. 329 p.
- Sun, Y., H.H. Shepard. 1947.** Methods of calculating and correcting the mortality of insects. Journal of Economic Entomology. 40, 710-715.
- Taylor, L. R. 1971.** Aggregation as a species characteristics. In Statistical Ecology V. I G.P. Patil ed. Pp. 357-372. Penn. Sta. Univ. Press.
- Unterstenhoefer, G. 1963.** Las bases para ensayos fitosanitarios de Campo. Bayer Pflanzenschutz, Leverkusen. 176 p.
- Wayman, J., A. Jain., D. Maltoni., D. Maio. (editores) 2004.** Biometric Systems: Technology, Design and Performance Evaluation. Springer Verlag. 304 p.
- Waters, W.E. 1959.** A quantitative measure of aggregation in insects. J. Econ. Ent. 52:1180-84.

MANEJO DE INSECTICIDAS EN AMBIENTES URBANOS

Hussein Sánchez Arroyo

Hussein Sánchez Arroyo

Programa de Entomología y Acarología
Instituto de Fitosanidad
Colegio de Postgraduados
Montecillo. México

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha incrementado en proporciones significativas el uso de plaguicidas en áreas urbanas. Este incremento se relaciona en forma significativa con los cambios ocurridos en la distribución de la población en el mundo. En 1983, Long y DeAre reportaron que la mayor parte de la población vivía en zonas urbanas. Sólo en Estados Unidos de Norteamérica el 70 % de la población vive en áreas metropolitanas y se espera que en el año 2020 más del 50% viva en estas áreas (Horiuchi 1992). Al concentrarse la población mundial en áreas urbanas, en general aumenta la preocupación acerca de los riesgos que pueden tener los plaguicidas no sólo en la salud humana, sino también en el ambiente y fauna silvestre (Peterson 2000 y Potter y Bessin 1998). Esto puede deberse en gran medida a que en estas áreas existe una mayor percepción de la gente sobre el uso de plaguicidas para combatir diversos tipos de organismos, así como existen diversidad de opiniones acerca de si son plagas o no. Mientras que para un sector de la población los perros, gatos y aves, por ejemplo, son plagas, para otros, son animales muy apreciados como mascotas.

El concepto de plaga, así como su manejo, desde el punto de vista urbano es completamente diferente del que se le da en condiciones agrícolas, pecuarias y forestales. Mientras que en la agricultura, en general, el control y el manejo de plagas radican en principios económicos, en áreas urbanas el control de plagas se hace con el fin de conservar la salud y el bienestar del hombre, aunque con frecuencia también se utilizan valores estéticos, los cuales tienen valoración individual. Los principales problemas de plagas urbanas se relacionan con organismos que afectan al hombre o que se encuentran en los alrededores o dentro de las zonas que habita. El incremento en la capacidad de movilidad de la población humana ha ocasionado que organismos que viven o frecuentan áreas recreativas también se conviertan en plaga. A lo anterior se debe agregar la preocupación que actualmente tiene la población por las alergias producidas por varios tipos de artrópodos (Stelmach *et al.* 2002 y Sidenius *et al.* 2001), así como las parasitosis imaginarias que llegan a requerir intervenciones médicas y tomar acciones de control (Hinkle 2000). Finalmente, existe una parte de la población que tiene mascotas no convencionales como las arañas, alacranes y algunas especies de cucarachas, organismos que pueden llegar a convertirse en plagas (Thomas 1995).

Entre 1940 y 1960 la mayor parte de los plaguicidas que se aplicaban eran residuales, y entre ellos estaban el DDT, mirex y clordano. Existían otros productos de menor residualidad, pero generalmente tenían amplio espectro (sobre todo organofosforados y carbamatos). Actualmente estas dos características ya no son los atributos que se buscan en insecticidas que se usan en áreas urbanas ya que ahora, en general, los productos son menos persistentes. Una característica adicional que tienen los productos urbanos es que son más tóxicos para insectos y más seguros para humanos, fauna silvestre y medio ambiente. En los últimos años han entrado al mercado de plagas urbanas nuevas clases de insecticidas con diferentes modos de acción, combinados con nuevas formulaciones y presentaciones. Adicionalmente al desarrollo de moléculas nuevas, existe disponibilidad en el mercado de compuestos altamente específicos para insectos o artrópodos plaga, tales como feromonas, y además se han vuelto a formular ingredientes activos muy seguros que se usaron hace más de 25 años, como es el caso de los reguladores de crecimiento y compuestos derivados de los boratos. Todo esto, combinado con formulaciones específicas a dosis bajas o presentaciones de los productos a prueba de niños o animales domésticos, ha hecho que la gama de opciones químicas para combatir plagas urbanas sea muy grande. Entre las formulaciones más novedosas se encuentran los cebos, que han tenido un gran desarrollo en los últimos diez años y debido a sus ventajas sobre otras formulaciones, son la principal herramienta en ambientes sensibles cuando se requiere utilizar un plaguicida.

En general, el ingreso al mercado de moléculas nuevas con características menos agresivas contra humanos y medio ambiente se relaciona estrechamente con las restricciones impuestas por la Agencia para la Protección del Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés) para su uso y registro (EPA 2002). Para que se autorice el registro de un nuevo plaguicida se debe mostrar evidencia razonable de que no produce daño; esto incluye la exposición no ocupacional (plaguicidas en alimentos, agua potable y uso de plaguicidas en el hogar). Estas regulaciones han traído como consecuencia sistemas de manejo integrado de plagas en áreas urbanas y entre ellos se encuentran los que se aplican en edificios públicos y en plantas ornamentales en ciudades (Fischer *et al.* 1999 y Greene y Breisch 2002). A nivel local, en los países latinoamericanos existen agencias ambientales que usan el modelo de Estados Unidos para autorizar el uso de plaguicidas, y eventualmente tendrán mayor impacto en la implementación de sistemas de manejo de plagas.

Es conveniente señalar que el manejo de insecticidas en áreas urbanas se hace en forma completamente diferente de como se practica en áreas agrícolas. Cuando un organismo es resistente a un grupo de insecticidas, lo más probable es que desarrolle resistencia más rápidamente a grupos nuevos de insecticidas que tengan modo de acción similar o que tengan rutas de desactivación semejantes.

El manejo de insecticidas en áreas agrícolas fue un concepto que consideraba inicialmente el desarrollo de procedimientos en los que se alternaba el modo de acción de los plaguicidas. Se esperaba que el uso continuo de un plaguicida generara resistencia en la población expuesta, pero manejar los insecticidas implicaba tener la posibilidad de predecir el mecanismo involucrado. Dicho de otro modo, se necesitaban saber los procesos metabólicos o no metabólicos que eran afectados en la plaga, para que con ese conocimiento se ofrecieran,

eventualmente, opciones de control cuando una población se volvía resistente. Conocer estos márgenes de resistencia es muy importante, sobre todo en las etapas iniciales, porque cuando un 5-10 % de la población se vuelve resistente puede ser un indicio de que el problema de resistencia es muy grave (Hoy 1995). Los mejores sistemas de manejo de insecticidas que se han implementado, han ayudado a retrasar la resistencia, pero no a evitarla.

En áreas urbanas, en general, el desarrollo de la resistencia se evalúa o se le da seguimiento en muy pocos casos y se toman medidas concretas sólo cuando se tienen problemas que son difíciles de resolver con el uso exclusivo de insecticidas. Actualmente quien practica el control de plagas urbanas tiene la idea empírica de que el uso continuo de plaguicidas genera resistencia, por lo que en donde se han implementado sistemas de manejo de plagas serios (como es el caso de la industria alimentaria, cadenas grandes de restaurantes y hoteles, por citar algunos ejemplos), generalmente el responsable de mantenimiento de la empresa ayuda a vigilar que se respeten estos procedimientos. En el manejo de plagas urbanas se trata a nivel particular cada caso que se presente y puede considerar la rotación de plaguicidas de manera semejante a como se hace en áreas agrícolas. Esto es razonable debido a que los sitios bioquímicos de acción de los insecticidas en los insectos no difieren significativamente si la plaga es agrícola o urbana. Sin embargo, la forma en que se pondrá en práctica el manejo de la plaga dependerá del lugar, tipo de instalaciones, necesidades del cliente, y también del uso que se le dará a un producto final. Los problemas y la frecuencia con la que éstos se presentan en una industria harinera serán muy diferentes de los que ocurren en un restaurante, una bodega de cereales o una bodega de producto terminado para consumo humano. Del mismo modo, las técnicas que se seguirán para resolver estos problemas serán diferentes, pero es claro que la población demanda cada vez más el uso de métodos diferentes o alternativos al uso de plaguicidas. Esto ha hecho que el número de insecticidas que se pueden utilizar en la industria que procesa alimentos sea muy reducido y que las empresas de mayor envergadura estén implementando a gran escala métodos físicos tales como el uso de calor o bióxido de carbono que tienen la ventaja adicional de que pueden funcionar contra plagas no insectiles (Mueller 1998).

GRUPOS DE INSECTICIDAS Y MODOS DE ACCIÓN

El uso de insecticidas organosintéticos en áreas urbanas siguió las mismas tendencias que los insecticidas que se utilizan en la agricultura. Lo más común era que la disponibilidad comercial de los insecticidas fuera consecuencia del descubrimiento de sus propiedades insecticidas y de un proceso de registro en el que no existían regulaciones estrictas. A partir de 1940 se utilizaron en gran escala el DDT y otros insecticidas organoclorados, tanto en áreas agrícolas como urbanas. Los organofosforados y los carbamatos entraron al mercado en la década de los 50 (Matsumura 1985). El grupo de los piretroides estuvo disponible comercialmente a finales de la década de los 70 (Elliot 1989); debido a su característica de ser tóxicos para los insectos a dosis muy bajas, y seguros para los mamíferos, actualmente se siguen desarrollando moléculas que tienen potencialidad en la industria de plagas urbanas. Adicionalmente a estos cuatro grupos de insecticidas, se han desarrollado

insecticidas que pertenecen a grupos pequeños, como los reguladores de crecimiento, cloronicotinilos, fiproles, avermectinas, espinosinas, pirroles y bacterias, entre otros. A partir de 1980 ha habido un desarrollo más dirigido a necesidades particulares por lo que existen formulaciones específicas para áreas urbanas, y se han desarrollado algunos ingredientes activos específicamente para este mercado. Son contados los productos que se han desarrollado con el propósito de que se utilicen en áreas urbanas y entre ellos se encuentran al bendiocarb y a la hidrametilona.

Tradicionalmente, los insecticidas se clasifican de acuerdo al grupo químico del que se originaron, pero desde el punto de vista del riesgo en humanos, así como por el sitio de acción en la plaga, es más conveniente que se agrupen de acuerdo al sistema biológico que afectan, ya que permite tener una mejor visión de la posible ruta por la que se desarrollará resistencia y también permiten evaluar la posibilidad del riesgo en humanos, fauna silvestre y medio ambiente. El ataque a un mismo sistema biológico aumenta la posibilidad de desarrollo de resistencia hacia un mecanismo específico que puede involucrar a varios insecticidas o grupos químicos, y como consecuencia hacerlos inefectivos en períodos cortos de uso.

El sistema biológico de la plaga que ataca el insecticida, comúnmente es compartido por los humanos y otros mamíferos, por lo que si los humanos se exponen con cierta frecuencia a productos que comparten el mismo mecanismo de acción se tiene un mayor riesgo de intoxicación. Esto ocurre debido a que dentro del organismo se suma el efecto de los diferentes insecticidas ya que los tejidos donde ocurren las reacciones metabólicas no diferencian entre ambas moléculas. Esta consideración es la que se tomó en cuenta cuando la Food Quality and Protection Act (1996) revisó los registros vigentes de plaguicidas y estableció límites más estrictos, y asimismo requirió estudios adicionales de toxicología y efectos secundarios del plaguicida. En áreas urbanas esta situación es crítica debido a que la población puede estar expuesta sin darse cuenta a una gran diversidad de productos. Por lo anterior, a continuación se describen brevemente los grupos de insecticidas tomando en consideración el sistema biológico que afectan.

INSECTICIDAS QUE AFECTAN EL SISTEMA NERVIOSO

En el grupo de los insecticidas que afectan el sistema nervioso se encuentran los organofosforados, carbamatos, piretrinas, piretroides, lactonas macrocíclicas, cloronicotinilos y fiproles. Estos insecticidas afectan al axón de la neurona o a la sinapsis y su acción puede estar relacionada con el cambio de polaridad del axón, con la inhibición de los transmisores químicos o con la interferencia de los receptores en la membrana postsináptica.

Organofosforados y carbamatos

Los organofosforados inhiben la acetilcolinesterasa, la cual es una enzima responsable de degradar el neurotransmisor acetilcolina en las sinapsis de las neuronas una vez que se ha

transmitido el impulso nervioso. Esta inhibición es irreversible y ocasiona la acumulación de acetilcolina entre las uniones neurales o neuromusculares. Como consecuencia de la actividad continua del neurotransmisor, ocurre la pérdida de coordinación nerviosa y una eventual tetanización (Matsumura 1985). Los carbamatos se comportan de manera semejante a los organofosforados en los sistemas biológicos, pero tienen dos diferencias importantes. La primera es que son fuertes inhibidores de la aliesterasa y presentan selectividad contra la acetilcolinesterasa de algunas especies. La segunda diferencia es que la inhibición de la enzima por carbamatos es reversible.

Los organofosforados pertenecen a un grupo químico que tiene gran cantidad de moléculas en el mercado y que están disponibles en prácticamente todas las formulaciones desde hace más de 50 años. En los últimos quince años se han formulado microencapsulados y cebos, lo que permite reducir la toxicidad de manera significativa y, a la vez, aumentar la residualidad. Entre algunos de los ingredientes activos de este grupo que se encuentran disponibles en áreas urbanas están acefate, diazinón, malatión, propetanfós, tricloflón, diclorvós y clorpirifós. La legislación local de los países de Latinoamérica puede hacer que varíe la disponibilidad regional de estos insecticidas. Hasta el año 2000, los organofosforados han sido los productos más utilizados en el mercado de control de plagas urbanas y se espera que su uso en países de Latinoamérica no sea afectado en una forma importante en los próximos años, lo que ayudará a la industria del control de plagas ya que son compuestos muy efectivos contra una gran cantidad de plagas y presentan baja toxicidad para humanos, además de ser económicos.

Algunas moléculas de carbamatos que se utilizan en zonas urbanas son propoxur, carbaril y bendiocarb. El propoxur y bendiocarb son efectivos contra insectos y otros artrópodos rastreros o caminadores que se encuentran dentro o en los alrededores de los edificios. El propoxur es particularmente efectivo cuando se aplica en poblaciones de cucarachas resistentes a otros insecticidas.

Piretroides

Estos productos son venenos axónicos y su acción principal consiste en afectar los canales de sodio y potasio en el axón durante la transmisión eléctrica de los impulsos nerviosos. Los canales son una estructura imbricada de proteínas que traspasa la membrana celular, de modo que puede permitir o bloquear el paso de iones. Los productos insecticidas con actividad axónica afectan, de una forma aún no determinada con precisión, la transmisión en el axón de las neuronas. Estos productos mantienen abiertos los canales de sodio por períodos de hasta un segundo (Yamamoto *et al.* 1983 y Chinn y Narahashi 1986), por lo que estimulan las células nerviosas para producir descargas repetitivas y en consecuencia ocasionar parálisis.

De acuerdo a como se comportan estos insecticidas, se pueden clasificar en dos tipos. Los de tipo I, que entre otras características fisiológicas, presentan un coeficiente de temperatura negativo, muy parecido al DDT. Esto significa que al aumentar la temperatura dismi-

nuye su toxicidad; adicionalmente, es evidente la hiperactividad del insecto cuando está en proceso de intoxicarse. Dentro de este grupo se encuentran las piretrinas y la permetrina.

Los piretroides del tipo II presentan un coeficiente de temperatura positivo. Esto significa que ocurre un aumento en la mortalidad al aumentar la temperatura y se distinguen porque paralizan al insecto (Ware 2000 y Leahey 1985). Estos piretroides generalmente presentan el grupo ciano en su molécula (CN) y entre ellos se encuentran la cipermetrina y deltametrina, los cuales junto con la permetrina representan tres de los insecticidas más utilizados en la industria del control de plagas urbanas. Estos productos son poco tóxicos para mamíferos y muy tóxicos para insectos, en los cuales presenta buenas propiedades de derribo y mortalidad.

Entre los piretroides más recientes se pueden citar la beta ciflutrina y la bifentrina, que son insecticidas que tienen un comportamiento marcadamente diferente de los piretroides de los tipos I y II. Mientras que en los piretroides tipo I y II los mecanismos de resistencia más comunes son las oxidadas y *kdr*, en la beta ciflutrina y bifentrina se ha reportado resistencia por esterases.

Cloronicotinilos

Los cloronicotinilos afectan el sistema nervioso y pertenecen al grupo de mímicos de la acetilcolina que actúan en la región postsináptica, de los cuales el más representativo es la nicotina. Esta molécula se ensambla en los receptores nicotínicos de la región postsináptica del sistema nervioso, de modo que evita que la acetilcolina se fije a esos receptores y transmita el mensaje eléctrico. Estos compuestos no inhiben ni se fijan a la acetilcolina, más bien la mimetizan. En mamíferos se fijan en las uniones neuromusculares, mientras que en los insectos son muy específicos de las sinapsis de los ganglios. Aparentemente, los receptores no distinguen entre la acetilcolina y el insecticida.

Imidacloprid forma parte de este grupo y se empezó a utilizar contra plagas agrícolas como insectos chupadores y algunos masticadores. Actualmente existen varias formulaciones que se utilizan para controlar termitas, pulgas, algunas moscas y cucarachas (Mehlhorn et al. 1999). Cuando las termitas se exponen a imidacloprid se dejan de alimentar y formar túneles, se desorientan, dejan de forrajear; no se acicalan y no atienden al resto de la colonia; finalmente mueren. También existen formulaciones en geles para controlar cucarachas.

Fiproles

Este grupo de insecticidas es pequeño y su modo de acción es similar al de los ciclodienos y las avermectinas. Estos insecticidas bloquean el canal de cloro regulado por el neurotransmisor conocido como ácido gama amino butírico (GABA) en el axón de las neuronas (Cole et al. 1993). El fipronil pertenece a este grupo, es un compuesto sistémico que también tiene actividad estomacal y de contacto. Se ha formulado como cebo para controlar cucarachas y hormigas, y existen formulaciones para termitas que se inyectan en el suelo. En general, estos productos son muy seguros para humanos. El pirazol etiprol

también se ha evaluado en plagas de granos almacenados como un sustituto de insecticidas convencionales (Arthur 2002).

INSECTICIDAS QUE AFECTAN LA PRODUCCION DE ENERGIA

Este grupo está representado por las amidinohidrazonas, alquil sulfonamidas halogenadas y los pirroles.

Amidinohidrazonas

Este grupo de insecticidas actúa bloqueando la producción de adenosín trifosfato (ATP) en las mitocondrias de insectos y mamíferos, por lo que al insecto simplemente se le agota la energía disponible y muere (Hollingshaus 1987). La hidrametilona pertenece a este grupo y fue introducida en la década de los 1980's en formulaciones de cebos para controlar cucarachas y hormigas. Tiene la ventaja de ser poco tóxico para mamíferos y aves. Actúa lentamente y la mortalidad puede ocurrir hasta cinco días después del tratamiento (Silverman y Shapas 1986). También se usa en lugares donde el uso de aspersiones o polvos es difícil o poco efectiva. El uso de este producto, combinado con medidas iniciales para abatir cucarachas y hormigas, es uno de los métodos más eficientes para eliminar este tipo de plagas.

Alquil sulfonamidas fluoroalifáticas

La sulfluramida es un compuesto representativo de este grupo y al igual que las amidinohidrazonas, actúa lentamente. Este compuesto es un inhibidor metabólico efectivo para controlar hormigas. En forma de cebo funciona bien contra cucarachas y hormigas, lo que permite que miembros de la colonia transfieran el agente tóxico al resto de la población (Reid *et al.* 1990). Un metabolito de este compuesto (perfluorooctano de sulfonamida) es igualmente efectivo y funciona del mismo modo (Schnellmann y Manning 1990). Presenta muy poca toxicidad para mamíferos y es ligeramente tóxico para peces y artrópodos acuáticos.

Pirroles

El único integrante de este grupo es el clorfenapir; es cual es un proinsecticida que es activado biológicamente dentro del insecto a través de la remoción oxidativa del grupo N-etoximetil. Estos insecticidas son desacopladores de la fosforilación oxidativa que ocurre en las mitocondrias e impiden que se forme el ATP a partir del ADP. Este insecticida tiene la característica de que no es repelente (al igual que fipronil e imidacloprid) y se encuentra disponible comercialmente para controlar termitas y cucarachas (Potter y Hillery 2003 y Amenn *et al.* 2000).

REGULADORES DEL CRECIMIENTO

Los reguladores de crecimiento más conocidos son los insecticidas que afectan el sistema endocrino (mímicos de la hormona juvenil) y los inhibidores de la síntesis de la cutícula. Entre los primeros están metopreno, hidropreno, piriproxifen y fenoxicarb y en el segundo están diflubenzuron, lufenuron, triflumuron, hexaflumuron y noviflumuron. La ciromazina, aunque no es de los reguladores de crecimiento típicos, es muy efectiva para inhibir la síntesis de quitina y es un compuesto muy utilizado para el control de minahojas en ornamentales y larvas de moscas en explotaciones pecuarias.

Debido a su alta especificidad para insectos, y a las ventajas ambientales, en los últimos años se ha mostrado mucho interés en estos productos y se han integrado a sistemas de control de termitas o cebos para otros insectos sociales como las hormigas o gregarios como las cucarachas. Su especificidad hace que estos productos afecten procesos metabólicos que ocurren solamente en insectos y no en mamíferos. El diflubenzuron se usó hace más de 25 años para el control de algunas plagas agrícolas y se le dio poca atención en áreas urbanas, pero actualmente es el ingrediente activo de algunas formulaciones contra termitas.

Entre los juvenoides, el metopreno es uno de los productos que han estado más tiempo en el mercado y se utiliza desde 1975 para controlar larvas de mosquitos. Este compuesto se degrada rápidamente en el agua o por efecto de la luz, por lo que se han desarrollado formulaciones de liberación lenta (Kramer *et al.* 1993). Este compuesto es más persistente en interiores y se ha utilizado contra pulgas y plagas de granos almacenados en plantas procesadoras de tabaco y almacenes. Afecta el desarrollo entre los diferentes estadios y evita que se forme la pupa. No afecta a los adultos y pupas ya formadas, y su aplicación a larvas desarrolladas puede acelerar el cambio a pupas, las cuales son muy resistentes.

El hidropreno es otro compuesto activo contra cucarachas y plagas de granos almacenados; no impide que las ninfas se conviertan en adultos, pero éstos presentan alas deformes y no se pueden reproducir. No afecta a las ninfas de los primeros estadios y el estado más sensible es el último. Este producto es de acción lenta y debido a su particular modo de acción deben pasar de cuatro a seis meses para que se pueda controlar una población de cucarachas bien establecida, pero al inicio de su uso se ve un aparente aumento de ellas ya que las cucarachas con alas deformes son más visibles.

INSECTICIDAS DE ORIGEN NATURAL

En este grupo de insecticidas se incluyen productos de origen natural. Generalmente su estructura es compleja y por esa razón no se sintetizan artificialmente. Debido a su efectividad, especificidad, baja toxicidad para mamíferos, así como riesgo reducido en humanos o al medio ambiente, tienen gran aceptación en sistemas de manejo de plagas tanto agrícolas como urbanas. Los insecticidas comerciales de origen natural más comunes que se encuentran en el mercado son las avermectinas, bacterias, espinosinas y el nim.

Avermectinas

Estos productos son moléculas complejas que tienen propiedades insecticidas, acaricidas y antihelmínticas, forman parte del grupo de las lactonas macrocíclicas y son altamente tóxicos para insectos. Se originaron de la fermentación de un organismo del suelo (*Streptomyces avermitilis*). La abamectina es el nombre común de una mezcla que contiene 80 % de avermectina B1a y 20 % de avermectina B1b (compuestos homólogos que contienen actividad biológica semejante). Este producto es efectivo a dosis bajas contra ácaros, plagas de invernaderos y minadores, así como la hormiga de fuego. Existen formulaciones del tipo gel o pastas para cucarachas y hormigas en áreas urbanas.

Estos compuestos tienen propiedades sistémicas, por lo que también se usan para controlar parásitos internos de animales domésticos. Debido a su actividad sistémica y a que es muy poco tóxico, en algunos países de África y del Continente Americano (entre ellos México) se utiliza una formulación para controlar *Onchocerca volvulus*, un nemátodo que vive en el sistema linfático de los humanos y que produce la oncocercosis en humanos (Greene *et al.* 1985).

Estos insecticidas presentan un modo de acción muy parecido al grupo de los fiproles, ya que bloquean el neurotransmisor conocido como ácido gama amino butírico (GABA) en las uniones neuromusculares de insectos y ácaros (Copping y Menn 2000). Los artrópodos afectados dejan de comer, pero la muerte puede tardar varios días.

Bacterias

Las bacterias tienen actividad citolítica en el intestino medio de los insectos ya que provocan el rompimiento y desintegración de las células. *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* y *B. thuringiensis* var. *sphaericus* son efectivas contra larvas de mosquitos y de simúlidos (Charles *et al.* 1996, Margalit y Dean 1985). *B. thuringiensis* var. *kurstaki* es tóxica para varias especies de lepidópteros que pueden dañar ornamentales en jardines, así como plagas agrícolas en general. La toxicidad de ellas se debe a la presencia de proteínas en las inclusiones parasporales cristalinas que forman las bacterias durante un proceso de fermentación controlado. Cuando el insecto las ingiere, las inclusiones se disuelven en el intestino medio (con pH alcalino) por acción de las proteasas y se liberan las delta endotoxinas y beta exotoxinas. Las toxinas rompen la membrana peritrófica y la membrana de las células del intestino medio, lo que ocasiona parálisis del intestino y detienen la alimentación de las larvas. A nivel celular, la toxina de la var. *israelensis* se fija a fosfolípidos insaturados de las membranas celulares y después ocasiona su rompimiento. Los efectos en las larvas son inmediatos y se puede ver la respuesta en 20 ó 30 minutos ya que la parálisis es muy rápida. El modo de acción supuesto de la var. *kurstaki* es que se fija a los receptores glicoproteínicos celulares y afecta el transporte de iones de potasio hacia el intestino medio.

La elaboración de formulaciones contra larvas de mosquitos y simúlidos debe considerar la biología de las especies a las que se dirige el control ya que existen mosquitos que se alimentan en la superficie (anofelinos) y otros que se alimentan en fondo (varias especies de culicinos y simúlidos). Se recomiendan formulaciones concentradas ya que se disuelven lentamente y permiten espaciar los tratamientos (Becker y Margalit 1993). Una situación particular que se ha citado recientemente es que el uso de bacterias, además de que elimina larvas de mosquitos, ayuda a eliminar algas en ciertas condiciones, lo que aumenta la calidad del agua (Su y Mulla 1999).

Espinosinas

Este grupo está representado por el espinosad. Este compuesto fue registrado en 1997 y se obtiene de la fermentación del actinomiceto *Saccharopolyspora spinosa*. El producto comercial es la mezcla de las espinosinas A y D. En áreas urbanas está registrado su uso contra termitas, pero también es muy efectivo a dosis muy bajas contra trips y minahojas en ornamentales. Aunque tiene una estructura similar a la de las avermectinas, no se sabe con certeza cuál es su modo de acción, pero se han propuesto dos teorías. En una se sugiere que actúa como veneno estomacal del mismo modo que la nicotina; es decir, que impide la fijación de la acetilcolina en receptores nicotínicos de la acetilcolina en la membrana postsináptica (Copping y Menn 2000). Otra teoría sugiere que el modo de acción es parecido a las avermectinas.

Tetranortriterpenoides

La azadiractina pertenece a este grupo y es una sustancia que se encuentra en forma natural en el árbol del nim (*Azadirachta indica*). Tiene actividad insecticida, fungicida y bactericida, su estructura química es parecida a la ecdisona y actúa como un regulador de crecimiento ya que afecta la muda al inhibir la síntesis o metabolismo de la ecdisona (Copping y Menn 2000). En algunos insectos funciona como inhibidor de la alimentación, y la muerte se presenta después de varios días. En condiciones de áreas urbanas se utiliza en ornamentales y céspedes y no funciona muy bien contra cucarachas, donde aparentemente presenta un efecto de irritación y repelencia. El producto necesita ser ingerido para que sea efectivo. Algunas formulaciones se comercializan como reguladores de crecimiento o como venenos estomacales y son utilizadas en invernaderos y ornamentales.

INSECTICIDAS QUE AFECTAN EL BALANCE DE AGUA

El grupo de insecticidas que afecta el balance de agua está formado por el ácido bórico, los boratos, la tierra de diatomeas y los polvos absorbentes. El modo de acción más comúnmente aceptado es que estos compuestos provocan la pérdida de agua de los insectos, que al final mueren por desecación. A pesar de que los insecticidas inorgánicos se han utilizado por más de un siglo para controlar plagas en general, en los últimos años se le ha

dado un impulso grande a su uso en áreas urbanas debido a las ventajas que presentan, ya que la posibilidad de desarrollo de resistencia es muy bajo, son muy seguros para humanos y pueden permanecer activos por mucho tiempo, mientras se mantengan secos. Se han elaborado geles y cebos insecticidas para controlar cucarachas y hormigas y algunas formulaciones son muy efectivas para controlar insectos que se alimentan de la madera seca (Ebeling 1978).

Compuestos a base de boro

El boro es un elemento no metálico que en forma natural se encuentra combinado con oxígeno y elementos como el sodio y el calcio. Los compuestos que se usan para el manejo de plagas son el ácido bórico (también conocido como ácido ortobórico) y el octaborato disódico tetrahidratado. El ácido bórico carece de olor; es de color blanco y presenta muy poca toxicidad para mamíferos; comúnmente se formula en polvo o cebos en forma de gel o pasta. Las formulaciones en polvo son repelentes para algunos insectos si se aplican a concentraciones mayores del 5%. Debido a que son solubles en agua (hasta 4-5 %) se pueden aplicar soluciones acuosas que después de secarse dejan una película fina de polvo. Cuando se aplica en espacios vacíos puede tener un efecto residual prolongado hasta por más de un año, lo cual se facilita por su baja volatilidad. Los insectos contra los que se usa este producto son cucarachas, hormigas y pulgas. Los insectos se intoxican por contacto o ingestión y la acción es lenta ya que la muerte ocurre hasta 10 días después de la aplicación.

El octaborato disódico tetrahidratado se usa para controlar termitas, hormigas carpinteras y otros insectos que se alimentan de madera seca. Se aplican en aspersión o con brocha directamente a la madera. La madera de postes telefónicos también se trata a presión con este producto, el cual llega a penetrar hasta un centímetro, proporcionando mejor protección. Otra forma de tratar construcciones de madera es introducir taquetes concentrados de este compuesto directamente en la madera. También existen algunas formulaciones de este producto en forma de pasta o gel.

Sílica gel y tierra de diatomeas

Estos dos compuestos son formas amorfas del sílice. La sílica gel se produce a partir de la arena y el 99.9 % de su contenido está formado por óxido de silicio (SiO_2). La tierra de diatomeas se obtiene de depósitos fosilizados de diatomeas que se encuentran en agua dulce o en el mar. Estos compuestos también actúan lentamente y aunque no es concluyente la información acerca de su modo de acción, se dice que matan al insecto por desecación ya que remueven la capa cerosa de la cutícula. Este compuesto se utiliza también como vehículo para algunos insecticidas, especialmente piretrinas, con el objetivo de aumentar su efectividad. Se ha reportado que la combinación de calor con sílica aerogel produce un efecto sinérgico contra cucarachas (Ebeling 1994).

FUMIGANTES

Los fumigantes, en general, son moléculas orgánicas que se convierten en gas cuando se exponen a temperaturas mayores que 5 °C y pueden permanecer en estado gaseoso a una concentración suficientemente alta para matar a un organismo plaga (Monro 1961). Recientemente se han puesto en el mercado formulaciones que son efectivas a temperaturas más bajas. Las moléculas de fumigantes son más pesadas que el aire y generalmente contienen elementos del grupo de los halógenos (Cl, Br o F). Son capaces de penetrar cualquier espacio vacío y alcanzan grandes volúmenes de materiales. Se utilizan para controlar insectos, nematodos y ciertos microorganismos en construcciones, bodegas, elevadores de granos, suelos, invernaderos y productos envasados (frutas secas y cereales, por ejemplo). Como grupo, los fumigantes producen la desnaturalización de la oxihemoglobina, la cual es responsable del transporte del oxígeno en la sangre. Asimismo degradan enzimas importantes para la respiración y metabolismo y también pueden tener efectos sobre las membranas celulares (Garry *et al.* 1989).

El bromuro de metilo es el más ampliamente utilizado (70 % del total) de los fumigantes disponibles en el mercado. El 70 % del total de bromuro de metilo se utiliza para fumigar suelo, 5-8 % en cuarentenas, 8 % en productos perecederos (como flores y frutos) y 12 % en productos no perecederos (madera y frutas secas como nueces). Sólo el 6% se utiliza para aplicaciones en estructuras contra termitas. Debido a que afecta la capa de ozono de la atmósfera, los países desarrollados dejarán de producirlo e importarlo totalmente en el año 2005. Los países en desarrollo dejarán de producirlo en el 2015, de acuerdo con el protocolo de Montreal.

Existen otros fumigantes que tienen un uso más limitado o específico y entre ellos están el dicloruro de etileno, cianuro de hidrógeno, fluoruro de azufre, óxido de etileno, fosforo de hidrógeno y fosforo de magnesio. Lo más probable es que el fosforo de hidrógeno y el fluoruro de azufre reemplacen en el futuro al bromuro de metilo en la mayoría de las situaciones, aunque se debe tener cuidado debido a que pueden manchar superficies o no ser apropiados para fumigar alimentos (Bennett *et al.* 1997).

El fosforo de hidrógeno se puede aplicar para controlar plagas de granos almacenados, roedores o fumigar alimentos envasados, ya sea en almacenamiento o en equipos que se utilizan para su traslado (carros de ferrocarril o barcos, por ejemplo). Las formulaciones más comunes de este producto son tabletas de 3 g (55 % de ingrediente activo) de fosforo de aluminio o magnesio que liberan un gramo de fosforo de hidrógeno, que es el agente tóxico. Existen otras presentaciones en forma de placa que contienen fosforo de magnesio, y que también liberan el fosforo de hidrógeno, pero tienen la desventaja de que liberan volúmenes grandes del gas y no se pueden manejar para que liberen volúmenes bajos del mencionado gas. Las formulaciones sólidas reaccionan con la humedad atmosférica para producir el gas. La desventaja de este gas es que daña los alimentos frescos y se absorbe fácilmente en el suelo, por lo que no funciona como fumigante de suelos; también es corrosivo de algunos metales. El fluoruro de azufre se puede utilizar como fumigante en

estructuras residenciales o comerciales, pero no se puede usar para tratar alimentos, granos o plantas. Debido a que los fumigantes son muy tóxicos para humanos, se requiere entrenamiento especializado para utilizarlos.

FORMULACIONES

La presentación comercial de un insecticida se conoce como formulación, ya que es muy raro que un insecticida se encuentre disponible comercialmente en grado técnico. Lo más común es que los insecticidas puros se deban mezclar o formular con diferentes ingredientes para mejorar la seguridad, eficacia, manejo, aplicación y almacenamiento (Braness 1997). Así, es común que haya diferentes formulaciones o presentaciones del mismo ingrediente activo, como es el caso del clorpirifos que se puede encontrar como concentrado emulsionable, microencapsulado, aerosol, polvo humectable, polvo, cebo o gránulos, cuyo efecto residual estará afectado fuertemente por condiciones ambientales como humedad, temperatura y ubicación del producto (Braness 1990). Generalmente, la toxicidad del insecticida es controlada dentro de ciertos límites cuando se prepara la formulación, de tal modo que en áreas urbanas existirá la tendencia de utilizar formulaciones que sean poco tóxicas y que ofrezcan mayor seguridad al usuario (Tsuji 1991). Entre los ingredientes que puede tener una formulación, además del ingrediente activo, están el vehículo, adyuvantes, emulsificantes, adherentes, solventes, agentes penetrantes y dispersantes. Para el caso de cebos, otros ingredientes importantes son los atrayentes alimenticios, así como conservadores que aumentan la vida de estante de los productos. En general, puede haber formulaciones listas para usarse o que se requiera realizar algún proceso adicional de dilución para que el producto esté en condiciones de aplicarse (Bennet *et al.* 1997).

Ingrediente activo. Es el componente tóxico responsable de la actividad insecticida.

Adyuvante. Es un término general que se usa para describir una sustancia o la combinación de ellas y que se agregan al ingrediente activo con el propósito de mejorar la efectividad del plaguicida. Entre estos aditivos están los agentes humectantes, emulsionante, adherentes, absorbentes de luz ultravioleta y aceites.

El vehículo o diluyente es un sólido o líquido inerte que se agrega al material técnico y que permite diluirlo a la concentración requerida. Los emulsionantes son sustancias que estabilizan una suspensión de gotas de un líquido en otro. Comúnmente se usan para facilitar la mezcla de una formulación aceitosa en agua.

Los inertes son cualquier material que se agrega a la formulación y que no tienen actividad insecticida, y aunque usualmente se refiere a los polvos, aunque los emulsionantes, diluyentes y agentes humectables también están comprendidos en esta categoría.

El dispersante es una sustancia que incrementa el área que cubriría un volumen determinado de líquido.

El surfactante es una sustancia que mejora el contacto entre superficies de dos materiales. Entre ellos se encuentran los adherentes y agentes humectables.

La necesidad de contar con formulaciones especiales para áreas urbanas ha llevado al desarrollo de nuevas formulaciones, presentaciones novedosas, así como sistemas para ponerlas fácilmente accesibles a las plagas. Las formulaciones comúnmente utilizadas en áreas urbanas son concentrados emulsionables, formulaciones de volumen ultrabajo, polvos humectables, suspensiones concentradas, floables, suspensiones microencapsuladas y cebos, y en general son de bajo olor, no utilizan solventes orgánicos, no manchan las paredes ni otros objetos dentro de las casas o estructuras, son poco tóxicas y el riesgo de que se intoxiquen niños, ancianos y mascotas es bajo. En ninguna circunstancia se deben utilizar formulaciones agrícolas en áreas urbanas. Aún cuando se controlen plagas en ornamentales o jardines, se debe verificar que en la etiqueta del producto se autorice el uso urbano. En el caso particular de los concentrados emulsionables se siguen utilizando solventes orgánicos, pero conservan las otras características señaladas.

Algunas ventajas adicionales de las formulaciones urbanas son a) seguridad en el ambiente, al cliente y al aplicador; b) muchas de ellas están listas para usarse; c) menor desperdicio del producto; d) aplicación más dirigida a la especie que se quiere controlar, para lo cual es muy importante tener conocimiento apropiado de la biología y hábitos de la especie; y e) algunas formulaciones nuevas pueden incrementar la efectividad del producto, particularmente los cebos.

Suspensión concentrada. Son suspensiones estables de un ingrediente activo sólido que después se diluye en agua. Es necesario que el ingrediente activo sea un cristalino sólido que se pueda moler en partículas de aproximadamente 5 μ de diámetro y después se suspende en agua usando agentes apropiados. Se requiere agregar aditivos especiales que eviten la aglutinación de estas partículas en una masa sólida, lo que puede ocurrir en períodos prolongados de almacenamiento. En el caso de piretroides, se pueden preparar suspensiones concentradas a base de deltametrina, alfacipermetrina y beta ciflutrina ya que son cristalinos, pero no a base de lamdacialotrina o ciflutrina.

Los insecticidas que se han comercializado como floables son, en sentido estricto, una suspensión concentrada. Están formados por partículas finas del ingrediente activo que se encuentran suspendidas generalmente en agua y que después son diluidas con una cantidad adicional de agua para su aplicación. Algunas de estas formulaciones contienen alcoholes de baja volatilidad que le permiten a las gotas permanecer más tiempo suspendidas en el aire.

Concentrados emulsionables. Son formulaciones que además del ingrediente activo contienen uno o más solventes y un emulsionante. Se diluyen con agua para formar una solución lechosa u opaca. Se mezclan y aplican fácilmente, requieren poca agitación y no dejan residuos visibles. Sin embargo, algunas superficies pueden ser dañadas por el solvente de la formulación, pueden ser tóxicos para algunas plantas y penetran fácilmente las superficies, así como la piel. También se absorben en las superficies porosas, por lo que hay

menos ingrediente activo disponible para los insectos rastreros. Estas formulaciones interactúan con las superficies después de que se ha evaporado el agua. El pH de mamposterías, bloques de concreto y concretos es alto y afectan la efectividad de estas formulaciones ya que la mayoría de los insecticidas son inestables a pH altos.

Polvos humectables. Son formulaciones secas en las que el ingrediente activo se adhiere a partículas finas de talco o arcilla y un agente humectante (que funciona como dispersante). El agente humectante permite que se mezcle con agua y se pueda aplicar en aspersión. Al no contener solventes, son menos fitotóxicas y no reaccionan con las superficies tratadas. Esta formulación es igualmente efectiva en superficies porosas y no porosas debido a que el residuo no se absorbe. El producto permanece en las superficies porosas tratadas y es muy utilizado en tratamientos perimetrales. Las desventajas son que los residuos son visibles, se requiere agitación durante la aplicación y puede ser inhalado durante la preparación de la mezcla. Con esta formulación se consigue un efecto residual considerable. Algunas presentaciones están disponibles en sobres solubles y se diluyen en volúmenes predeterminados de agua. Un problema muy común que ocurre con este tipo de formulaciones es que cuando no se tiene un control de calidad adecuado del tamaño de las partículas de talco o arcilla, ocurren taponamientos del equipo de aplicación.

Polvos Solubles. Los polvos solubles son muy parecidos a los polvos humectantes, pero se diferencian de ellos porque forman soluciones verdaderas. Se requiere poca agitación para formar la mezcla y los residuos que deja son poco visibles. Esta formulación no tiene un uso muy generalizado debido a que pocos polvos son solubles en agua. Algunas de las formulaciones a base de ácido bórico y otros derivados de boratos son solubles en agua a concentraciones bajas.

Polvos. Los polvos insecticidas son formulaciones listas para usarse y constan del ingrediente activo y de un vehículo. El vehículo puede ser talco, diversos tipos de arcillas o cáscara de nuez, los cuales deben estar molidos finamente. Esta formulación es la más efectiva contra insectos caminadores y se puede aplicar en fisuras, grietas, instalaciones eléctricas, así como en espacios vacíos dentro de las construcciones. Si se conservan secos, pueden permanecer activos por años. Las principales desventajas de los polvos es que son visibles y pierden su efectividad si se humedecen, aunque recientemente se han elaborado formulaciones a prueba de agua. No se deben aplicar en la zona donde se encuentra el ventilador de refrigeradores ya que pueden ser dispersados fácilmente y contaminar otras áreas.

Gránulos. Esta formulación está lista para usarse y se elabora al impregnar con ingrediente activo a partículas gruesas de arcillas, cáscaras de nuez y olote. Los gránulos usualmente contienen porcentajes bajos del ingrediente activo (menores del 5 %). Tienen la ventaja de que no se usan solventes en su formulación y son efectivos en superficies porosas. Son recomendables para insectos caminadores en tratamientos perimetrales de edificios o casas, no presentan deriva y pueden atravesar la vegetación para depositarse en el suelo. Dos problemas importantes de los gránulos es que son muy voluminosos y se requiere que estén mojados ligeramente para liberar el ingrediente activo.

Cebos. Los cebos reciben este nombre cuando el ingrediente activo se mezcla con alimento, un vehículo, atrayente y conservadores. Estas formulaciones vienen en varios tipos de presentaciones, entre las que están gránulos, comprimidos, polvos, geles, pastas o líquidos. Todos ellos están listos para usarse o pueden ser aplicados directamente en fisuras o rendijas o cualquier otro sitio de refugio. Son muy efectivos cuando se aplican contra insectos que buscan activamente su comida y cuando no se encuentran fuentes alternas de alimento, aunque pueden presentarse problemas de aceptación si se contaminan (Benson *et al.* 2003). Adicionalmente, son muy efectivos contra insectos sociales que buscan alimento y que lo almacenan en la colonia para compartirlo con los demás insectos, y los mejores son los que actúan lentamente.

Se ha encontrado que en moscas, los cebos promueven menos la resistencia que las aspersiones residuales. Asimismo, aspersiones que producen el derribo promueven menos la resistencia que los piretroides residuales. Recientemente se han desarrollado sistemas de control de termitas subterráneas en los que se elimina la colonia a través del uso de productos que actúan lentamente. Entre éstos están formulaciones a base de hexaflumuron, diflubenzurón, sulfluramid e hidrametilona.

Microencapsulados. En estas formulaciones el insecticida se microencapsula al suspender partículas del insecticida (o pequeñas gotas) en polímeros de varios tipos. Esto ha significado un incremento en la seguridad y mayor poder residual para el control de cucarachas y otros insectos. La microencapsulación reduce la toxicidad del insecticida en humanos e incrementa la estabilidad de los residuos de la aspersión en las superficies tratadas. Esto permite que el piretro, un producto con muy poca residualidad, microencapsulado tenga una residualidad de 30 a 60 días. Se ha encontrado que clorpirifos microencapsulado es efectivo para controlar poblaciones resistentes de cucarachas y aplicado en paredes exteriores mantiene su poder residual y evita la entrada de otras cucarachas.

Aunque las espumas no son una formulación por sí mismas, es un procedimiento de aplicar insecticidas (generalmente concentrados emulsionantes) para controlar insectos rastreros y termitas. El uso de espumas permite diseminar el insecticida en áreas difíciles de alcanzar y se producen agregando abatidores de la tensión superficial o jabones a la dilución del insecticida y después se mezcla con aire. Estos ingredientes son la clave para que se produzca la espuma, pero no contiene el ingrediente activo, el cual se agrega para formar la solución de insecticida y después se transfiere a la máquina generadora de espuma donde se le agrega aire bajo presión. Las espumas pueden ser inyectadas en paredes huecas, cimientos, basamentos, base de las ventanas, chimeneas y cualquier área que internamente esté hueca.

RESISTENCIA Y MANEJO DE INSECTICIDAS EN PLAGAS URBANAS

Actualmente se ha reportado la resistencia a 316 insecticidas en 542 especies de insectos (Mota-Sánchez *et al.* 2002). Entre las 20 plagas más resistentes se encuentra la cucaracha alemana (quinto lugar) y la mosca doméstica (décimo quinto lugar) las cuales son resis-

tentes a 39 y 36 insecticidas, respectivamente. Se reportan varias especies de insectos resistentes a más de 10 plaguicidas; entre ellos están las pulgas, mosquitos, dos especies más de moscas y tres plagas de granos almacenados. Sin embargo, la gran variedad de métodos químicos y los tipos de problema que se tienen en situaciones particulares, hacen que los reportes de resistencia a insecticidas no se encuentren en forma generalizada en áreas urbanas. Para las dos plagas señaladas, generalmente la resistencia ocurre a nivel local por lo que en ocasiones se llega a recurrir a la fumigación para resolver el problema ya que ofrece una solución rápida contra cualquier plaga presente (incluyendo roedores, pájaros y otras plagas que no son insectos) además de que no deja residuos tóxicos. Aún cuando se recomienda que la fumigación sea utilizada como último recurso, en diversos programas de control de plagas en la industria alimenticia, la fumigación ha sido la herramienta más utilizada, lo que ha ocasionado reportes de resistencia a varias plagas de granos almacenados (Collins *et al.* 2002). El hecho de que haya pocos reportes de resistencia en plagas urbanas en América Latina, no implica que las poblaciones de insectos sean susceptibles, es más bien un indicador de la falta de investigación en esta área.

Uno de los factores más importantes que deben ser considerados cuando se estudia la resistencia es la selectividad de un producto. La selectividad fisiológica resulta de las diferencias intrínsecas que presentan las diferentes especies de artrópodos a los insecticidas. Entre ellas se tienen la rapidez de la penetración del agente tóxico, reacción del tóxico con los tejidos y pérdida del mismo, velocidad de excreción del agente tóxico y sus metabolitos, alteraciones metabólicas del producto y desactivación, sitio de acción o lesión bioquímica y selectividad múltiple. En la práctica, la selectividad puede favorecerse si se aplican algunas técnicas o procedimientos conocidos. Entre las más recomendables se tienen el tiempo de aplicación, la formulación, método de aplicación, la dosis del producto y estado de desarrollo del insecto.

La resistencia a insecticidas ocurre en cualquier situación donde se utilicen estos productos, ya sea urbana, agrícola, médica o veterinaria, y se define como el desarrollo en una población de la capacidad para tolerar dosis de un agente tóxico que sería letal a la mayoría de los individuos en una población normal de la misma especie (Anonymous 1957). El fenómeno de la resistencia ha proliferado exponencialmente y su desarrollo está determinado por factores genéticos, biológicos o ecológicos y operacionales (Georghiou y Taylor 1986, Georghiou y Taylor 1977a, Georghiou y Taylor 1977b).

Los factores genéticos y biológicos son cualidades inherentes a la población y se encuentran por lo tanto fuera del control del hombre, pero su conocimiento es esencial para determinar el riesgo de resistencia en una población (Georghiou 1983). Los factores operacionales que afectan el desarrollo de la resistencia son los relacionados con la selección y aplicación de los plaguicidas, y entre éstos se encuentran a) la naturaleza química del plaguicida, b) la relación con otros productos utilizados anteriormente, c) la persistencia de los residuos, d) el umbral de selección, e) el estado de desarrollo seleccionado, f) el modo de aplicación, g) la selección espacial, y h) la selección alternada. Los factores operacionales están bajo el control del hombre y su manipulación puede ayudar a retrasar la resistencia a insecticidas; sin embargo, algunos de esos factores no tienen aplicabilidad en áreas urbanas.

Los problemas asociados con resistencia a insecticidas incluyen el incremento en el número de aplicaciones y la dosis, disminución en el rendimiento y brotes de enfermedades cuando los vectores no se pueden controlar (Scott 1996); un problema adicional que no es claramente visible es la alta probabilidad de que se pierdan los insecticidas de que se dispone actualmente (Scott 1991). El conocimiento de todos, o la mayor parte, de los factores que están involucrados en la resistencia a insecticidas, puede ayudar a implementar tácticas específicas de control de insectos en una situación particular. Así, se ha determinado que los insectos presentan tres mecanismos fisiológicos de resistencia: penetración reducida, mayor metabolismo e insensibilidad en el sitio de acción (Roush 1991), pero también se ha citado la resistencia por comportamiento. Todos estos mecanismos se conocen en la cucaracha alemana y otras plagas urbanas y con frecuencia la resistencia se ha atribuido a mecanismos de resistencia múltiples (Valles y Yu 1996, Anspaugh *et al.* 1994).

Penetración reducida

Para que un insecticida pueda matar a un insecto, debe llegar al sitio de acción en una concentración suficientemente alta. Si el mecanismo de penetración reducida se encuentra presente, el insecticida se combina con diferentes componentes en el integumento y evita la acumulación letal del insecticida en el sitio de acción (Ahmad y McCaffery 1999). Funcionalmente, esto retrasa la proporción de penetración y le da tiempo al insecto para que desactive al insecticida. El fenómeno de penetración reducida puede estar relacionado con la presencia anormalmente alta de proteínas transportadoras conocidas como P-glicoproteínas; sin embargo, no se sabe con precisión su función. Valles *et al.* (2000) reportaron la penetración reducida de cipermetrina como un mecanismo de resistencia importante en una raza de cucaracha alemana, y otros experimentos han demostrado resultados similares para otros piretroides.

Mayor metabolismo

El incremento del metabolismo es el mecanismo más importante de resistencia a plaguicidas. Este tipo de resistencia se debe a diferencias cuantitativas y cualitativas en la expresión de enzimas desactivadoras (Ahman y Forgash 1976, Hemingway y Karunaratne 1998). Los sistemas enzimáticos de detoxificación primarios son las citocromo P450 monooxigenasas, hidrolasas (esterasas) y glutatión S-transferasas (deBethizy y Hayes 1984), los cuales juegan un papel crucial para modificar la estructura química de las moléculas. En algunos casos, estas alteraciones pueden convertir al producto en otro más tóxico, como es el caso de los proinsecticidas.

Resumiendo en forma general la manera en que ocurre la desactivación de plaguicidas, se puede decir que el proceso metabólico de sustancias extrañas al organismo ocurre en tres fases. En la fase I se introduce un grupo funcional hidrofílico dentro de la molécula y provee un punto de anclaje para las reacciones subsecuentes. Las reacciones típicas de la fase I son oxidaciones, reducciones e hidrólisis. En la fase II las reacciones combinan agen-

tes endógenos solubles en agua, lo cual hace que se incremente la solubilidad en agua de la molécula. Estos conjugados son más polares, menos solubles en lípidos y más fácilmente eliminados por la células. Finalmente, en la fase III los xenobióticos son transportados fuera de la célula (Ishikawa 1992 y Dauterman y Hodgson 1990).

Insensibilidad en el sitio de acción

La disminución de la sensibilidad en el sitio de acción puede generar resistencia a insecticidas y en la práctica es uno de los casos más difíciles de manejar ya que puede conferir resistencia a toda una clase de insecticidas (Scott y Dong 1994 y Fournier *et al.* 1992). El caso más estudiado de insensibilidad en el sitio de acción es el de la acetilcolinesterasa insensible que afecta a los insecticidas organofosforados y carbamatos. Sin embargo, en la cucaracha alemana no se ha citado este mecanismo, por lo que Siegfried y Scott (1992) sugieren que carecen de la plasticidad genética para modificar esta enzima.

Otra modificación del sitio de acción que puede producir resistencia a insecticidas es la modificación de los canales de sodio del axón. La mutación de los genes que codifican para estos canales de sodio produce resistencia a piretroides y DDT y se conoce como resistencia al derribo (*kdr*). Los piretroides y el DDT modifican la corriente de sodio de las células nerviosas al disminuir la inactivación del canal de sodio (Narahashi y Lund 1980), por lo que se reduce la fijación del insecticida y como consecuencia su acción tóxica. La resistencia al derribo en piretroides ha sido estudiada extensivamente en cucarachas (Dong *et al.* 1998) y aparentemente el cambio de un solo aminoácido (de Leu⁹⁹³ a Phe⁹⁹³) en la proteína del canal de sodio está asociada con *kdr* en piretroides en la cucaracha alemana. Esta mutación se encuentra ampliamente distribuida en cucarachas en los Estados Unidos; sin embargo, en China se han realizado estudios en una gran cantidad de muestras de campo de mosca doméstica y no se ha detectado el *kdr*, por lo que se ha recomendado el uso de piretroides residuales.

El mecanismo de insensibilidad a insecticidas microbiales a base de las bacterias *Bacillus thuringiensis* y *B. sphaericus* ocurre de dos modos diferentes. El primero está relacionado con la reducción de la afinidad del receptor de los microvellos del intestino medio hacia el tóxico (Rie *et al.* 1990, Nielsen-Leroux *et al.* 1995). El segundo está relacionado con diferencias en la actividad proteolítica del intestino medio (Oppert *et al.* 1997). En *Culex quinquefasciatus* resistente a *B. sphaericus*, se ha reportado la pérdida funcional del receptor en poblaciones resistentes (Nielsen-Leroux *et al.* 1995).

Resistencia por comportamiento.

La resistencia por comportamiento se define como una evolución en la conducta que reduce la exposición del insecto a compuestos tóxicos que podrían ser fatales (Sparks *et al.* 1989). Este tipo de resistencia se puede dividir en dos subtipos: a) mecanismo dependiente del estímulo, como es el caso del aumento de la repelencia e irritabilidad, lo cual

reduce el contacto con el insecticida, y b) mecanismo independiente del estímulo, como es el caso de la exofilia (cuando una parte de la población de insectos prefiere vivir en exteriores) en la cual no hay forma de que ocurra el contacto con el insecticida (Georghiou 1972, Lockwood *et al.* 1984).

Aunque este tipo de resistencia no se ha entendido claramente la información existente apoya su existencia. En cucarachas se ha reportado resistencia por comportamiento en cebos, donde el insecto evita el ingrediente activo o a alguno de los demás componentes. En la cucaracha alemana la resistencia fisiológica predomina cuando se utilizan aspersiones o polvos; sin embargo, la resistencia por comportamiento es común con cebos ya que no siempre los aceptan (Ross 1997). Se ha encontrado que cucarachas que son resistentes al clorpirifos no aceptan cebos que contienen este ingrediente activo, mientras que las cucarachas susceptibles lo aceptan. Lo interesante de esta situación es que esta resistencia por comportamiento a cebos en la cucaracha alemana sólo ocurre en razas que presentan algún nivel de resistencia a clorpirifos (Ross 1998, Hostetler y Brenner 1994) o hidrametilona (Valles y Brenner 1999).

La aversión a la glucosa es otro mecanismo de resistencia por comportamiento que se ha citado en cucarachas que han sido expuestas a cebos insecticidas a base de hidrametilona (Silverman y Biemam 1993, Silverman y Ross 1994). Estos investigadores reportaron que las razas que evitaron la ingestión del cebo también evitaron la glucosa, la cual es un componente del cebo que es considerado como fagoestimulante. La sustitución de fructosa por glucosa mejoró la eficacia del cebo a nivel de campo. Aparentemente esta conducta no es aprendida ya que se heredó como una característica autosomal incompletamente dominante donde los heterocigotes ingirieron cantidades intermedias de glucosa.

Los problemas de resistencia de plagas urbanas son muy localizados y se pueden enfrentar con diferentes herramientas. Cuando la resistencia llega a ser un problema normalmente se recurre a la fumigación, la cual elimina todos los organismos que se encuentren presentes. Finalmente, en casos extremos se ha recomendado la destrucción de una casa porque tenía una infestación muy elevada de cucarachas (Benson y Zungoli, 1997).

MANEJO DE PLAGAS URBANAS

El manejo de plagas es un proceso que consiste en el uso balanceado de procedimientos culturales, biológicos y químicos que son compatibles ambientalmente y posibles de establecer en forma económica para reducir los niveles de plagas a niveles tolerables (Owens 1986). Frecuentemente, los niveles tolerables en áreas urbanas, más que obedecer a un nivel de daño, se relacionan con la estética. Adicionalmente, la sensibilidad individual o problemas de la salud pública pueden reducir el nivel de aceptación de una plaga a cero, por lo que la simple detección de un organismo puede implicar la toma de acciones para eliminarlo. Potter (1986) menciona que una de las dificultades para establecer el manejo integrado de plagas urbanas (MIPU) es la dificultad para diagnosticar los problemas, falta de información básica de la biología de las plagas, disponibilidad limitada de productos

alternos a insecticidas, falta de umbrales económicos o estéticos, así como costo de la implementación del programa.

El manejo exitoso de plagas en ambientes urbanos requiere tomar acciones de prevención, monitoreo y, de ser necesario, control. Tomar acciones de control debe ser un proceso de decisión, no una combinación de métodos de control, como ocurre comúnmente. Además de considerar la plaga como tal, los umbrales para controlarlas pueden variar de acuerdo a la época de año o al lugar donde se encuentre el problema. Diferentes densidades de plaga pueden requerir un método diferente de control. En el caso de la cucaracha alemana, de una a cinco cucarachas en la cocina se puede eliminar o disminuir con la aplicación de cebos, o vigilar que estén bien colocados. Densidades de 5 a 20 cucarachas pueden requerir un cebado más cuidadoso, pero a la vez buscar las razones por las que la reinfestación está ocurriendo y resolverlas. Densidades mayores pueden requerir la aplicación de insecticidas.

Lo que una persona puede aceptar puede no ser aceptable para otra; además, el nivel de tolerancia puede cambiar con el tiempo. Una persona que aceptaba ver algunas cucarachas, hormigas o moscas puede ser que no las tolere después de que se implemente un sistema de manejo del insecto. En general, se sugiere que los criterios para determinar umbrales de acción en áreas urbanas deben de incluir el daño económico, salud y seguridad, estética, opinión pública y aspecto legal.

El concepto de MIPU se empezó a aplicar en el ecosistema urbano formado por plagas de céspedes y plantas ornamentales, y los programas funcionaron eficientemente. En estas condiciones los componentes básicos del manejo integrado de plagas en la agricultura se pudieron transferir sin grandes problemas, pero se debe tener en cuenta que, entre otras variables, se requiere establecer umbrales de acción para las plagas. El manejo integrado de plagas no puede ser aceptable en algunas condiciones como en la industria alimentaria y en otras condiciones donde el umbral económico es cero. Adicionalmente el uso de control biológico para eliminar plagas urbanas es algo que no es aceptado, independientemente de que los enemigos naturales puedan funcionar en algunas situaciones. El cambio de cultura podría ser muy importante para depender menos de insecticidas en áreas urbanas, ya que se podrían establecer umbrales de acción; sin embargo, es una posibilidad remota ya que en ocasiones son percepciones personales el hecho de que no se tolere ningún insecto o que no se tomen medidas de control aún cuando se encuentren cientos de ellos.

La participación ciudadana puede ser muy importante cuando se implementan programas de introducción de enemigos naturales. Los apoyos que usualmente se reciben de la población son políticos, morales o económicos, así como la participación directa en los programas de liberación de insectos benéficos y se han citado varios casos exitosos, sobre todo en arbolado urbano (Paine *et al.* 1997).

Debido a la menor tolerancia de plagas en el ambiente urbano, se han establecido programas de manejo de plagas en Estados Unidos en donde se trata de minimizar el uso de plaguicidas, y se ha sugerido en algunos municipios su eliminación completa. Esta situación

se propuso desde la década de los años 70, pero fue hasta 1996 cuando se aprobó una ley que obliga a las dependencias del gobierno a llevar a la práctica el MIPU y donde se reflejó rápidamente la aplicación de estas leyes fue en las escuelas (Food Quality Protection Act, 1996, Rambo, 1999). Sin embargo, la implementación de estas nuevas leyes no ha sido fácil y al año 2001 aún no había grandes avances (EPA, 2001).

Greene y Breisch (2002) mencionan que la implementación de MIPU en edificios públicos, básicamente ha consistido en cambiar los métodos tradicionales por otros más nuevos (uso de cebos en mayor cantidad en vez de realizar aspersiones), lo cual resulta en una disminución del uso de plaguicidas. Concluyen que este procedimiento no prueba en la práctica la superioridad del MIPU, ya que adicionalmente se usa el reporte del cliente como el método principal de vigilancia para detectar y reportar plagas; sin embargo, se cumple con el propósito de implementar a gran escala el sistema en este tipo de edificios públicos.

FUTURO DEL MANEJO DE PLAGAS EN ÁREAS URBANAS

El futuro del manejo de plagas en áreas urbanas estará relacionado estrechamente con las exigencias directas de la población, así como la legislación vigente en cada país. Es claro que la conciencia ciudadana juega un papel cada vez más importante en la decisión y autorización de los procedimientos que se deben seguir para controlar plagas en áreas urbanas. En la industria alimentaria es cada vez más estricto el uso de insecticidas con fines de seguridad y disminuir riesgos, y esta tendencia es semejante en la industria restaurantera, hospitales, zoológicos y en viviendas en general. Una visión clara de la forma en que se deberán manejar las plagas urbanas la puntualiza Davis (1986) quién señala en particular que la industria alimentaria requiere realizar actividades concretas debido a las necesidades de la empresa, del consumidor y también para cumplir con las regulaciones de sanidad de parte de las autoridades sanitarias.

Con los antecedentes señalados a lo largo de este capítulo se puede apreciar que la adaptación a una sociedad cada vez más demandante de servicios eficientes y seguros, el desarrollo estará enfocado a tres áreas clave. La primera será el desarrollo y uso de una mayor cantidad de insecticidas orgánicos novedosos, seguros, de bajo riesgo y, en la medida de lo posible, que tengan modos de acción diferente a los que se usan actualmente. Una segunda área estará enfocada a desarrollar mayor cantidad de formulaciones que reúnan los requisitos requeridos en áreas urbanas, tales como no manchar, ser de bajo riesgo, que se pueda aplicar en forma localizada y que se disponga de presentaciones seguras. Aunque el desarrollo de feromonas y uso de métodos físicos y mecánicos para atraer o repeler organismos plaga han tenido desarrollo sostenido, de acuerdo a las tendencias actuales, esta tercer área registrará un desarrollo considerable y tendrá mayores aplicaciones prácticas en el futuro.

Plaguicidas novedosos

En el desarrollo de nuevos plaguicidas se dará preferencia a productos que tengan mayor especificidad para algún grupo de insectos o de aquellos que alteren procesos metabólicos que solo ocurran en ellos, lo que podría ocasionar que en forma paulatina se eliminen los plaguicidas residuales. Aunque el grupo de los piretroides no es novedoso, aún se siguen desarrollando moléculas que tienen ventajas para su utilización, pero debido a que afectan el sistema nervioso estarán estrechamente vigilados por una sociedad cada vez más conciente. Debido a su alta especificidad para artrópodos, actualmente sigue existiendo mucho interés en el desarrollo de nuevos reguladores de crecimiento.

En los últimos cinco años se han desarrollado nuevos productos o formulaciones que están en proceso de registro en la EPA y que eventualmente estarán disponibles para su uso comercial. Algunos ejemplos de ellos son el imiprotrin, indoxacarb, perfluoro octano sulfonato de litio, fosfina líquida, pirimicarb, el repelente N-metil neodecanamida y el noviflumuron.

El imiprotrin es un piretroide que se recomienda para uso en interiores, pero no se debe aplicar en alimentos. El indoxacarb es un carboxilato que pertenece al grupo de las oxadiazineas, es efectivo como sustituto de organofosforados y bloquea los canales de sodio. El perfluoro octano sulfonato de litio (LPOS) es para uso residencial contra avispas; aparentemente su modo de acción es la eliminación de los órganos hematopoyéticos (impide la formación de sangre en mamíferos). La fosfina líquida se registró en 1999 en los Estados Unidos de América, aunque ya se utilizaba desde antes en Australia; es una formulación envasada a presión en cilindros semejantes a los que se usan para CO₂. Esta nueva formulación cubrirá algunos usos que tenía el bromuro de metilo, pero uno de los más importantes será la fumigación de productos almacenados.

El pirimicarb es un producto que ya había sido registrado hace algunos años, pero se había retirado del mercado. Se volvió a registrar en 1997 y es un producto sistémico muy específico contra pulgones y tiene la ventaja adicional de que es poco tóxico para insectos benéficos. La N-metil neodecanamida es un nuevo repelente para insectos que es efectivo para repeler cucarachas y hormigas. Para las personas que no aceptan el uso de insecticidas dentro de sus casas, ésta es una buena opción para aplicar en pisos, paredes o baños, aunque es ligeramente irritante. El noviflumuron es un inhibidor de la síntesis de la cutícula que después de varias etapas de experimentación, finalmente se encuentra disponible para controlar termitas, hormigas y cucarachas (Ameen *et al.* 2002).

En el caso de roedores, se han puesto en el mercado raticidas con diferentes modos de acción a los tradicionales, los cuales son en su mayoría anticoagulantes. La brometalina es un raticida nuevo que afecta la producción de energía y es efectivo contra roedores que son resistentes a anticoagulantes.

Formulaciones y presentaciones novedosas

El desarrollo de nuevas formulaciones y presentaciones novedosas en áreas urbanas, así como métodos de aplicación han estado en continuo avance en los últimos diez años, y con frecuencia se enfocan a la resolución de problemas específicos. Se seguirá dando importancia a formulaciones listas para usarse en las que se tratará de incluir todos los ingredientes activos que se encuentran en el mercado, se buscará que sean más seguras y que se encuentren en presentaciones que no puedan ser abiertas por niños y mascotas. Por otro lado, debido a que los técnicos manipulan continuamente los productos formulados, y en ocasiones productos concentrados, se han puesto en el mercado presentaciones con la cantidad suficiente de producto para verter en una cantidad determinada de agua, o también se pueden conseguir sobres solubles en agua, de modo que no existe contacto con el producto. Todos estos cuidados en la manipulación de productos químicos tienen la intención de disminuir el riesgo de ingestión accidental o intoxicación, lo que traerá como consecuencia mayor seguridad en la población en general. En el caso de roedores se han desarrollado formulaciones de cebos que son resistentes a las condiciones climáticas y cebos con bitrex un compuesto muy amargo que evita que humanos lo ingieran.

Métodos alternos a los plaguicidas

Los métodos alternos al uso de plaguicidas han tenido un crecimiento sostenido debido a que en muchos países existen regulaciones que impiden el uso de ellos en circunstancias particulares dentro de las ciudades. Adicionalmente, el riesgo potencial de los plaguicidas ha hecho que se acepten otras ideas que pueden conseguir los mismos resultados para eliminar o tener bajo control a una plaga. El propósito de la mayoría de éstas técnicas y métodos nuevos es el de atraer y atrapar a la plaga con procedimientos diversos, impedir que se establezca en exteriores o interiores y establecer diferentes tipos de barreras que le impidan el paso. Otras técnicas novedosas consisten en buscar la forma de hacerles el medio ambiente no agradable a las plagas y eliminar cualquier fuente de alimentación. El conocimiento de la biología y hábitos de las plagas, así como los cambios estacionales de ellos, aumentarán la probabilidad de éxito de éstos métodos.

Entre estas herramientas alternas están las feromonas, las barreras físicas, los repelentes físicos, los repelentes ultrasónicos, los digestores de materia orgánica, varios tipos de trampas. Casi todas estas herramientas se utilizaban inicialmente con el fin de prevenir y monitorear diferentes tipos de plagas, pero actualmente se han integrado de una manera muy eficiente dentro de los programas de manejo de las plagas.

Las feromonas han tenido un uso muy importante para controlar plagas de granos almacenados, y aunque la más conocida es la feromona de *Plodia interpunctella* (una de las plagas más importante a nivel mundial) actualmente existen en el mercado más de diez feromonas diferentes, entre las que se destacan la de *Tribolium* sp. y gorrillos de los graneros (Mueller 1998). Varias de estas feromonas no son específicas y pueden atraer a más de una especie. Las feromonas más efectivas son las que se presentan en insectos con

ciclos biológicos cortos, de modo que entre más longeva es la especie la efectividad de la feromona disminuye. También se ha sintetizado la feromona sexual de la cucaracha americana, *Periplaneta americana*, y la cucaracha oriental, *Blatta orientalis*, pero no han tenido un éxito comercial debido a problemas de efectividad en campo.

Las barreras físicas están dirigidas principalmente a eliminar o disminuir la infestación de insectos voladores y entre ellas se encuentran las cortinas hawaianas y las cortinas de aire. Las mallas se utilizan para evitar que pasen para aves que quieren posarse o anidar en interiores de edificios o construcciones. Los picos metálicos evitan que se posen las aves y están diseñados para varias especies de aves, aunque la paloma es el objetivo más frecuente en todo el mundo.

Aunque el repelente más tradicional es el que se aplica al cuerpo para repeler los picadas de los mosquitos y otros insectos, actualmente existen diversos tipos de compuestos repelentes que se aplican en el follaje o zonas donde pasan insectos u otras plagas como las aves o mamíferos (armadillos y venados, por ejemplo). Estos tipos de repelentes no producen daño y hacen que la plaga huya del lugar y se mantenga alejada del área que se está protegiendo.

Existe una gran cantidad de aparatos ultrasónicos que supuestamente repelen insectos, aves y mamíferos a través de la emisión de ruidos ultrasónicos que no son perceptibles al oído humano. Existen aparatos para diversos tipos de plagas tales como roedores, mamíferos y cucarachas y otros insectos; sin embargo existe información contradictoria acerca de la utilidad de ellos en situaciones prácticas.

Los digestores de materia orgánica han tenido gran éxito debido a que ayudan a remover materia orgánica que no es fácil de eliminar con el lavado normal. Consisten de materiales que contienen bacterias que ayudan a degradar la materia orgánica que se acumula en cualquier cuarteadura del suelo o pared y que puede servir como fuente de alimento para el estado larval de varias especies de insectos voladores como la mosca doméstica, drosófilos, fóridos y moscas de los drenajes.

Las trampas que se utilizan para controlar plagas urbanas son de varios tipos y entre ellas se pueden mencionar las trampas pegajosas, las trampas de captura individual o múltiple, y las trampas de luz negra. Las trampas pegajosas se utilizan para insectos rastreros como las cucarachas y hormigas, insectos voladores de varias especies de moscas, pero también son una de las mejores opciones para capturar ratones y ratas. Consiste de un pegamento inodoro que es resistente al agua y al cual se adhiere la plaga al ponerse en contacto con la superficie. El problema es que el polvo disminuye mucho la efectividad de las trampas pegajosas, pero se puede resolver con cambios más frecuentes.

Las trampas de captura individual o múltiple se utilizan para atrapar vivos diversos tipos de mamíferos (armadillos, roedores, mapaches) y aves. Estas trampas se utilizan en la industria alimentaria, pero también se emplean en lugares donde no se quiere dañar al animal, el cual usualmente es reubicado. En ocasiones se coloca una trampa pegajosa dentro de la trampa de captura para roedores.

Las trampas de luz negra más comunes se utilizan para controlar insectos voladores como la mosca doméstica. Emiten la luz a una longitud de onda de 365 nm que es donde responden varias especies de moscas y otros insectos voladores; han tenido aceptación en la industria alimentaria y existen variantes que se adaptan a situaciones particulares. Así, existen trampas inastillables, trampas con atrayentes alimenticios que aumentan su efectividad, trampas con feromonas, y en general ya no se usan las que destrazan el insecto por efecto de una descarga eléctrica. La mayoría de ellas atraen el insecto, le dan una descarga eléctrica ligera y después caen a una trampa peajosa que esta en el fondo y que no es visible al nivel de los ojos.

Entre otros de los métodos alternos que se han desarrollado con la finalidad de no usar plaguicidas está el uso de una corriente caliente de aire para eliminar insectos, roedores, y cualquier organismo vivo que se encuentre dentro de las instalaciones. Se utiliza principalmente en la industria alimentaria y tiene la gran ventaja de que es muy efectivo si se usa correctamente, pero tiene la desventaja de que es muy costoso, no es residual y puede ocurrir la reinfestación inmediatamente después del tratamiento. Sin embargo ésta técnica se adapta adecuadamente a un sistema de manejo de plagas donde se elimina la necesidad de usar plaguicidas.

Existe una gran cantidad adicional de herramientas que no sería posible listar en este capítulo, pero es claro que la imaginación humana es muy diversa y permitirá tener disponible alguna opción que sea eficiente y que se pueda integrar a un sistema de manejo de integrado de plagas urbanas. El uso apropiado de la inspección y monitoreo, así como la integración y combinación de todas estas herramientas alternas a insecticidas, hará que a mediano plazo nuestra dependencia de ellos se reduzca grandemente.

LITERATURA CITADA

Ahmad, M. y A.R. McCaffery. 1999. Penetration and metabolism of *trans*-cypermethrin in a susceptible and a pyrethroid-resistant strains of *Helicoverpa armigera*. Pestic. Biochem. Physiol. 65: 6-14.

Ahmad S. and A.J. Forgash. 1976. Nonoxidative enzymes in the metabolism of insecticides. Drug Met. Rev. 5: 141-164.

Ameen, A., W. Kaakeh y G. Bennett. 2000. Integration of chlorfenapyr into a management program for the German cockroach. (Dictyoptera: Blattellidae). J. Agric. Urban Entomol. 17: 135-142.

Ameen, A., W. Kaakeh, C. Wang, and G. Bennett. 2002. Laboratory and field efficacy of noviflumuron formulations against the German cockroach. In S. C. Jones *et al.* [eds.], Proceedings of the 4th International Conference on Urban Pests. 147-153. Charleston, SC. Pochontas Press, Inc.

Anonymous. 1957. World Health Organization, Expert Committee on Insecticides. W.H.O. Tech. Rep. Ser., 7th Rep.

Anspaugh, D.D., R.L. Rose, P.G. Koehler, E. Hodgson y R.M. Roe. 1994. Multiple mechanisms of pyrethroid resistance in the German cockroach, *Blattella germanica* (L.) Pestic. Biochem. Physiol. 50: 138-148.

Arthur, F.H. 2002. Efficacy of Ethioleprole applied alone and in combination with conventional insecticides for protection of stored wheat and stored corn. J. Econ. Entomol. 95: 1314-1318.

Becker, N. y J. Margalit. 1993. Use of *Bacillus thuringiensis israelensis* against mosquitoes and blackflies. pp. 147-170. En: *Bacillus thuringiensis*, an environmental biopesticide: Theory and practice. John Wiley & Sons.

Bennett, G.W., J.M. Owens y R.M. Corrigan. 1997. Truman's Scientific Guide to Pest Control Operations. Advanstar Communications Inc.

Benson, E.P., P.A. Zungoli y M.B. Riley. 2003. Effects of contaminants on bait acceptance by *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae). J. Econ. Entomol. 96: 94-97.

Benson, E.P. y P.A. Zungoli. 1997. Cockroaches. pp. 123-202. En: A. Mallis, Handbook of Pest Control. The behavior, life history, and control of household pests. Mallis Hadbook & Technical Training Company.

Braness, G. 1997. Insecticides used in pest control. pp. 1061-1101 En: A. Mallis, Handbook of Pest Control. The behavior, life history, and control of household pests. Mallis Hadbook & Technical Training Company.

Braness, G.A. 1990. Influence of temperatura, humidity, placement and formulation on residual effectiveness of insecticides for control of German cockroaches, *Blattella germanica* (L.) Rev. Pestic. Toxicol. 3: 111-135.

Charles, J.F., C. Nielsen-LeRoux y A. Delécluse. 1996. *Bacillus sphaericus* toxins: molecular biology and mode of action. Annu. Rev. Entomol. 41: 451-472.

Chinn K. y T. Narahashi. 1986. Stabilization of sodium channel states by deltamethrin in mouse neuroblastoma cells. J. Physiol. 380: 191-207.

Cole, L.M., R.A. Nicholson y J.E. Casida. 1993. Action of phenyl pyrazole insecticides at the GABA-gated chloride channel. Pestic. Biochem. Physiol. 46: 47-59.

Collins, P.J. G.J. Darglish, M. Bengston, T.M. Lambkin y H. Pavic. 2002. Genetics of resistance to phosphine in *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). J. Econ. Entomol. 95: 862-869.

Copping, L.G. y J.J. Menn. 2000. Biopesticides: a review of their action, applications and efficacy. Pest Manag. Sci. 56: 651-676.

Dauterman, W.C. y E. Hodgson. 1990. Metabolismo of xenobiotics. pp. 19-56. En: E. Hodgson y R.J. Kuhr (Eds) Safer insecticides. Development and use. Marcel Dekker Inc. New York

Davis R. 1986. Managing pests of food. pp. 287-311. En: G.W. Bennett y J.M. Owens (Eds.). Advances in urban pest management. Van Nostrand Reinhold. New York

deBethizy J.D. y J.R. Hayes. 1984. Metabolism. A determinant of toxicity. pp 59-100 En: A.W. Hayes (ed). Principles and methods of toxicology. Raven Press.

Dong, K., S.M. Valles, M.E. Scharf, B. Zeichner y G.W. Bennett. 1998. The knockdown resistance (*kdr*) mutation in pyrethroid-resistant German cockroaches. *Pest. Biochem. Physiol.* 60: 195-204.

Elliot, M. 1989. The pyrethroids: early discovery, recent advances and the future, pp. 337-352. *En: Furmidge C.G.L., G.T. Brooks y D.W. Gammon(Eds).The pyrethroid insecticides A scientific advance for human welfare? Special issue Pestic. Sci.* 27: 335-469. Publ for the Society of Chem Industry by Elsevier Applied Science Pub.

EPA, 2001. A report card for the EPA. Successes and failures in implementig the Food Quality and Potection Act. Consumers Union of U.S.

EPA, 2002. Cumulative risk assesment of pesticide chemicals that have a common mechanism of toxicity. Office of Pesticide Programs. US. EPA Washington, D.C. 20460. January 14 2002.

Ebeling, W. 1994. Heat and sílica aerogel are synergistic. *IPM Practitioner* 16(2) 11-12.

Ebeling, W. 1978. Urban entomology. The Regents of the Univ. Calif.

Fischer, A.B., Bigalke, B., Herr C. y Eikmann T. 1999. Pest control in public institutions. *Toxicology Letters:* 107: 75-80.

Food Quality Protection Act, 1996. Food Quality Protection Act of 1996. Public Law 104-170. Section 303. Integrated Pest Management.

Fournier, D., J.M. Bride, F. Hoffmann y F. Karch, 1992. Acetylcholinesterase: two types of modifications confer resistance to insecticide. *J. Biol. Chem.* 267: 14270-14274.

Garry, V.F., J. Griffith, T.J. Danzl, R.J. Nelson, E.B. Whorton, L.A. Krueger y J. Cervenka. 1989. Human genotoxicity. *Pesticide Applicators and Phosphine Science:* 246: 252-254.

Georghiou, G.P. 1972. The evolution of resistance to pesticides. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 133-168.

Georghiou, G.P. 1983. Management of resistance in insects. pp. 769-792. *En: G.P. Georghiou and T. Saito (eds.) Pests resistance to pesticides, Plenum Press New York.*

Georghiou, G.P. y C.E. Taylor. 1986. Factors influencing the evolution of resistance. pp. 157-169 *En: National Research Council (ed). Pesticide resistance: Strategies and tactics for management. Acad. Press. Washington, D.C.*

Georghiou, G.P. C.E. Taylor. 1977a. Genetic and biological influences in the evolution of insecticide resistance. *J. Econ. Entomol.* 70:319-323.

Georghiou, G.P. y C.E. Taylor. 1977b. Operational influences in the evolution of insecticide resistance. *J. Econ. Entomol.* 70: 653-658.

Greene, A. y N.L. Briesch. 2002 Measuring integrated pest management programs for public buildings. *J. Econ. Entomol.* 95: 1-13.

Greene , B.M., H.R. Taylor, E.W. Cupp, R.P. Murphy, A.T. White, M.A. Aziz, H. Schultz-Key, S.A. D'Anna, H.S. Newland, L.P. Goldschmidt, C. Auer, A.P. Hanson, S.W. Freeman, E.W. Reber y P.N. Williams. 1985. Comparison of ivermectin and diethylcarbamazine in the treatment of onchocerciasis. *New England J. Med.* 313: 133-138.

- Hemingway, J. and H.P.P. Karunaratne. 1998.** Mosquito carboxylesterases: a review of the molecular biology and biochemistry of a mayor insecticide resistance mechanisms. *Med. Vet. Entomol.* 12: 1-12.
- Hinkle N. 2000.** Delusory parasitoidis. *Am. Entomol.* 46: 17-25.
- Hollingshaus, J.G. 1987.** Inhibition of mitochondrial electron transport by hydramethylnon: a new amidinohydrazone insecticide. *Pestic. Biochem. Physiol.* 27: 61-70.
- Horiuchi, S. 1992.** Stagnation in the decline of the world population growth rate during the 1980s. *Science* 257: 761-765.
- Hostetler. M.E. y R.J. Brenner. 1994.** Behavioral and physiologically resistance to insecticides in the German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae) an experimental reevaluation. *J. Econ. Entomol.* 87: 885-893.
- Hoy, M. 1995.** Multitactic resistance management: An approach that is long overdue?. *Fla. Entomol.* 78: 444-451.
- Ishikawa, T. 1992.** The ATP-dependent glutathione S-conjugate export pump. *TIBS* 17: 463-468.
- Kramer, V.L., E.R. Carper y C. Beesley. 1993.** Control of *Aedes dorsalis* with sustained release methoprene pellets in a saltwater marsh. *J. Am. Mos. Control Assoc.* 9: 131-134.
- Leahey, J.P. (Ed.) 1985.** The pyrethroid insecticides. Taylor & Francis, London Lockwood, J.A., T.C. Sparks y R.N. Story. 1984. Evolution of insect resistance to insecticides: a reevaluation of the roles of physiology and behavior. *Bull. Entomol. Soc. Amer.* 41-51.
- Longm L. y D. DeAre. 1983.** The slowing of urbanization in the US. *Sci. Am.* 249: 33-42.
- Margalit J. y D. Dean 1985.** The story of *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti). *J. Am. Mosq. Control Ass.* 1: 1-7.
- Matsumura, F. 1985.** Toxicology of insecticides. Plenum Press. New York.
- Mehlhorn, H., N. Mencke y O. Hansen. 1999.** Effects of imidacloprid on adult and larval stages of the cat flea *Ctenocephalides felis* after *in vivo* and *in vitro* application: a light and electron-microscopy study. *Parasitol. Res.* 85: 625-637.
- Monro, H.A. U. 1961.** Manual de fumigación contra insectos. Estudios agropecuarios de la FAO No. 79; Colección FAO: Producción y Protección Vegetal No. 20.
- Mota-Sánchez D., P.S. Bills y M.E. Whalon. 2002.** Arthropod resistance to pesticides: Status and overview. *En: W.B. Wheeler (Ed.) Pesticides in agriculture and the environment.* Marcel Dekker, Inc. N.Y.
- Mueller, D.K. 1998.** Stored product protection. A period o transition. Insects Limited Inc.
- Narahashi, T. y A.E. Lund. 1980.** Giant axons as models for the study of the mechanism of action of insecticides. pp. 497-505. *En: Insect neurobiology and pesticide action (Neurotox. '79).* Soc. Chem. Industry. London.

- Nielsen-Leroux, C., J.F. Charles, I.Thiéry, and G.P.Georghiou. 1995.** Resistance in a laboratory population of *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) to *Bacillus sphaericus* binary toxin is due to a change in the receptor on midgut brush-border membranes. *Eur. J. Biochem.* 228: 206-210.
- Oppert B., K.J. Kramer. R.W. Beeman, D. Jhonson y W.H. McGaughey. 1997.** Proteinase-mediated insect resistance to *Bacillus thuringiensis* toxins. *J. Biol. Chem.* 272: 23473-23476.
- Owens, J.M. 1986.** Urban pest management: concept and context, pp. 1-12 *En:* G.W.Bennett y J.M. Owens (Eds.). *Advances in urban pest management.* Van Nostrand Reinhold, New York.
- Paine, T.D., J.G. Millar, T.S. Bellows, Jr. y L.M. Hanks. 1997.** Enlisting an underappreciated clientele: Public participation in distribution and evaluation of natural enemies in urban landscapes. *Am. Entomol.* 43(3): 163-172.
- Peterson, R.K. 2000.** Public perceptions of agricultural biotechnology and pesticides: Recent understandings and implications for risk communication. *Am. Entomol.* 46:8-16.
- Potter, M.F. y A.E. Hillery. 2003.** Trench warfare. *Pest Control Technol.* 31 (1): 42-55.
- Potter, M.F. y R.T. Bessin. 1998.** Pest control, pesticides, and the public attitudes and amplications. *Am. Entomol.* 44: 142-147.
- Potter, D.A. 1986.** Urban landscape pest management, pp. 219-251 *En:* G.W.Bennett y J.M. Owens (Eds.), *Advances in urban pest management.* Van Nostrand Reinhold, New York
- Rambo, G. 1999.** The future of IPM in schools is here today. *Pest Control Technol.* 27 (5): 103-104.
- Rie, J.V., W.H. McGaughey, D.E. Jhonson, B.D. Barnett y H.V. Mellaert. 1990.** Mechanism of insect resistance to the microbial insecticide *Bacillus thuringiensis*. *Science* 247: 72-74.
- Reid, B.L., G.W. Benett y S.J. Barcay. 1990.** Topical and oral toxicity of sulfuramid, a delayed-action insecticide, against the German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae). *J. Econ. Entomol.* 83: 148-152.
- Ross, M.H. 1998.** Response of behaviorally resistant German cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae) to the active ingredient in a commercial bait. *J. Econ. Entomol.* 91: 150-152.
- Ross, M.H. 1997.** Evolution of behavioral resistance in German cockroaches (Dictyoptera: Blattellidae) selected with a toxic bait. *J. Econ. Entomol.* 90: 1482-1485.
- Roush, R.T. 1991.** Management of pesticide resistance. pp. 721-740. *En:* D. Pimentel (ed.) *CRC Handbook of pest management in agriculture* CRC Press, Inc. Boca Raton, FL.
- Schnelmann R.G. y R.O. Manning. 1990.** Perfluoroactane sulfonamide: a structurally novel uncoupler of oxidative phosphorylation. *Biochimica et Biophysica Acta.* 1016: 344-348.
- Scott, J.G. 1996.** Cytochrome P450 monooxygenase-mediated resistance in insecticides. *J. Pestic. Sci.* 21: 241-245.
- Scott, J.G. 1991.** Insecticide resistance to insects. pp. 663-677. *In* D. Pimentel (ed.) *CRC handbook of pest management in agriculture.* CRC Press. Boca Ratón Fl.

- Scott, J.G. y K. Dong. 1994.** Mini review: *kdr*-type resistance in insects with special reference to the German cockroach, *Blattella germanica*. *Comp. Biochem. Physiol.* 109B: 191-198.
- Sidenius, K.E., T.E. Hallas, L.K. Poulsen y H. Mosbech. 2001.** Allergen cross-reactivity between house-dust mites and other invertebrates. *Allergy* 56: 723-733.
- Siegfried, B. D. y J. G. Scott. 1992.** Biochemical characterization of hydrolytic and oxidative enzymes in insecticide resistant and susceptible strains of the German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae). *J. Econ. Entomol.* 85: 1092-1098.
- Silverman J. y M.H. Ross. 1994.** Behavioral resistance of field-collected German cockroaches (Blattodea: Blattellidae) to baits containing glucose. *Environ. Entomol.* 23: 425-430.
- Silverman, J. y D.N. Bieman. 1993.** Glucose aversion in the German cockroach, *Blattella germanica*. *J. Insect. Physiol.* 39: 925-933.
- Silverman, J. y T.J. Shapas. 1986.** Cumulative toxicity and delayed temperature effects of hydramethylnon on German cockroaches (Orthoptera: Blattellidae). *J. Econ. Entomol.* 79: 1613-1616.
- Sparks, T.C., J.A. Losckwood, R.L. Byford, J.B. Graves y B.R. Leonard. 1989.** The role of behavior in insecticide resistance. *Pestic. Sci.* 26: 383-399.
- Stelmach, I., J. Jerzynska, W. Stelmach, P. Majak, G. Chew, P. Gorski y P. Kuna. 2002.** Cockroach allergy and exposure to cockroach allergen in Polish children with asthma. *Allergy* 57: 701-705
- Su, T.M. y S. Mulla. 1999.** Microbial agents *Bacillus thuringiensis* ssp. *israelensis* and *Bacillus sphaericus* suppress eutrophication, enhance water quality, and control mosquitoes in Microcosms. *Environ. Entomol.* 761-767.
- Thomas, M.C. 1995.** Invertebrate pests and the Florida Department of Agricultural and consumer services. *Fla. Entomologist.* 78: 39-44.
- Tsuji, K. 1991.** Reduction of pesticide toxicity by formulation. pp. 317-327. *En* E. Hodgson, R.M. Roe y N. Motoyama (Eds.), *Pesticides and the future: Toxicological studies of risks and benefits. Reviews In Pesticide Toxicology* 1.
- Valles, S.M., K. Dong y R.J. Brenner 2000.** Mechanisms responsible for cypermethrin resistance in a strain of German cockroach, *Blattella germanica*. *Pestic. Biochem. Physiol.* 66: 195-205.
- Valles, S.M. y R.J. Brenner. 1999.** Variation in hydramethylnon susceptibility among insecticide-resistant German cockroaches (Blattodea: Blattellidae) *J. Econ. Entomol.* 92: 617-623.
- Valles, S.M. y S.J. Yu. 1996.** Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in the German cockroach (Dictyoptera: Blattellidae). *J. Econ. Entomol.* 89: 21-26.
- Ware, G.W. 2000.** The pesticide book. Thomson Publications.
- Yamamoto D., F.N. Quandt y T. Narahashi. 1983.** Modification of single sodium channels by the insecticide tetramethrin. *Brain Res.* 344-348.

RESISTENCIA A LOS INSECTICIDAS

Gonzalo Silva Aguayo

Gonzalo Silva Aguayo

Departamento de Producción Vegetal
Facultad de Agronomía
Universidad de Concepción
Chillán. Chile.

INTRODUCCION

Los insecticidas son, sin lugar a dudas, el método de control de plagas más utilizado hoy en día. De hecho el aporte de los plaguicidas, en general, a la agricultura solamente se puede comparar con el de los antibióticos a la medicina moderna. Cuando hicieron su aparición en el mercado se pensó que los problemas de pérdida de cosechas por plagas serían solo un mal recuerdo del pasado o rudimentos de la agricultura moderna. Esta triunfal afirmación al poco tiempo se vio desmentida por los primeros reportes de insectos que no morían al realizar la aspersiones de insecticidas. En 1914 Melander puso la primera voz de alerta al entregar los primeros antecedentes de casos de resistencia de Escama de San José (*Quadraspidiotus perniciosus*), al Polisulfuro de Calcio. Hoy en día la resistencia a los insecticidas es un hecho completamente asumido e incluso el concepto de **Manejo de Insecticidas** ha variado a **Manejo de la Resistencia a los Insecticidas**. Esto entendiendo que estamos ante un fenómeno natural que a la larga de todas maneras se va a producir y que dependiendo del manejo más o menos racional que se haga de estos agroquímicos dependerá su intensidad y aparición en el tiempo. Debido a esto es que se torna de suma importancia conocer los antecedentes básicos de este problema que a la larga nos hará tomar las decisiones correctas que nos permitirán contar por el mayor tiempo posible con estas útiles herramientas de trabajo.

DEFINICION

La resistencia a los insecticidas es un concepto que no es fácil de definir. Sin embargo, se pueden encontrar en la literatura muchas definiciones, o intentos de definirla. Haciendo un poco de historia podemos señalar que una de las primeras definiciones la proporcionó Brown en 1957, quien señaló que «resistencia a insecticidas es el desarrollo de una habilidad en una raza de insectos a tolerar dosis de tóxicos que son letales para la mayoría de la población». Esta definición expresa en términos generales lo que es este fenómeno pero una mejor definición la dan Lagunes y Villanueva (1994), quienes definen la resistencia como la habilidad **complementaria** y **hereditaria** propia de un individuo o conjunto de ellos, que los capacita **fisiológica** y **etológicamente**, para bloquear la acción tóxica de un insecticida por medio de **mecanismos metabólicos** y **no metabólicos**, y en consecuencia, sobrevivir a la exposición que para otros sería letal. Otra buena definición para este fenómeno la proporciona Rodríguez (1996), quien señala que la resistencia

a plaguicidas es la selección, en una población de organismos, de un carácter genético heredable que se refleja en una falta de control a la **dosis mínima originalmente efectiva**. Ahora, si buscamos una que pudiéramos llamar "oficial" esta sería la del Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) que define a la resistencia a insecticidas como "la reducción en la sensibilidad de una población, que se refleja en repetidas fallas de un producto que baja sus expectativas de control al ser usado a la dosis recomendada para la plaga determinada y donde los problemas de almacenamiento del producto, aplicación y factores climáticos poco frecuentes pueden ser eliminados". Como se puede apreciar, la resistencia a los insecticidas no solo involucra la tolerancia metabólica a las diferentes moléculas sino que también cambios de comportamiento y morfología. Además se debe considerar lo que algunos autores llaman «falsa resistencia», que se produce cuando no se obtienen los resultados de control esperados a causa de que el producto está caduco, los equipos de aplicación no son los adecuados o están mal calibrados o bien el insecticida no es el adecuado para la plaga en cuestión. Todos estos factores se deben tener en cuenta al momento de evaluar este fenómeno

Resistencia cruzada y múltiple

La resistencia de los organismos no siempre se restringe a un sólo producto sino que a veces puede producirse a un grupo de compuestos tóxicos no necesariamente relacionados entre sí.

Resistencia cruzada

Es el fenómeno por el cual una población de artrópodos, sometida a presión de selección con un plaguicida, adquiere resistencia a él y a otros insecticidas relacionados toxicológicamente que no han sido aplicados, pero que son afectados, al menos, por un mecanismo de resistencia común (Lagunes y Villanueva, 1994). Un ejemplo de este tipo se puede ver en la mosca doméstica (*Musca domestica*), que adquirió resistencia al DDT y posteriormente a piretroides (Vargas, 1996).

Resistencia múltiple

Ocurre en una población que adquiere resistencia a varios insecticidas, tanto a aquellos que han sido aplicados, como a otros que no han sido aplicados ya sean de diferentes grupos químicos o modos de acción (Lagunes y Villanueva, 1994). Aunque mientras más similar es el mecanismo de acción, tanto mayor será el riesgo de resistencia (Saume, 1992). Un ejemplo también lo constituye la mosca doméstica (*Musca domestica*) que es simultáneamente resistente a organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides.

Resistencia cruzada negativa

Esta resistencia se presenta cuando una población que ha adquirido resistencia a un insecticida, regresa a una susceptibilidad cercana a la original, como consecuencia de la aplicación de otro insecticida que es toxicológicamente diferente (Lagunes y Villanueva, 1994).

SITUACIÓN ACTUAL

A principios de los años 40 se sabía que tal vez uno o dos insectos podrían mostrar algún nivel de resistencia pero no estaba completamente comprobado. Para 1986 la cifra de casos reportados llegaba a 447 (Georghiou y Taylor, 1986). Mientras que para 1996 esta cifra ya alcanzaba las 525 especies (Díaz y Rodríguez, 2000). Como se puede apreciar es cada vez mayor el número de especies que muestran resistencia a los insecticidas y por ende la tendencia futura es claramente al alza (Figura 1). De hecho Vargas (1996), señala que todas las estrategias de control de plagas utilizadas por el hombre, tales como el control químico a través de clorados, fosforados, piretroides, carbamatos o acilureas; el control biológico con parasitoides, bacterias y virus; e incluso el control cultural mediante variedades y rotaciones, han originado resistencia. Tampoco se puede obviar la connotación económica que esto puede tener pues lo habitual es que al observarse las primeras fallas en el control el agricultor comience a elevar la dosis del insecticida. Esto inmediatamente aumenta los costos de producción pues se requiere una mayor cantidad de insecticida por hectárea. Además aumentan los riesgos por intoxicaciones al estar los agricultores o quienes realizan la aplicación expuestos a una mayor concentración de tóxico. Vargas (1996), señala que para Estados Unidos el costo de la resistencia a plaguicidas significó US\$ 1400 millones anualmente además de que las compañías de agroquímicos han perdido US\$ 100 millones a causa de productos que no han alcanzado a recuperar sus inversiones por una temprana resistencia de las plagas.

De acuerdo a Georghiou (1987), las consecuencias más importantes de la resistencia a insecticidas son:

1. Aumento de los costos de control debido a aplicaciones más frecuentes y a la necesidad de cambiar a insecticidas de mayor costo.
2. Abandono de cultivos debido a la falta de insecticidas eficientes en el control de las plagas clave.
3. Aumento de los costos de investigación de nuevas moléculas insecticidas.
4. El consumidor paga por un producto más caro de producir.

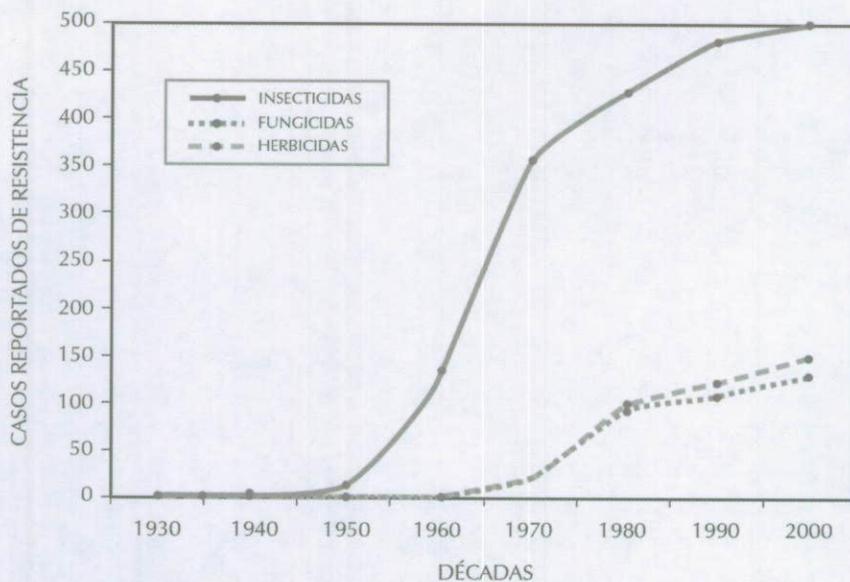


Figura 1. Evolución de la resistencia a los plaguicidas en el tiempo

En el Chile no existen grandes antecedentes de resistencia, lo cual no significa que las plagas presentes en el país sean todas sensibles sino que mas bien refleja una falta de investigación sistemática en el área. En el Cuadro 1 se hace un breve resumen de algunos de los pocos casos de resistencia a insecticidas reportados en Chile.

¿COMO SE PRODUCE?

A diferencia de la evolución de los caracteres morfológicos, los cuales requieren quizá miles de años de selección, la resistencia a insecticidas evoluciona en forma relativamente rápida y es principalmente un fenómeno bioquímico (Georghiou, 1983). Esta se basa en la selección de genes que codifican para las enzimas involucradas en la detoxificación de sustancias xenobioticas, o bien confieren insensibilidad en sus sitios de acción (Georghiou, 1987). Anteriormente existían dos teorías básicas con respecto al origen de los genes que confieren la resistencia. Estas se conocían como la teoría preadaptativa y la teoría postadaptativa (Crow, 1957; Lagunes y Villanueva, 1994).

La teoría postadaptativa señalaba que los insecticidas producen cambios bioquímicos (de naturaleza mutagénica) en los sobrevivientes de una aplicación de insecticida que hacen que aumente su resistencia. A su vez la teoría preadaptativa postula que los genes de resistencia ya existen en la población y los insecticidas sólo seleccionan a los individuos resistentes por naturaleza (Crow, 1957; Lagunes y Villanueva, 1994). Hoy en día se da por aceptado que la correcta es la teoría preadaptativa.

Los individuos que poseen los genes responsables de controlar dichos mecanismos son inicialmente raros en las poblaciones naturales. Estos ocurren en una frecuencia estimada que fluctúa entre 10^{-8} y 10^{-5} (Whitten y McKenzie, 1982). Debido a que estos individuos son los únicos que realmente pueden sobrevivir a la exposición de insecticidas, eventualmente constituyen una proporción creciente en la población, mientras que su contraparte susceptible es eliminada progresivamente (Figura 2). Sin embargo dicha microevolución acelerada implica costos adicionales para el insecto (Silva y Casals, 2000). Es decir, la síntesis de una gran cantidad de enzimas detoxificantes ocurre a costa de la disminución de otros caracteres importantes que están asociados con la capacidad biótica, tales como la tasa de crecimiento y maduración, longevidad y reproducción entre otros (Georghiou, 1987).

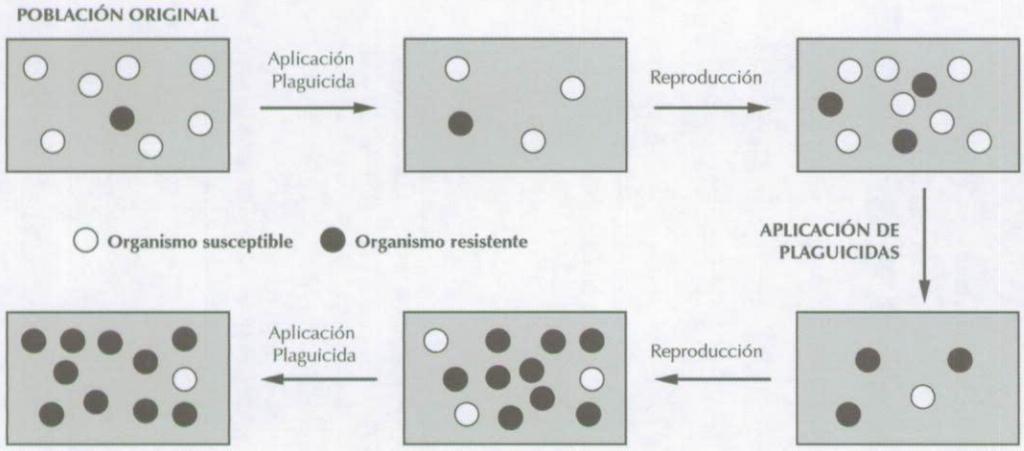


Figura 2. Secuencia de eventos en el desarrollo de la resistencia a plaguicidas (Hruska et al. 1997).

Cuadro 1.- Antecedentes de algunos registros de plagas resistentes a insecticidas en Chile.

NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTÍFICO	INSECTICIDA	LUGAR
Chanchito blanco de la vid	<i>Pseudococcus affinis</i> (Maskell)	Clorpirifos, Diazinon, Dimetoato, Paration	Ovalle, San Felipe, Calera de Tango, Graneros.
Pulgón verde del duraznero	<i>Myzus persicae</i> Sulzer	Dimetoato, Phosmamidon.	San Fernando, Talca, Chillán.
Pollilla del tomate	<i>Tuta absoluta</i> (Meyrick)	Deltametrina	Arica, Ovalle, Quillota.
Pollilla de las Crucíferas	<i>Plutella xylostella</i> (Linnaeus)	Deltametrina, Metamidofos.	Quillota, Colina.
Pollilla de la manzana	<i>Cydia pomonella</i> (Linnaeus)	Azinphosmethyl, Tebufenozide.	El Rosario (VI Región), La Compañía (VI Región), Villoco (R. Metropolitana), Molina (VII Región).
Mosquita blanca	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> Westwood	Metomilo	Quillota (V Región)
Araña roja europea	<i>Panonychus ulmi</i> (Koch)	Clofentezina, Hexithiazox, Carbophenotion, Dicofof, Chlordimeform	Codegua (VI Región), Graneros (VI Región), Placilla (VI Región), La Granja, Teno, Quinta de Tilcoco. (VI Región).
Araña bimaclada	<i>Tetranychus urticae</i> (Koch)	Carbophenotion, Dicofof, Chlordimeform.	La Granja, Teno, Quinta de Tilcoco. (VI Región).
Falsa araña roja de la vid	<i>Brevipalpus chilensis</i> Baker	Demetos-S-methyl, Malation, Paration.	No especificado en la fuente bibliográfica.

FUENTE: Elaborado por el autor a partir de Callejas (1992), Campos *et al* (1976), Garrido *et al* (1997), Georghiou y Lagunes (1991), Reyes *et al* (2003), Rodríguez (1999), Salazar y Araya (1997) y (2001), Sazo y Gasic (1993), Sazo y Raffo (1997), Silva (1996), Vargas y Alvear (2000).

TIPOS DE RESISTENCIA

La resistencia se clasifica de acuerdo a tres mecanismos: por comportamiento; morfológica y fisiológica.

1. Resistencia por comportamiento

Algunas poblaciones de insectos desarrollan cambios en su comportamiento en respuesta a la presión de selección ejercida por un insecticida, las cuales evitan la exposición del insecto a las dosis letales del tóxico (Hruska, 1997). La interrupción de la exposición al insecticida se puede deber a una acción irritante o bien a una acción repelente (Lagunes y Villanueva, 1994). En la acción irritante los insectos toman contacto con una pequeña concentración del insecticida y escapan del área tratada. La acción repelente consiste en que la plaga detecta al insecticida antes de entrar en contacto con él (Mckenzie, 1996).

2. Resistencia morfológica

Se presenta cuando alguna característica morfológica ocasiona la resistencia, por ejemplo, una menor área de exposición al tóxico (Lagunes y Villanueva, 1994).

3. Resistencia fisiológica

Es el tipo de resistencia más importante y se divide en mecanismos de resistencia metabólicos y no metabólicos. El mecanismo metabólico es el medio de resistencia más común de los insectos y ácaros (McKenzie, 1996). Consiste principalmente en la degradación química de la sustancia activa en forma más rápida que el tiempo que requiere para penetrar en el organismo. El mecanismo no metabólico se refiere principalmente a cambios en la sensibilidad del sitio activo, en la tasa de penetración, almacenamiento o excreción y en el comportamiento o forma de los insectos (Lagunes y Villanueva, 1994). Según Georghiou (1994), la resistencia fisiológica se puede dividir en dos mecanismos que son: la adición de un mecanismo de protección y la insensibilidad en el sitio de acción (**ISA**).

3.1. Adición de un mecanismo de protección

Dentro de la adición de un mecanismo de protección el mecanismo más importante es una penetración reducida en que el insecto puede disminuir la absorción del pesticida a través de la epidermis a causa de cambios en la estructura de fosfolípidos de la cutícula (McKenzie, 1996). También se pueden producir dos mecanismos más que son un mayor almacenamiento en los tejidos inertes, normalmente el tejido graso, y un aumento de la excreción. Cabe destacarse que ninguno de estos mecanismos puede presentar altos niveles de resistencia por sí solos (Lagunes y Villanueva, 1994). Por último existe un mecanismo que

consiste en un mayor metabolismo el cual es dependiente de los niveles de enzimas que tenga la población. El mayor metabolismo consiste fundamentalmente en mecanismos enzimáticos de función oxidativa múltiple (FOM), reducción, hidrólisis y conjugaciones entre otros, los cuales serán tratados con detalle más adelante.

3.2. Insensibilidad del Sitio de Acción (ISA)

Este tipo de resistencia es debido a cambios en el sitio donde actúa el insecticida. Debido a esta alteración del sitio de acción, el insecticida no se acopla y pierde el efecto sobre el estado fisiológico del insecto (Hruska, 1997). Un ejemplo característico de resistencia por ISA lo constituye la resistencia a *Bacillus thuringiensis*, en distintas especies de larvas, en donde se observa una falta de enlace de los cristales de proteína con la membrana intestinal de las larvas producto de una disminución de afinidad en la zona de unión o por ausencia de la molécula receptora (Gill et al. 1992). La insensibilidad del sitio de acción (**ISA**) consiste en tres mecanismos básicos que son una acetilcolinesterasa insensitiva, Kdr e insensibilidad a los ciclodienos.

3.2.1. Acetilcolinesterasa insensitiva

Este mecanismo se puede presentar en organofosforados y carbamatos (Lagunes y Villanueva, 1994). La resistencia se debe a que existen múltiples formas mutantes de la acetilcolina en la que el insecticida no puede acoplarse y no ejerce su acción (Hruska, 1997).

3.2.2.-Resistencia al derribo o Knockdown resistance (Kdr)

En segundo lugar tenemos una resistencia al derribo o **Kdr** que afecta tanto a piretroides como organoclorados (Lagunes y Villanueva, 1994). Básicamente se produce por una disminución en la sensibilidad de los canales de Sodio a estos compuestos. Este mecanismo ha sido relacionado con alteraciones en las propiedades fisicoquímicas de los fosfolípidos y proteínas de estos canales (Osborne y Pepper, 1992).

3.2.3.-Insensibilidad a los Ciclodienos

Es específico para insecticidas de este grupo (Lagunes y Villanueva, 1994) como es por ejemplo el endosulfan (Hruska, 1997). Este mecanismo de resistencia es el resultado de alteraciones en el sitio activo que reconoce a estos compuestos, es decir en el componente acarreador de iones cloro del complejo del GABA (ácido gama amino butírico) (French-Constant y Roush, 1992).

BASES GENÉTICAS DE LA RESISTENCIA A INSECTICIDAS

El conocimiento de las bases genéticas es esencial para elegir las prácticas de manejo de insecticidas más efectivas (McKenzie, 1996). La resistencia es un fenómeno hereditario que es transmitido de generación en generación, generalmente de acuerdo a la teoría mendeliana (Saume, 1992). En publicaciones de antigua data se señalaba que la resistencia era un gen dominante que se transmitía de generación en generación. Hoy en día se ha demostrado que esto no es tan categórico y de hecho el Kdr de los piretroides es incompletamente recesivo en su manifestación genética. Es decir, el gen S (susceptible), es incompletamente dominante lo cual hace que el homocigoto SS exprese casi la misma susceptibilidad que el heterocigoto Sr (Soderlund y Bloomquist, 1994). En general, desde el punto de vista genético, se acepta que la resistencia es de carácter dominante pero cuando el híbrido resultante del cruce de un parental resistente con un parental susceptible es resistente. En caso contrario se considera que la susceptibilidad es dominante (McKenzie, 1996). En la descendencia de la F1 del cruce de un individuo resistente con un individuo susceptible, raramente se presenta el caso de dos alternativas categóricas; resistencia o susceptibilidad. Lo usual es que se presenten varias categorías intermedias que a continuación se detallan (Saume, 1992).

Recesividad completa: El híbrido es idéntico al genotipo homocigoto recesivo.

Recesividad incompleta: El híbrido es significativamente más resistente que el genotipo homocigoto recesivo pero menos resistente que el fenotipo intermedio.

Intermedio: El híbrido es el promedio logarítmico de los genotipos homocigoto recesivo y del homocigoto dominante.

Dominancia incompleta: El híbrido es significativamente más resistente que el fenotipo intermedio pero menos resistente que el genotipo dominante homocigoto.

BASES FISIOLÓGICAS DE LA RESISTENCIA A INSECTICIDAS

Los insectos, tal como otros organismos vivos, incluido el hombre, deben modificar químicamente y eliminar una gran variedad de compuestos foráneos para mantener su homeostasis (Georghiou, 1994). Entre los compuestos foráneos, llamados xenobióticos, se encuentran los insecticidas quienes pueden sufrir muchas reacciones pero que en general corresponden a oxidaciones, deshidrogenaciones, reducciones, hidrólisis y conjugaciones (Soderlund y Bloomquist, 1991). Las enzimas que participan en la biotransformación de los insecticidas corresponden principalmente a los siguientes tipos:

Esterasas

El rol de estas enzimas se descubrió a principios de los años 60 (Scott y Wheelock, 1992). Las enzimas más comunes son las carboxilesterasas que confieren resistencia a insectos

como *Myzus persicae* y mosquitos del género *Culex* (Devonshire et al, 1999; Hemingway, et al, 1999). Estas enzimas son muy importantes porque son capaces de producir altos niveles de resistencia a grupos de insecticidas toxicológicamente no relacionados como lo son fosforados y piretroides (Scott y Wheelock, 1992).

Deshidroclorinasas

Esta es una enzima limitada a escasos sustratos como es el DDT en donde la enzima recibe el nombre de DDT-dehidroclorinasa y se ubica en la fracción soluble de la célula (Soderlund y Bloomquist, 1991). Habiéndose prohibido el uso de estos insecticidas este mecanismo de destoxificación ha perdido relevancia.

Glutation-s-transferasas

Estas enzimas principalmente proporcionan resistencia a organofosforados (Mckenzie, 1996). Constituyen un mecanismo de desactivación, originado por un gen (monofactorial), unidominante y posiblemente inestable (Lagunes y Villanueva, 1994). Las glutacion-s-transferasas junto con las oxidasas de función múltiple (FOM), representan las vías más importantes en la degradación de los pesticidas (Soderlund y Bloomquist, 1991).

Oxidasas de Función Múltiple (FOM)

Estas enzimas se encuentran en forma natural en el metabolismo del insecto debido a que, entre otras cosas, están involucradas en los procesos de destoxificación de aleloquímicos de las plantas (Berenbaum et al, 1992). Las oxidasas actúan incorporando oxígeno en la molécula del insecticida volviendolo menos tóxico o inocuo (Hruska et al, 1997). Normalmente los organofosforados, carbamatos y piretroides son afectados por FOM (Lagunes y Villanueva, 1994). En general, las reacciones de oxidación que ocurren con numerosos insecticidas son catalizadas por un sistema microsomal, cuya oxidasa terminal es una hemoproteína, conocida como citocromo P-450 (Mckenzie, 1996). Según Saume (1992), este mecanismo constituye el medio de destoxificación más importante debido fundamentalmente a su falta de especificidad, localización estratégica, inducibilidad y sincronización con el desarrollo de los insectos.

En el Cuadro 2 se indican los mecanismos de resistencia que afectan a los principales grupos de insecticidas.

FACTORES PREDISONENTES DE LA RESISTENCIA

Los factores que predisponen a la resistencia a los insecticidas se pueden dividir en genéticos, biológicos y operacionales (Georghiou y Taylor, 1986).

Cuadro 2.- Mecanismos de resistencia metabólica y no metabólica de mayor importancia en los insectos.

MECANISMOS DE RESISTENCIA	INSECTICIDAS DEGRADABLES
METABOLICOS	
FOM	Organoclorados, Organofosforados, Carbamatos, Piretroides.
Esterasas	Organofosforados
Carboxiesterasas	Malation, Fentoato
GHS-Transferasas	Organofosforados
DDT asa	Organoclorados (especialmente DDT)
Hidrolasas	Organofosforados
NO METABOLICOS	
Kdr	DDT y Piretroides
Ache insensible	Carbamatos, Organofosforados
Insensibilidad del sitio de acción (ISA)	Clorados del benceno, Ciclodienos
Penetración Reducida	General
Mayor Excreción	General
Mayor almacenamiento en tejido inerte	General

(FUENTE: Lagunes y Villanueva, 1994).

Factores Genéticos

El primer factor genético de importancia es la proporción inicial de genes. Es decir mientras mayor sea la cantidad de individuos con tolerancia natural más rápido se desarrollará la resistencia. Igualmente importante es el número de genes involucrados. Mientras menos sean los genes que confieren resistencia más fácil será que se desarrolle pero a la vez será más inestable. Cuando existe una mayor cantidad de genes el insecto se demora más en exhibir resistencia pero será mucho más estable en el tiempo. También existe el factor de dominancia de los genes, pues si domina un gen que codifica para oxidasas serán insecticidas degradados por estas enzimas aquellos que mostrarán resistencia y no así los degradados por esterazas por ejemplo.

Factores Biológicos/Ecológicos

El primer elemento de naturaleza biológica es la fertilidad y fecundidad de la especie. Aquellos insectos que tengan la capacidad de tener grandes progenies tienen mayores posibilidades de desarrollar resistencia. Otro factor es si la hembra es monogama o poligama pues mientras mayor sea la cantidad de machos con los que se aparee mayor será la posibilidad de obtener material genético resistente. Si posee reproducción asexual como es la partenogenesis la resistencia puede desarrollarse en forma más lenta ya que por ser la

progenitora de una reproducción sin cariogamia toda la descendencia será idéntica a ella. Por último aquellas especies de insectos capaces de tener un mayor número de generaciones por temporada tiene una mayor probabilidad de desarrollar resistencia a los insecticidas.

En lo referente a los factores ecológicos es de mucha relevancia la movilidad que el insecto pueda tener. Aquel insecto que se alimente de un mayor número de plantas (polífago) donde reciba aplicaciones de insecticida mostrará resistencia más rápido que uno que se alimente de un solo huésped (monófago) o de aquel que en algunas generaciones se refugia en plantas sin importancia económica o en malezas de zonas no cultivadas.

Factores Operacionales

El primer factor operacional a considerar es la naturaleza química del insecticida. Los insecticidas sistémicos son factores de selección más agresivos que los de contacto. También es importante el estado seleccionado pues en general los estados inmaduros acostumbran tener un mayor metabolismo que los adultos y por ende una mayor capacidad de detoxificación. La persistencia que el insecticida posea es también de suma importancia debido a que los insecticidas de mayor residualidad seleccionan individuos resistentes más rápido. Si se aplican mezclas de insecticidas puede producirse resistencia múltiple ya que se le está "obligando" al insecto a detoxificar dos sustancias, lo que seguramente habría hecho en forma más lenta si se hubiesen aplicado por separado. También son fundamentales el historial de insecticidas aplicados con anterioridad en la zona y la forma de aplicación. Recordando los conceptos de resistencia cruzada y negativa no se deben aplicar insecticidas toxicológicamente relacionados como pueden ser organofosforados y carbamatos pues comparten mecanismos de acción y la presión de selección es mucho más fuerte en aplicaciones de cubrimiento total que por zonas (o manchones) y además es mucho menor la selección cuando se aplica en forma manual que por avión o barra aplicadora.

RESISTENCIA A INSECTICIDAS NATURALES

Insecticidas vegetales

La mayoría de los insecticidas vegetales son extractos que están constituidos por un grupo de ingredientes activos de diversa naturaleza química (Simmonds, *et al.* 1992; Coats, 1994; Isman, 1997). Desde el punto de vista de la resistencia, una de las desventajas que según Isman (1997), presentan los insecticidas vegetales que es la inestabilidad de los componentes de la mezcla en este caso juega a nuestro favor, pues como hay poca probabilidad de que dos extractos sean siempre iguales, la presión de selección sobre la plaga no será siempre la misma. Esto quiere decir que aunque se trate de los mismos compuestos, no siempre estarán en las mismas concentraciones. En general, los insectos tardan más en desarrollar resistencia a una mezcla de ingredientes activos que a cualesquiera de sus componentes por separado. Esto puede deberse a que es más fácil detoxificar un complejo de sustancias que una sola molécula (Isman, 1997). Por ejemplo, Feng e Isman

(1995), señalan que en una evaluación de laboratorio, al aplicarse al áfido *Myzus persicae* (Sulzer), azadiractina (principal componente del Neem) sola, en 35 generaciones este fue capaz de desarrollar un nivel de resistencia nueve veces superior a la raza original. En cambio, con extracto de neem (que contenía la misma concentración de azadiractina), en el mismo período el áfido no mostró indicios de resistencia.

Bacillus thuringiensis

Bacillus thuringiensis es una bacteria del suelo, gram positiva, formadora de esporas (Gill et al. 1992). Esta bacteria como parte de su esporulación produce una inclusión cristalina que se solubiliza en el intestino medio de los insectos. Se conocen dos modos de acción como insecticida. En el primero, el insecto muere debido a que las protoxinas son activadas por las proteasas del intestino medio alterando la permeabilidad del epitelio del mesenterón y ocasionando que los ácidos del intestino pasen al hemocelo donde cambian el pH provocando la muerte del insecto. En el segundo caso, el hospedante muere a consecuencia de una toxemia debido a la parálisis del tubo digestivo (Lagunes y Villanueva, 1994). Estos compuestos, para poder actuar, se unen a unas vesículas con forma de pincel que se encuentran en el borde de la membrana del epitelio basal (Ferre y Van rie, 2002). Según Tabashnik et al, 1999, ya se ha reportado por lo menos una docena de casos de insectos resistentes a la toxina producida por esta bacteria. La falta de acoplamiento por una modificación del sitio de unión es considerada como el principal mecanismo de resistencia en insectos como *Plodia interpunctella* y *Plutella xylostella*. Estudios con la toxina CryIA(b), marcada radioactivamente, mostraron una correlación directa entre una reducción de 50 veces en la unión de las toxinas con una reducción de 100 veces de la toxicidad del compuesto marcado entre una raza sensible y una resistente de *P. xylostella* (Tabashnik, 1994). Otro mecanismo potencial de resistencia incluye la disminución de la solubilización o activación de la toxina en el intestino medio del insecto antes de que ocurra la unión disminuyendo la sensibilidad a los eventos post-unión como la inserción membranosa y la formación del poro (Tabashnik, 1994). En cuanto a la resistencia cruzada no se ha observado en relación a los insecticidas organosintéticos. Sin embargo, si se ha detectado resistencia cruzada entre razas de *Bacillus thuringiensis* (Tabashnik, et al 1999).

Avermectinas

Las avermectinas pertenecen a un grupo de insecticidas conocidos como lactonas macrocíclicas (Lasota y Dybas, 1991) y se obtienen mediante fermentación de un microorganismo conocidos como *Streptomyces avermectilis* (Lasota y Dybas, 1991; Lagunes y Villanueva, 1994). Su modo de acción consiste en que imitan la acción del ácido gamma-aminobutírico (GABA) bloqueando el flujo clorinado dependiente de este compuesto hacia el complejo acarreador de iones de su receptor clorinado (Clark, et al, 1992). Clark et al, 1994, señalan que tanto los mecanismos de resistencia primarios (mayor excreción, metabolismo oxidativo y menor penetración) como los secundarios (insensibilidad del sitio de acción, conjugación e hidrólisis) están involucrados en la resistencia a las avermectinas.

Sin embargo, en términos generales se asume que la resistencia a estos compuestos se produce por una disminución en la penetración cuticular y un aumento en la destoxificación a través de enzimas oxidasas (FOM) (Clark, et al, 1992). Genéticamente la resistencia a estos compuestos es usualmente autosomal, recesiva y poligenica (Clark et al, 1994).

RESISTENCIA A INSECTICIDAS EN ENEMIGOS NATURALES

La evolución de la resistencia a plaguicidas químicos en insectos y ácaros fitófagos es una seria amenaza a la producción agrícola (Tabashnik y Croft, 1985). Sin embargo se pensó que seguramente los enemigos naturales también podrían hacer lo mismo (Croft y Strickler, 1982). Lamentablemente las plagas desarrollan resistencia mucho más rápido que los parasitoides y depredadores (Tabashnik y Croft, 1985). Según Croft (1977) y Hoy (1994) el primer caso documentado de un enemigo natural resistente a insecticidas fue el bracónido *Macrocentrus ancyliivorus*, parásito de *Cydia molesta*, que en condiciones de laboratorio desarrolló resistencia luego de 70 generaciones de selección. Croft y Strickler (1982) y Tabashnik y Johnson, (1999), señalan que hay tres teorías que explican porque los enemigos naturales desarrollan resistencia a los plaguicidas en forma más lenta que las plagas:

a) Disposición a la detección

Una hipótesis de porque los enemigos naturales desarrollan resistencia de manera más lenta que las plagas se debe a que no existe la disposición para detectarla. Es decir, se está demasiado pendiente de la resistencia en plagas y no se le presta atención a los insectos benéficos (Tabashnik y Johnson, 1999). Sin duda, esta hipótesis es muy poco probable ya que existen antecedentes de bastante tiempo atrás de reportes de enemigos naturales resistentes aunque no se puede negar que el foco de atención permanente son las plagas de importancia económica.

b) Hipótesis del alimento limitado

Después de una aplicación de insecticidas, los insectos fitófagos sobrevivientes tienen un ilimitado suministro de alimento, mientras que los enemigos naturales quedan en desventaja para sobrevivir y reproducirse ante la baja densidad de la plaga huésped sobreviviente a la aplicación. En consecuencia, este "pasa hambre", no se reproduce y tiende a migrar a zonas sin aplicaciones de insecticida donde haya una mayor probabilidad de encontrar una población silvestre de la presa (Croft, 1977; Croft y Strickler, 1982; Tabashnik y Johnson, 1999).

c) Hipótesis de la variación genética

Esta hipótesis considera que las plagas poseen una mayor variabilidad genética y por lo tanto más propensión a desarrollar resistencia que los depredadores y parasitoides. Los

insectos fitófagos requieren, en general, de una amplia variación de enzimas que les permitan alimentarse de varias plantas. Muchas de las enzimas involucradas en el metabolismo, también juegan un papel defensivo importante al inactivar compuestos xenobioticos como los insecticidas. Además no podemos olvidar que varios grupos de insecticidas como los carbamatos y piretroides, son derivados sintéticos de moléculas vegetales (Croft, 1977; Croft y Stickler, 1982; Tabashnik y Johnson, 1999).

Diferencia entre Depredadores y Parasitoides

Hasta ahora sólo se había hablado en forma general de enemigos naturales pero estos se dividen en depredadores y parasitoides y ambos responden de diferente manera a los insecticidas. Croft (1977), señala que, en condiciones de campo, nunca se ha documentado una especie de parasitoide resistente, pero estos sin lugar a dudas poseen el potencial de serlo como lo sugieren los estudios de laboratorio donde mediante selección artificial se han obtenido razas resistentes. De hecho se han documentado más casos de depredadores que parasitoides resistentes a insecticidas (Croft, 1976). De 77 casos documentados, 66 de ellos corresponde a depredadores y sólo 11 a parasitoides (Croft y Strickler, 1982). En general, los parasitoides se exponen a mayores concentraciones de plaguicidas, especialmente aquellas especies que se alimentan de polen contaminado con el insecticida (Croft y Morse, 1979). Además, Hoy (1994) indica que los parasitoides tienen baja aptitud para desarrollar resistencia debido a que poseen poca variabilidad genética, lo cual sumado a una reproducción partenogénica arrenotoca reducen altamente el polimorfismo y por ende las posibilidades de que aparezcan individuos con una mayor proporción de genes de resistencia.

Hoy en día existe una línea de investigación que busca integrar el control químico con el biológico a través de la producción de enemigos naturales resistentes a los mismos insecticidas que se utilizan para el control de las plagas. Con el advenimiento de la biotecnología se han conseguido importantes avances en el tema ya que básicamente consiste en ubicar el gen que confiere la resistencia, cortarlo e incorporarlo al pool genético del enemigo natural. Como todas las nuevas técnicas aún no está completamente afinada pero seguramente en el futuro será una herramienta importante en el manejo integrado de plagas. A continuación se describen brevemente algunas de las ventajas de esta técnica.

VENTAJAS DEL USO DE ENEMIGOS NATURALES RESISTENTES A INSECTICIDAS

Integración de control químico y biológico

Sin lugar a dudas el desarrollo de resistencia a insecticidas en los enemigos naturales aumenta las posibilidades de integración del control biológico con el control químico. Esto permite que puedan trabajar juntos dos métodos de control que para muchos teóricamente son incompatibles. Un ejemplo exitoso de esto lo constituye el uso de phytoseidos

resistentes en frutales de hoja caduca. Croft y Strickler (1982), indican que el uso de razas resistentes de *Typhlodromus occidentalis* y *Amblyseius fallacis* ha permitido utilizar plaguicidas destinados a otras plagas (como *Cydia pomonella*) sin que los phytoseidos se vean afectados y mantengan un control permanente de los ácaros fitófagos.

Integración con otras técnicas de control

El usar enemigos naturales resistentes a insecticidas no es incompatible con otros métodos de control como es por ejemplo el uso de variedades resistentes o los métodos físicos. En el caso de las variedades resistentes estas presentan en algunos casos la ventaja de que al soportar una mayor capacidad de carga de la plaga proporcionan una mayor cantidad de presas para el enemigo natural lo cual permite aumentar su población y por ende su respuesta numérica. En el caso de los métodos físicos tampoco habría mayor interferencia pues estos no afectan directamente a la plaga sino que generalmente tienden a modificar condiciones que a la larga hacen el medio menos favorable para la plaga. Podría pensarse que esto último puede afectar también al enemigo natural (hipótesis del alimento limitado) pero los trabajos de Croft (1976), demuestran que mientras la población no baje de un límite que no le permita recuperar sus niveles normales no debería haber mayores trastornos.

Beneficios económicos

La rentabilidad económica es lo que a la larga justifica muchas de las decisiones que se toman dentro de un plan de manejo de cualquier actividad y obviamente el Manejo Integrado de Plagas no es la excepción. Un primer estudio sobre este punto lo encontramos en Croft (1990) quien señala que Hoyt entre 1957 a 1975, realizó un monitoreo en huertos de manzanos del estado de Washington sobre el impacto del control integrado basado en enemigos naturales resistentes a organofosforados. En este estudio se refleja una fuerte disminución en los costos especialmente por una reducción en las aplicaciones de plaguicidas. Esto significó una reducción en los costos de U\$60 a U\$ 20-30 por acre. Otro ejemplo en términos económicos lo proporciona Hoy (1991), quien señala que el uso de ejemplares de *Metasiusus occidentalis* resistentes a Carbaryl, azufre e insecticidas organofosforados en huertos de almendros, produjo una disminución en el uso de acaricidas y por ende un aumento de la rentabilidad de U\$24 a U\$44 por acre, lo cual significó una ganancia de U\$21.256.000 para los productores de almendros de California. Este mismo autor a su vez señala que en Nueva Zelandia cuando se introdujeron enemigos naturales resistentes a piretroides en 8.000 hectáreas de manzanos se ahorraron anualmente US\$1.8 millones. En términos más generales Croft (1990), señala que en el Estado de Michigan en Estados Unidos en un proyecto de seis años se determinó que la disminución de costos por ahorro de plaguicidas fue de un 90% lo cual se traduce en alrededor de 20-25 millones de dólares por año.

Beneficios Ambientales

Como se puede ver el primer beneficio ambiental constituye la disminución del uso de plaguicidas. Según Croft (1990) se reducen en promedio 2 a 3 aplicaciones por año las cuales pueden aumentar hasta 8 si se complementan con otras técnicas de control. A esto se agrega además la disminución en los riesgos de residuos en los alimentos, la contaminación de causas de agua y efectos secundarios en la vida silvestre que pudiese estar en contacto con los plaguicidas de manera fortuita como aves, peces u otros animales. No podemos olvidar también el menor riesgo por intoxicaciones tanto para los agricultores como para los propios aplicadores que usualmente no guardan las mínimas medidas de seguridad.

Menor desarrollo de resistencia a insecticidas en las plagas

Al disminuir el uso de plaguicidas también se disminuye la presión de selección con lo cual se retarda el desarrollo de resistencia en las plagas. Croft (1990), usando modelos matemáticos determinó que se produce una disminución de la resistencia a los acaricidas en ácaros fitófagos si se usan phytoseidos resistentes a organofosforados. Según este mismo autor en un programa normal de manejo estos ácaros desarrollarían resistencia en 2 ó 3 años mientras que usando enemigos naturales resistentes se tardarían 13 años.

COMENTARIO FINAL

Como se pudo apreciar a lo largo de todo el presente capítulo la resistencia es un fenómeno microevolutivo de una gran complejidad que afecta tanto a compuestos sintéticos como naturales. Dada la relevancia que ha tomado en los últimos años este fenómeno es que ha cambiado el concepto de Manejo de Insecticidas por el de Manejo de la Resistencia a los Insecticidas. Esto se debe de que ya se entiende que es un fenómeno natural que al corto, mediano o largo plazo de todas maneras se producirá y el tiempo dependerá únicamente del tipo de manejo que de ellos se haga. Es decir, mientras más irracional e irresponsable sea el manejo de los insecticidas más corto será el período en el que las plagas desarrollarán resistencia. A esto se debe agregar que dado los costos que esto implica y los nuevos requerimientos de registro cada vez será menor la posibilidad de contar con nuevas moléculas insecticidas en el corto plazo. Si además consideramos el creciente aumento de la población mundial anexo con una mayor demanda de alimentos se hace indispensable una mayor eficiencia en la protección de los cultivos con el objetivo de minimizar las pérdidas provocadas por los insectos. Por último sólo cabe señalar que los insecticidas tienen y seguirán teniendo un rol de suma relevancia en la producción de alimentos por lo que el contar por la mayor cantidad de tiempo posible con estas útiles herramientas depende única y exclusivamente del manejo de la resistencia que se haga.

LITERATURA CITADA

- Berenbaum, M., M. Cohen y M. Schuler. Cytochrome 1992.** P450 Monooxygenase genes in oligophagous lepidoptera. In: Mullin y J. Scott (Eds) Molecular mechanisms of insecticide resistance; Diversity among insects. ACS Symposium series 505. Washington. USA p 114-124.
- Brown, A.W., 1957.** Insecticide Resistance in arthropods. World Health Organization. Monograph Series N° 38. Geneva. Italy. 240p..
- Callejas, R. 1992.** Determinación de resistencia del chanchito blanco de la vid (*Pseudococcus affinis* (Maskell)), a cuatro insecticidas. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 60p.
- Campos, L. A. Nordenflycht, R. Charlin. 1976.** Resistencia de *P. ulmi* y *T. urticae* (Koch) a dicofol, carbophenotion y chlordimeform. Investigación Agrícola (Chile) 2(3): 115-119.
- Clark, J.M. J.A. Argentine, H. Lin y X.Y. Gao. 1992.** Mechanisma of Abamectin Resistance in the Colorado Potato Beetle. In: Mullin y J. Scott (Eds) Molecular mechanisms of insecticide resistance; Diversity among insects. ACS Symposium series 505. Washington. USA p 247-263.
- Clark, J.M.; J.G. Scott; F. Campos y J.R. Blomquist. 1994.** Resistance to avermectins: Extent, Mechanisms and Management Implications. Annu. Rev. Entomol 40:1-30.
- Coats J.R. 1994.** Risks from natural versus synthetic insecticides. Annu. Rev. Entomol. 39:489-515.
- Croft 1976.** Establishing insecticide-resistant phytoseiid mite predators in deciduous tree fruit orchards. Entomophaga 21 (4):383-399.
- Croft, B . 1977.** Resistance in arthropod predators and parasites In: Watson, D.L and A.W. Brown (Editors). Pesticide management and insecticide resistance. Academic Press. New York . USA. P 377-393.
- Croft B. 1990.** Arthropod biological control agents and pesticides. John Wiley and Sons. New York. USA. 724 p.
- Croft, B and J. Morse. 1979.** Research advances on pesticide resistance in natural enemies. Entomophaga 24(1):3-11.
- Croft, B and K. Strickler. 1982.** Natural enemy resistance to pesticides; documentation, characterization, theory and application. In: G.P. Georghiou and T. Satio (Editors): Pest resistance to insecticides Plenum. New York. p 669-703.
- Crown, J.F. 1957.** Genetic of insect resistance to chemicals. Annu. Rev. Entomol 2:227-246.
- Devonshire, A.L., L.M. Fields, S.P. Foster., G.D. Moores, M.S. Williamson y R.L. Blackman. 1999.** The evolution of insecticide resistance in the peach-potato aphid, *Myzus persicae*. In: Denholm, I., J.A. Pickett y A.L. Devonshire (Eds) Insecticide resistance: from mechanisms to management. CABI Publishing London. England, p 1-8.

Diaz, O y J.C. Rodríguez. 2000. Resistencia a insecticidas: Conceptos y procedimientos generales para su manejo. In: Bautista, N., A. Suárez y O. Morales (Eds). Temas selectos en Fitosanidad y Producción de Hortalizas. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo. México p 91-100.

Feng, R y M. Isman. 1995. Selection for resistance to azadirachtin in the green peach aphid, *Myzus persicae*. *Experientia* 51:831-833.

Ferré, J y J. Van Rie. 2002. Biochemistry and genetics of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annu. Rev. Entomol.* 47:501-33.

French-Constant, R., y R. Roush. 1992. Resistance detection and documentation: The relative roles of pesticidal and biochemical assays. In: Roush, T, y B. Tabashnik (Eds) *Pesticide resistance in arthropods*. Chapman and Hall INC. New York. USA., p 4-38

Garrido, C; J. Araya, M. Guerrero, L. Lamborot y T. Curkovic. 1997. Estudios de susceptibilidad/resistencia de *Plutella xylostella* a deltametrina, metamidofos y endosulfan. *Investigación Agrícola (Chile)* 17(1 y 2):69-77.

Georghiou G.P. 1987. Insecticides and pest resistance: The consequences of abuse. 36th Annual Faculty Research lecture, April 23. University of California, Riverside. USA. 27 p.

Georghiou, G.P y C.E. Taylor. 1986. Factors influencing the evolution of resistance In: E.H. Glass (Ed). *Pesticide resistance. Strategies and tactics for management*. NAS. Washington, D.C. USA p 157-169

Georghiou, G.P. 1994. Principles of insecticide resistance management. *Herbicide resistance Workshop*. Edmonton. Canada. *Phytoprotection* 75 (Suppl):51-59

Georghiou, G.P. 1983. Pesticide resistance in Time and Space. In: Georghiou, G., y T. Saito (Eds). *Pest Resistance to Pesticides*. Plenum Press. New York. USA., p 1-46.

Georghiou, G y A. Lagunes. 1991. The occurrence of resistance to pesticides in arthropods. An index of cases reported through 1989. FAO. Roma Italia. 320p.

Gill, S., E. Cowles y P. Pietrantonio. 1992. The mode of action of *Bacillus thuringiensis* endotoxins. *Annu Rev Entomol* 37:615-636.

Hemingway, J., N. Hawkes, L. Prapanthadara, K.G.I. Jayawardenal y H. Ranson. 1999. The role of gene splicing, gene amplification and regulation in mosquito insecticide resistance. In: Denholm, I., J.A. Pickett y A.L. Devonshire (Eds) *Insecticide resistance: from mechanisms to management*. CABI Publishing London. England, p 19-24.

Hoy, M.A. 1991. Genetic improvement of phytoseiids: in theory and practice In: F. Dusháber and V. Bukua (Eds.). *Modern Acarology*. Academia Prague and SPB Publishing, The Hage, Vol. 1 pp. 175-184.

Hoy, M.A. 1994. Pesticide resistance in arthropod natural enemies; variability and selection responses In: Roush and Tabashnik (eds). *Pesticide resistance in arthropods*. Academic Press p 203-229.

- Hruska, A., H. Vanegas y C. Pérez. 1997.** La resistencia de plagas agrícolas a insecticidas en Nicaragua: Causas, Situación Actual y manejo. Publicación DPV N° 657. 21 p.
- Isman B.M. 1997.** Neem and other botanical insecticides: barriers to comercialization. *Phytoparasitica* 25(4):339-44.
- Lagunes, A y J. Villanueva. 1994.** Toxicología y manejo de Insecticidas. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo. Texcoco. México. 264 p.
- Lasota, J. y R.D. Dybas. 1991.** Avermectins, a novel, class of compounds: Implications for use in arthropod pest control. *Annu. Rev. Entomol* 36:91-117.
- McKenzie, J. 1996.** Ecological and evolutionary aspects of insecticide resistance. Academic Press. San Diego. USA. 185 p.
- Melander, A.L. 1914.** Can insects become resistant to sprays? *J. Econ. Entomol.* 7:167-173.
- Osborne M.P y D.R. Pepper. 1992.** Mechanisms of kdr and super-kdr resistance. In: Mullin y J. Scott (Eds) *Molecular mechanisms of insecticide resistance; Diversity among insects.* ACS Symposium series 505. Washington. USA p 71-89
- Reyes, M. J. Bouvier, T. Boivin, E. Fuentes y B. Souphanor. 2003.** Susceptibilidad a insecticidas y actividad enzimática en poblaciones de *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) provenientes de tres huertos de manzanos de la Región del Maule. *Agricultura Técnica (Chile): En Arbitrio.*
- Rodríguez, J.C. 1996.** ¿Cuándo Una población de artrópodos es resistente a plaguicidas?. Memoria VI Congreso Internacional de Manejo Integrado de Plagas. Acapulco. México p 136.
- Rodríguez, P. 1999.** Detección y evaluación de resistencia de *Cydia pomonella* a azinphos metil. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 42p.
- Salazar, E. y J. Araya. 1997.** Detección de resistencia a insecticidas en la polilla del tomate. *Simiente* 67(1-2):8-22.
- Salazar, E. y J. Araya. 2001.** Respuesta de la polilla del tomate, *Tuta absoluta* (Meyrick), a insecticidas en Arica. *Agricultura Técnica (Chile)* 61(4):429-435.
- Saume, F. 1992.** Introducción a la Química y Toxicología de insecticidas. Industria Gráfica Integral. Maracay. Venezuela. 212p.
- Sazo, L y C. Gasic. 1993.** Detección de resistencia de araña roja europea *Panonychus ulmi* (Koch), a dicofol y propargite en manzanos bajo condiciones de laboratorio. *Investigación Agrícola (Chile):* 13(1 y 2):39-42.
- Sazo, L y G. Raffo. 1997.** Resistencia de huevos de araña roja europea a clofentezina y hexithiazox en manzanos. *Investigación Agrícola (Chile):* 17(1y2): 35-39.

Scott J., y G.D. Wheelock. 1992. Characterization of a Cytochrome P450 responsible for Pyrethroid resistance in the Housefly. *In*: Mullin y J. Scott (Eds) Molecular mechanisms of insecticide resistance; Diversity among insects. ACS Symposium series 505. Washington, USA p 16-30.

Silva, G. 1996. Respuesta bajo condiciones controladas del pulgón verde del duraznero (*Myzus persicae* Sulzer) proveniente de distintas siembras de remolacha (*Beta vulgaris* var *sachariffera*) a la acción de insecticidas organofosforados y carbamatos. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Talca. Talca. Chile. 110h.

Silva G., y P. Casals. 2000. Resistencia a los insecticidas. Boletín Técnico. Facultad de Agronomía. Universidad de Concepción. 42 p.

Simmonds, M.S; H.C. Evans and W.M. Blaney. 1992. Pesticides for the year 2000: mycochemicals and botanicals. *In*: Aziz, A; S.A. Kadir and H. Barkov (Editors). Pest management and the environment in 2000. CAB International. Wallingford, Oxon, UK. P. 127-64.

Soderlund D.M., y J.R. Blomquist. 1991. Molecular mechanisms of insecticide resistance. *In*: Pesticide resistance in arthropods *In*: Roush, T, y B. Tabashnik (EDS) Pesticide resistance in arthropods. Chapman and Hall INC. New York, USA., p 58-96

Tabashnik, B.E. 1994. Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annu. Rev. Entomol* 39:47-79.

Tabashnik, B and B. Croft. 1985. Evolution of pesticide resistance in apple pests and natural enemies. *Entomophaga* 30(1):37-49.

Tabashnik, B y M. Johnson. 1999. Evolution of pesticide resistance in natural enemies. *In*: T.S. Bellows, T.W. Fisher, L.E. Caltagirone, D.L. Dahlsten, C. Huffaker y G. Gardh (Eds) Handbook of Biological Control. Academic Press. USA. p 673-689.

Tabashnik, B, E. Liu, T. Malvan, D. Heckel, L. Mason y J. Ferré. 1999. Insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. uniform or diverse *In*: Denholm, I., J.A. Pickett y A.L. Devonshire (Eds) Insecticide resistance: from mechanisms to management. CABI Publishing London. England p 1751-1756.

Vargas, R. 1996. Resistencia a pesticidas de plagas agrícolas. Tierra Adentro N°8 Mayo-Junio p 50-52.

Vargas R, y A. Alvear. 2000. Determinación de la susceptibilidad de tres poblaciones de *Trialeurodes vaporariorum* Westwood (Hemiptera: Aleyrodidae). *Agricultura Técnica (Chile)* 60(4):341-349.

Whitten, J., y J.A. McKenzie. 1982. The genetic basis of pesticide resistance. *Proc. 3rd Australian Conf. Grassl. Invert. Ecol.*, Adelaide (K.E. Lee, Ed) p 1-17.

MANEJO DE LA RESISTENCIA A LOS INSECTICIDAS

José Concepción Rodríguez Maciel

Gonzalo Silva Aguayo

José Concepción Rodríguez Maciel

Programa de Entomología y Acarología
Instituto de Fitosanidad
Colegio de Postgraduados
Montecillo. México

Gonzalo Silva Aguayo

Departamento de Producción Vegetal
Facultad de Agronomía
Universidad de Concepción
Chillán. Chile.

INTRODUCCION

El primer caso documentado de resistencia a insecticidas apareció en un artículo publicado en el *Journal of Economic Entomology* titulado «¿pueden los insectos volverse resistentes a las aspersiones?». En el citado artículo, el Dr. Melander descubrió, en huertos de manzanos, localizados en el estado de Washington, una raza de insectos de la escama de San Jose, (*Quadraspidiotus perniciosus* (Comstock)), resistente al sulfuro de calcio (Melander 1914). Es probable que el título haya sido asignado de esta manera, con la finalidad de incrementar la posibilidad de que fuera publicado, ya que en aquella época no se consideraba que este fenómeno pudiera ocurrir. Actualmente, existen más de 533 casos documentados de resistencia en campo (Mota-Sánchez *et al.* 2002).

Hoy en día, se asume que todas las poblaciones de insectos son capaces de desarrollar, en un tiempo variable, resistencia a cualquier agente que ejerza una presión de selección importante. En consecuencia, la duda no es si la resistencia se desarrollará, sino más bien en qué tiempo ocurrirá y cuales serán sus propiedades (Georghiou 1983, Delhom *et al.* 1992, Díaz y Rodríguez *et al.* 2002).

En la literatura existen abundantes casos de resistencia en insectos con diferentes hábitos e importancia: fitófagos, vectores de enfermedades tanto a plantas como al ser humano, de importancia pecuaria, agentes de control biológico, etc (Lagunes 1981, Roush y Miller 1986, Roush 1989).

En la actualidad, el costo económico mundial de la resistencia supera los cuatro mil millones de dólares americanos (Pimentel *et al.* 1991). A pesar de ello, la cuestión económica no es la única involucrada y probablemente tampoco la más importante. La resistencia generalmente conlleva a un uso más abundante de insecticidas y por ende a una mayor contaminación ambiental (Hoy 1999). Por ejemplo, en la región de Tapachula, México, el algodón entró en fase de crisis a principios de los 80's; en un intento desesperado para controlar las plagas, se llegaron a aplicar 29 litros de ingrediente activo por hectárea en una temporada (Georghiou y Mellon 1983).

TERMINOLOGÍA SOBRE RESISTENCIA A INSECTICIDAS

Población resistente. La resistencia a insecticidas es un proceso microevolutivo de adaptación a ambientes contaminados con insecticidas (Whalon y McGaughey 1998). A la fecha, han existido muchas definiciones de «resistencia a insecticidas» (WHO 1957, Crow 1960, Sawicki 1987), y principalmente se han utilizado para describir la presencia de genes de resistencia a diferentes niveles: celular, individual y poblacional. Desde el punto de vista agronómico, es importante referir este término al nivel de población, por varias razones:

- a) El manejo de plagas de mediana y alta peligrosidad debe darse a nivel de agroecosistema, por lo tanto, el concepto de «población» es de gran relevancia.
- b) A pesar de que un individuo en particular pueda ser altamente resistente, como tal, no impacta agronómicamente al cultivo. Sin embargo, la imposibilidad de mantener la densidad poblacional a un nivel tolerable (abajo del umbral de acción), se puede reflejar de manera importante en la calidad y cantidad de producto agrícola cosechado. El problema se agrava aún más cuando se trata de manejar insectos vectores de enfermedades; en este caso, niveles de resistencia relativamente bajos pueden conllevar a un fracaso en el control químico en campo debido a que se requiere de una baja densidad de insectos para diseminar eficientemente a la mayoría de las enfermedades importantes de los cultivos.

Rodríguez *et al.* (2002) proporciona un concepto de manejo de la resistencia apropiado desde el punto de vista agronómico al definirla como: **«la selección de un carácter genético heredable cuya expresión fenotípica conlleva al fracaso en campo de la dosis más baja originalmente efectiva»**

Por lo tanto se descarta como problema de resistencia a los casos en los cuales el insecticida no se aplicó adecuadamente, estaba caduco, o que no se siguieron estrictamente los criterios de control químico recomendados para tal fin, entre otras cosas.

Población altamente resistente. Es aquella que no puede ser controlada económicamente a ninguna dosis (Lagunes 1990). Desafortunadamente este es un escenario común cuando se aumenta la dosis y el número de aplicaciones; las poblaciones llegan a un estado de homocigosis y por lo tanto expresan, según el mecanismo de resistencia involucrado, niveles de resistencia extremadamente altos.

Resistencia cruzada positiva. Con frecuencia también se llama simplemente resistencia cruzada. Se refiere a la protección contra varios insecticidas debido a la expresión de un solo mecanismo de resistencia (Lagunes 1980, Mani 1985). Por ejemplo, el mecanismo conocido como resistencia al derribo (kdr por sus siglas en inglés de knockdown resistance) afecta tanto al DDT como a los piretroides; este fenómeno se da debido a que ambos insecticidas poseen el mismo modo de acción (Bohmont 1990).

Resistencia cruzada negativa. Es el aumento en la susceptibilidad al insecticida «A», debido al desarrollo de resistencia al insecticida «B» y viceversa. Los expertos en el desarrollo de insecticidas buscan afanosamente parejas de insecticidas novedosos con dichas propiedades; sin embargo, no son muchos los casos que al respecto existen. Por ejemplo, se ha observado que la resistencia a insecticidas organofosforados, como el temefós, aumenta la susceptibilidad a insecticidas piretroides, como la permetrina, en larvas de mosquito *Culex pipiens quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae) (Lagunes 1980).

Resistencia múltiple. Es la protección contra varios insecticidas no relacionados debido a la coexistencia de diferentes mecanismos de resistencia seleccionados de manera independiente. En la mayoría de los casos, la presencia de genes de resistencia reduce la capacidad biótica del individuo que los posee. En consecuencia, se creía que era imposible que, en un solo individuo, coexistiera más de un mecanismo de resistencia. Actualmente se sabe que este es un fenómeno común que se deriva de la aplicación simultánea de una amplia variedad de insecticidas en el agroecosistema. De esta manera, una población de insectos (o un insecto en particular) tiene la capacidad de desarrollar resistencia a todos los insecticidas disponibles para su combate en el mercado; como sucedió con *Heliothis virescens* F. en la región de Matamoros-Tamaulipas, México (Smith y Reynolds 1977, Wolfenbarger et al. 1981).

En otro ejemplo, la catarinita de la papa, *Leptinotarsa decemlineata* ha desarrollado resistencia a más de 38 diferentes insecticidas (Mota-Sánchez et al. 2002); en consecuencia, los agricultores, en su desesperación por controlar a esta plaga, han usado lanza llamas para prevenir su ingreso a las parcelas. La mosca doméstica, *Musca domestica* (L.) ha desarrollado también resistencia múltiple en Dinamarca (Keiding 1977).

Manejo de la resistencia a insecticidas. Es la ciencia y arte de implementar tácticas y estrategias para mantener la expresión poblacional de genes de resistencia a un nivel tolerable (Georghiou 1986). Es una ciencia en el sentido de que recurre al método científico para recabar información necesaria para la toma de decisiones en campo; al mismo tiempo es un arte debido a que no es posible implementar experimentos de campo de suficiente duración para comparar y decidir de antemano la mejor estrategia; por lo tanto, una buena parte de los programas de manejo de la resistencia se basan en estimaciones adecuadas acerca del probable comportamiento a largo plazo de las tácticas y estrategias, sin que estén sustentadas por una cantidad deseable de información científica.

UN ESCENARIO COMÚN

Imaginemos que una mañana, el técnico llega al campo de cultivo, lo revisa y detecta la presencia de una especie de insecto plaga capaz de producir daños de consideración al cultivo. Inmediatamente toma la decisión de aplicar un insecticida con amplia y probada capacidad para abatir a ese indeseable enemigo. Una vez que el equipo fue calibrado apropiadamente, éste empieza a liberar una solución letal. La mayoría de los insectos sucumben poco después de la aplicación. El técnico «comprueba» la superioridad de las

armas químicas frente a los millones de años de evolución biológica de los insectos; menospreciando así, a las demás estrategias del manejo integrado de plagas. Cuando el enemigo decida volver a invadir, la solución es simple: se aplica otra vez el mismo insecticida. Las compañías de agroquímicos asumen la responsabilidad de poner a disposición de los productores la cantidad suficiente de insecticidas, contribuyendo a la tranquilidad del productor y al aseguramiento de una cosecha rentable.

A pesar de que el cultivo pueda verse «virtualmente» libre de plagas, una observación muy cuidadosa y paciente revela, sin lugar a dudas, que una parte muy pequeña de la población atacada sobrevive. Hay dos motivos que explican la existencia de algunos sobrevivientes. Primero, algunos insectos podrían estar escondidos en estructuras de la planta (trips en los pétalos de la flor) o bien dentro de éstas (larvas de barrenillo del ají) y sobrevivir por la sencilla razón de que el insecticida no hizo contacto con ellos; a este fenómeno se le llama «sobrevivencia fortuita» y no tiene efecto alguno sobre el proceso de desarrollo de resistencia.

Segundo, después de la aplicación hay individuos que sobreviven por tener la capacidad genética para hacerlo (Georghiou 1987). Su frecuencia en la población es muy baja y generalmente oscila entre 10^{-8} y 10^{-5} (Whitten y McKenzie 1982). El problema se agrava por el hecho de que estos sobrevivientes heredan a su descendencia la capacidad de vivir y reproducirse exitosamente en ambientes contaminados con insecticidas.

Poco a poco, el «poderoso» insecticida empieza a perder efectividad biológica en campo. Sin embargo, el técnico decide aumentar la dosis y recuperar el nivel de control que se tenía antes. Dicho incremento en los costos de control son, en general, absorbidos por cultivos rentables como las hortalizas. De hecho la economía del combate químico se fortalece. Las ventas de agroquímicos aumentan y es probable que los residuos en la cosecha aún no sean una limitante a la comercialización.

El incremento en la dosis, así como en la frecuencia de aplicaciones, propicia que poco a poco las ganancias del productor sean transferidas a las compañías de agroquímicos. En esta transición, y en ausencia de estudios confiables, es común que se niegue la existencia de la resistencia. En esta etapa, definitivamente la protección vegetal se vuelve adicta al uso de insecticidas.

Debido al incremento en los costos de producción ocasionados por la resistencia a insecticidas y a la falta de competitividad en el mercado, cultivos rentables son abandonados y en consecuencia, la zona agrícola se empobrece (Lagunes 1990).

Lo que se acaba de describir no es un cuento de ciencia ficción. Se trata de un escenario posible cuando el liderazgo de la protección vegetal queda en manos de quienes venden plaguicidas. Tal como sucedió en la zona algodonera de Matamoros-Reynosa (México), donde a principios de los 70's se sembraban cerca de 300,000 hectáreas de algodón. Debido a problemas de resistencia del gusano tabacalero (*Heliothis virescens*) a insecticidas convencionales (Lagunes 1990) y a los bajos precios internacionales de esta fibra, la

cantidad de hectáreas sembradas se redujo a 200 en 1971 (Smith y Reynolds 1977). Ante la imposibilidad de tener un cultivo de algodón rentable, los productores decidieron sustituirlo principalmente por maíz (Bujanos 1983, Wolfenbarger et al. 1981).

La pobreza en esta zona fue evidente debido a que la gran cantidad de mano de obra que se ocupaba para el cultivo de algodón, no pudo ser absorbida por el maíz. En consecuencia, hubo una gran cantidad de emigración de jornaleros a las grandes ciudades y a los Estados Unidos de Norteamérica.

A partir de 1980, con el ingreso de los insecticidas piretroides al mercado, el algodón en dicha zona volvió a tener auge. En 1995, se presenta otra crisis en el control del gusano tabacalero. Afortunadamente la entrada al mercado del algodón BOLLGARD, ha permitido volver a controlarla; sin embargo, a pesar de ello, no se ha podido ser competitivo en el mercado internacional.

Esta experiencia mexicana ha dejado huella en los entomólogos involucrados en la protección vegetal, y es una invitación a no cometer los mismos errores del pasado.

ORIGEN Y DESARROLLO DE LA RESISTENCIA.

Los genes de resistencia ya están en la población desde antes de que apliquemos el insecticida por primera vez. Por lo tanto, la fuente primaria de los genes de resistencia es la mutación. Las mutaciones hacia resistencia son cambios en el ADN que permiten la creación de nuevas variantes. La selección que ejercen los insecticidas que se aplican, favorecen a los individuos que poseen genes de resistencia, por lo que gradualmente aumentan a través del tiempo hasta convertirse en un problema para controlarlos (Figura 1). Desafortunadamente es muy difícil detectar estos genes cuando se encuentran entre las frecuencias de 10^{-2} y 10^{-1} (Roush y Miller 1986).

Georghiou y Taylor (1977) clasificaron los factores que influyen en la evolución de la resistencia a insecticidas en poblaciones de artrópodos (Cuadro 1). Dentro de estos los factores genéticos y los biológicos/ecológicos están fuera del control humano, pero sirven para estimar el riesgo de desarrollo de resistencia; en consecuencia, se deben implementar programas para su manejo, solamente cuando las condiciones lo ameritan. En cambio, los factores operacionales son los únicos que podemos manipular para retrasar el desarrollo de resistencia.

Cuadro I. Factores conocidos o sugeridos que influyen en la selección de resistencia a insecticidas en poblaciones de campo.

GENÉTICOS

Frecuencia de genes de resistencia
 Número de genes de resistencia
 Dominancia de los genes de resistencia
 Penetración, expresión e interacciones de los genes de resistencia
 Historia de la selección con otros insecticidas
 Magnitud de la integración del genoma resistente con los factores de la capacidad biótica.

BIOLÓGICOS/ECOLÓGICOS

BIÓTICOS Duración de la generación
 Descendencia por año
 Monogamia/Poligamia, partenogénesis

DE COMPORTAMIENTO/ECOLÓGICOS Aislamiento, movilidad, migración
 Monofagia/Polifagia
 Supervivencia fortuita, refugio

OPERACIONALES

EL INSECTICIDA Naturaleza química del insecticida
 Relación con los compuestos usados con anterioridad
 Persistencia de los residuos, formulación

LA APLICACIÓN Umbral de aplicación
 Umbral de selección
 Estado biológico seleccionado
 Modo de aplicación
 Selección en espacios limitados
 Selección alternada

FUENTE: Georghiou y Taylor (1977).

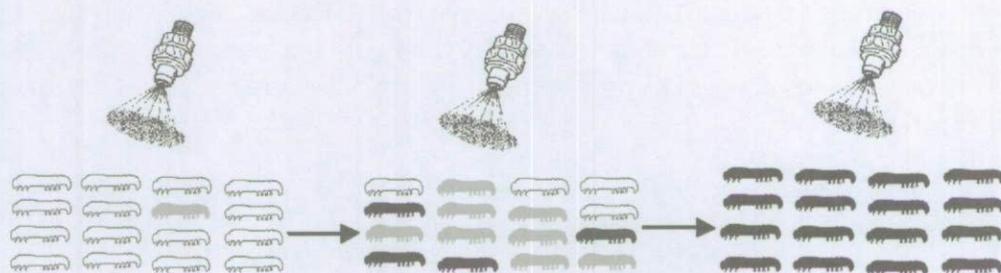


Figura I. Proceso de evolución de la resistencia a insecticidas. Los insectos blancos representan a los insectos SS, los grises a los RS y los negros a los RR.

DISEÑO DE PROGRAMAS DE MANEJO DE LA RESISTENCIA

Cuando un análisis cuidadoso de los factores genéticos y biológicos/ecológicos indica una alta posibilidad de desarrollo de resistencia en un tiempo corto, es conveniente diseñar un programa de manejo de la resistencia (PMR) que permita aumentar la vida útil de los insecticidas.

En primer lugar, deben elaborarse los objetivos específicos del PMR. De todos los insecticidas disponibles en el mercado, podría ser que solo algunos de ellos estén en riesgo de resistencia. Por ejemplo, en el programa de manejo de la resistencia a insecticidas en *Heliothis armigera* y *H. punctigera* de las zonas algodoneras de Australia, solo los piretroides estaban en alto riesgo de desarrollar resistencia. Por lo tanto en dicho programa solo era necesario implementar estrategias de manejo de piretroides y no de endosulfán, como realmente se hizo (Forrester *et al.* 1993). El cultivo se debe dividir en etapas fenológicas y diseñar una estrategia específica para cada etapa. Georghiou (1994) clasificó las estrategias de manejo de la resistencia en tres categorías: manejo por moderación, por saturación y por ataque múltiple (Cuadro 2).

Cuadro 2. Principios del manejo de la resistencia por moderación, saturación y ataque múltiple.

CONCEPTO	ENFOQUE	MEDIDAS
MODERACIÓN Los genes de susceptibilidad constituyen un recurso valioso que debe preservarse mientras se efectúa un control económico.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Baja presión de selección 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Uso de dosis bajas que produzcan menos del 100% de mortalidad de los genotipos SS^a ■ Incrementar la densidad poblacional necesaria para aplicar. ■ Aplicaciones localizadas ■ Preservación de refugios ■ Dejar algunas generaciones sin tratar ■ Uso de formulaciones poco persistentes
SATURACIÓN Eliminar la ventaja selectiva de los fenotipos resistentes al saturar los mecanismos de defensa	<ul style="list-style-type: none"> ■ Eliminación de genes de R^a ■ Suprimir las enzimas detoxificadoras 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Uso de dosis altas para hacer que los genes de R se comporten como recesivos. De esta manera RS = SS ■ Uso de sinergistas para bloquear enzimas específicas y eliminar las ventajas selectivas de RS^a y RR^a
ATAQUE MÚLTIPLE Multidireccional, Selección en varios sitios de acción reduce la presión que se ejercería usando un solo agente de control.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mantener el grado de selección de cada agente de control a un nivel bajo que no conlleve al desarrollo de la resistencia. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Mezcla de insecticidas ■ Rotación ■ Insecticidas que actúan en varios sitios de acción.

^aSS = homocigoto susceptible; RS = heterocigoto; RR = homocigoto resistente; R = resistente. Georghiou [1994].

El manejo exitoso de la susceptibilidad o de la resistencia, depende del conocimiento que se tenga sobre la biología de la plaga y de los factores operaciones que influyen en la dinámica de los genes de resistencia a nivel poblacional. Es conveniente hacer, para la región específica, un análisis de las estrategias de manejo de la resistencia que presenta Georghiou (1994) en el Cuadro 2 e integrar, en un solo PMR, todas y cada una de las tácticas que sean de utilidad.

Es ilusorio pensar que un adecuado manejo racional de insecticidas va a impedir que las plagas desarrollen resistencia. En realidad, el objetivo fundamental consiste en mitigar a este fenómeno, es decir que si la resistencia se desarrollara en tres años bajo un esquema de uso irracional, podemos extender este periodo a 10 ó más años mediante la implementación de medidas de manejo de la resistencia (Figura 2).

La idea fundamental consiste en ampliar la vida útil de los insecticidas y sacarles el máximo provecho a las dosis más bajas. Una de las herramientas más poderosas para manejar este fenómeno consiste en implementar medidas de manejo de la resistencia, dentro de un contexto de manejo integrado de plagas.

En general, el manejo por moderación es útil para todos los casos. Puesto que hay una estrecha correlación entre la tasa de desarrollo de resistencia y la frecuencia de las aplicaciones (McKenzie 1996). Al bajar la frecuencia de uso de insecticidas debido a la implementación de un programa de manejo integrado de plagas, es más fácil enfrentarse al fenómeno de la resistencia.



Figura 2. Desarrollo esperado de la resistencia a insecticidas bajo el uso racional y el uso irracional (Rodríguez et al. 2002).

El manejo por moderación es la huella del manejo integrado de plagas. Se sustenta en la diversificación de los factores letales y limitantes del desarrollo poblacional, con la finalidad de reducir el número y frecuencia de las aplicaciones; por lo tanto minimizar el riesgo de resistencia.

El manejo por saturación no implica la saturación del ambiente con insecticidas; más bien, la saturación de las defensas de los insectos al utilizar elevadas dosis en espacios confinados (cebos envenenados) o el uso de sinergistas que bloquean enzimas detoxificadoras de insecticidas.

El manejo por ataque múltiple consiste en diversificar el tipo de insecticidas a utilizar, con la finalidad de que la población de insectos plaga no tenga tiempo para desarrollar resistencia a ninguno de ellos.

CARACTERÍSTICAS DE UN PROGRAMA DE MANEJO DE LA RESISTENCIA

Implementación regional. Dado que las plagas insectiles tienen, en general, una gran capacidad para dispersarse dentro del agroecosistema e intercambiar genes, los programas de manejo de la resistencia deben implementarse a nivel regional.

Aplicación voluntaria. La mayoría de los PMR a nivel mundial son de carácter voluntario; por lo tanto, es importante que los productores estén conscientes de los beneficios que de ello se derivan y apoyen las medidas diseñadas para tal fin. Una de las excepciones está representada por el manejo de la resistencia a las delta endotoxinas de *Bacillus thuringiensis* Berliner que expresan algunos cultivos transgénicos como el algodón BOLLGARD®, en donde el productor, al realizar el contrato que le permite usar esta tecnología, firma el compromiso de dejar un espacio de su terreno (generalmente del 4% o el 20%) para sembrar un cultivar similar, pero sin la expresión del transgene de interés.

Incluyente. Dentro de un PMR deben incluirse a todos los sectores involucrados: agricultores, academia, empresas de agroquímicos, técnicos, sector gubernamental entre otros.

Transparencia. Dado que las medidas de contención de resistencia tienen la posibilidad de implicar restricciones de uso a ciertos tipos de insecticidas, la estrategia debe ser transparente. Esto es con la finalidad de no dar la idea de que se están protegiendo los agroquímicos de ciertas empresas, en perjuicio de las demás; de lo contrario, es posible que se generen movimientos sociales en contra del PMR.

MANEJO DE LA SUSCEPTIBILIDAD VS MANEJO DE LA RESISTENCIA

Cuando las poblaciones de insectos plaga son susceptibles a los insecticidas, el control químico manifiesta una efectividad biológica sorprendente dando en la mayoría de los casos la «falsa» impresión de que no es necesario recurrir a las tácticas y estrategias del

manejo integrado de plagas para lograr resultados satisfactorios. La implementación de programas de manejo de la susceptibilidad, en esta etapa, generalmente produce resultados alentadores al retrasar la aparición de fenotipos resistentes. Desafortunadamente es muy difícil convencer al agricultor de la necesidad de acciones tendientes a evitar un problema a futuro.

Cuando la resistencia a insecticidas se desarrolla y se dispersa por el agroecosistema, los agricultores son más sensibles a aceptar la aplicación de medidas de contención. Sin embargo, es más difícil manejar fenotipos resistentes que susceptibles.

USO IRRACIONAL DE INSECTICIDAS VS ESTRATEGIAS RACIONALES

Desafortunadamente el uso irracional de insecticidas prevalece como la forma más común de luchar contra las plagas que afectan a los cultivos. Una vez que el producto está debidamente registrado, se recurre a toda una estrategia de «marketing» que permita posicionar al producto en el mercado; es decir, que cuando el agricultor tenga un problema fitosanitario, piense inmediatamente en el uso de «x» o «y» insecticida. El problema llega a ser tan grave, que el técnico, al decidir el tipo de insecticida a usar, no valora la seguridad, la salud humana o el impacto al ambiente.

Las actividades de extensión agrícola son sustituidas por publicidad vía radio y/o televisión, reuniones de promoción, anuncios en carretera, etc. Estas acciones tienen una gran efectividad debido principalmente a que se apoyan en el conocimiento de la psicología social y avances que han tenido lugar en otras áreas comerciales. En Rodríguez *et al.* (2002) se presenta con más detalle las características del uso irracional de insecticidas.

Por otra parte, el uso racional de insecticidas, como su nombre lo indica, implica el uso razonado de las decisiones de combate químico.

La selección correcta del plaguicida a utilizar representa una decisión de alta responsabilidad. El técnico debe tener en mente que «matar a la plaga» no es el único y en ocasiones tampoco el factor más importante en la protección vegetal. Deben considerarse de manera holística los siguientes elementos:

1. El insecticida debe estar debidamente autorizado en el cultivo y en la plaga respectiva. La mayoría de los países tienen organizaciones responsables de la regulación de los plaguicidas. Para autorizar el uso de un plaguicida, generalmente se le pone atención especial a tres grandes áreas: salud, ambiente y efectividad biológica. Las empresas interesadas, proporcionan la información requerida y con ella se realizan los análisis de riesgos respectivos para tomar la decisión de permitir o rechazar un plaguicida determinado. Es decir que cuando estos productos se encuentren a disposición de los usuarios, éstos ya han sido debidamente estudiados y en consecuencia, derivado de su aplicación correcta no ocurren **riesgos no razonables.**

Desafortunadamente muchos países, sobre todo los de economías emergentes, solo recopilan información y no realizan análisis de riesgos. En consecuencia, es común que fallen en su enorme responsabilidad de proteger a su sociedad al permitir la libre venta de productos de muy elevado riesgo a la salud y/o al ambiente.

2. Efectividad biológica. Los estudios de efectividad biológica en campo, son por lo general parte de los requerimientos para el registro de plaguicidas. En México, como requisito parcial de registro, se hace mandatorio realizar al menos un estudio de efectividad biológica en una combinación específica cultivo - plaga. En caso de que el producto evaluado manifieste una adecuada efectividad biológica, se otorga un dictamen positivo en este rubro y se procede con los demás requerimientos de registro. Considerando que México es, en realidad, un amplio territorio con una gran variedad de zonas agroecológicas, no es adecuado pensar que una sola prueba de efectividad pueda arrojar resultados útiles para todas ellas. Entonces, es conveniente verificar esta efectividad en la zona agrícola de interés. Cuando el consumo de plaguicidas sea alto, las pruebas de efectividad deben llevarse a cabo al menos cada cinco años. Esto constituye la manera más eficiente de generar recomendaciones locales precisas.

3. Manejo de la resistencia. El manejo de la resistencia a insecticidas es mucho más eficiente cuando se hace de manera preventiva, es decir antes de que ésta aparezca. Del universo de insecticidas efectivos y autorizados, deberán usarse con mucha cautela aquellos de alta propensión a resistencia, por ejemplo restringiéndolos al 30% de todas las aplicaciones o iniciar aplicando los que afecten menos a la fauna benéfica y respeten, entre otras cosas, al umbral de acción. Posteriormente se discutirá con mayor detalle las estrategias de manejo de la resistencia.

4. Riesgo a la salud. Es común que se tenga la idea errónea de que en el proceso de la producción de alimentos, la figura más importante es el productor. En realidad esta figura está constituida por la población consumidora de los alimentos tratados y la población que interactúa con los plaguicidas que se han vertido al medio ambiente con propósitos fitosanitarios (Hughes 1996).

Desde el punto de vista de la salud humana, existen dos tipos de riesgos que emergen cuando se manejan plaguicidas: toxicidad aguda y toxicidad crónica. La toxicidad aguda se refiere a los efectos que sufrimos por exponernos durante un tiempo muy corto a una dosis alta de una sustancia tóxica. Este efecto se puede manifestar como mareos, salivaciones, temblores, cambios en la temperatura corporal y hasta la muerte. A pesar de constituir un escenario dramático, es fácil darse cuenta del agente responsable. Una forma de minimizar este riesgo consiste en usar el equipo de protección adecuado. Desafortunadamente, en no pocas ocasiones, resulta demasiado incómodo usar este equipo y los encargados de la aplicación prefieren correr el riesgo. Es posible minimizar estos problemas mediante programas permanentes de capacitación.

El problema más grave se presenta cuando un plaguicida efectivo conlleva a un problema de toxicidad crónica. Este tipo de toxicidad se manifiesta a largo plazo y se deriva de la

exposición por largos periodos de tiempo a dosis pequeñas. En consecuencia se pueden tener problemas de esterilidad, envejecimiento prematuro, malformaciones al nacimiento y diversos tipos de cánceres, entre ellos la leucemia. A este riesgo se le considera muy alto debido a que ni el productor ni el consumidor pueden evaluarlo.

Al impacto crónico están expuestas las personas que aplican plaguicidas, sus familias cuando lavan ropa tratada y en forma muy especial, los niños cuando son acariciados por la persona contaminada. El problema no termina ahí, pues los que consumimos alimentos tratados también corremos riesgos al ingerir durante largo tiempo pequeñas dosis de los plaguicidas o sus derivados. Hay quienes podrían pensar que están a salvo porque tienen «la suerte» de que no les guste y no consuman precisamente aquellos alimentos tratados. Pero la ingesta de plaguicidas no solo puede venir vía alimentos, también puede ocurrir a través del aire que respiramos o del agua que bebemos.

Dramático es el caso de la transferencia de sustancias altamente peligrosas al feto, provocando el nacimiento de un niño con malformaciones. ¿La desesperación de controlar las plagas, justificará un acto criminal como éste?

Una forma de resolver este problema de manera ética consiste en implementar programas de manejo integrado de bajo riesgo (MIP-BR). Esta filosofía es muy parecida a lo que tradicionalmente conocemos como Manejo Integrado de Plagas (MIP), pero difiere en que, dentro de las herramientas químicas, solamente usa aquellas que sean altamente compatibles al ambiente y de elevada seguridad al ser humano.

5. Seguridad al ambiente. Las actividades químicas de protección vegetal normalmente implican la liberación al ambiente de cantidades importantes de plaguicidas. Desafortunadamente, estas sustancias químicas no quedan confinadas al lugar donde se aplicaron y tienen la capacidad de moverse a zonas distantes. Además pueden ser arrastrados a cuerpos de agua como lagunas, ríos, mantos subterráneos, etc. A través del proceso de evaporación y acción del viento, son rápidamente dispersados en la atmósfera y puestos a disposición para que los respiremos y dañen a otros elementos importantes de la cadena trófica (Perry *et al.* 1983). En consecuencia, es importante dar prioridad al uso de insecticidas que afecten lo menos posible al ambiente.

Una vez que se hayan seleccionado los insecticidas que serán parte del manejo integrado de las plagas en una localidad específica, se debe proceder a elaborar un esquema de manejo de la resistencia con la finalidad de ampliar la vida útil de estos aliados del ser humano.

DETECCIÓN Y MONITOREO DE LA RESISTENCIA

Una vez que un programa de manejo de la resistencia se diseña y se implementa, es de primordial importancia verificar la efectividad de las estrategias y tácticas empleadas. Para tal efecto se recurre a las metodologías de medición de la resistencia. Entre las que destacan el bioensayo completo y la dosis diagnóstico.

Para este propósito, un bioensayo es cualquier metodología mediante la cual algunas propiedades de los insecticidas se miden en función de la respuesta que provocan en una muestra poblacional de insectos. Este, tiene dos componentes: estímulo y respuesta. El estímulo puede ser la exposición al insecticida y la respuesta podría ser el porcentaje de mortalidad, número de larvas que llegan al tercer instar, porcentaje de reducción de peso respecto al testigo absoluto, etc.

El bioensayo se puede usar para comparar la toxicidad de varios insecticidas contra una sola población de insectos, o bien para comparar la respuesta de varias poblaciones a un insecticida. La respuesta que se observe en un bioensayo es función de varios factores:

$$R = f(d, t, l, e, p, \text{etc.})$$

Donde:

R = respuesta

f = función de

d = dosis utilizada

t = temperatura

l = duración de la exposición al tóxico

e = otras condiciones ambientales

p = condición fisiológica del insecto (edad, sexo, instar, peso, etc.).

Para que los datos sean confiables, todas estas variables deben ser uniformes de modo que se exprese el efecto de la dosis aplicada. Antes de realizar un bioensayo, es conveniente investigar los métodos internacionalmente reconocidos y seguir la metodología en términos de forma de exposición, tamaño de muestra, condiciones fisiológicas de los insectos, tiempo de exposición y otros.

TIPOS DE BIOENSAYOS

Bioensayo directo. No se hace inferencia a ninguna población, pues la respuesta se mide directamente en el organismo de interés. Por ejemplo, suponga que se desea saber el efecto de la insulina sobre la cantidad de azúcar en la sangre de una persona diabética; pese a que es útil contar con información general, en este caso nos interesa saber la respuesta de una persona dada. Este tipo de bioensayos será de gran utilidad en el desarrollo de lo que se llama «medicina personalizada», en la cual estas sustancias se suministrarán en función de las características individuales.

Bioensayo indirecto. Con base a los datos que se obtienen al exponer al tóxico a un grupo de individuos, se infiere la respuesta de la población de donde proceden. Por ejemplo, supongamos que un grupo de 100 moscas domésticas se expone a una concentración dada de insecticida y mueren 70; entonces, se infiere que el 70% de la población de donde proceden las citadas moscas, morirán cuando se expongan, en esas condiciones al

tóxico. Para que las inferencias sean confiables, obviamente deben seguirse los procedimientos estadísticos adecuados y los individuos objeto de investigación, deben constituir una muestra representativa de la población de la cual proceden. Este es el tipo de bioensayo más utilizado en la entomología aplicada.

DOSIS VS DOSIFICACIÓN

Dosis: Expresa la cantidad exacta de tóxico que se le aplica al insecto. Esta exactitud se logra mediante el uso de un microaplicador que libera una cantidad conocida de tóxico o bien inyectando el insecticida al cuerpo del insecto. La expresión de la dosis se hace en términos de (g/insecto, g/g de larva), etc.

Dosificación. Expresa la cantidad de tóxico que se aplica al ambiente en donde se encuentra el organismo de prueba. Por ejemplo, el insecticida se aplica a un papel filtro y se permite que el insecto camine sobre dicha superficie. Bajo estas condiciones, no sabemos cuanto insecticida adquiere cada insecto de prueba.

Este tipo de bioensayo produce más variación que aquel sustentado en la dosis. La cantidad de insecticida que interacciona con el sistema fisiológico depende de la movilidad del insecto y de la distribución del insecticida en el ambiente.

El insecto, al entrar en contacto con el insecticida, puede volverse irritable y moverse con mayor rapidez sobre una superficie tratada y por lo tanto, adquirir una mayor cantidad de insecticida. Además algunos insecticidas, como el DDT, tienden a ser más concentrados en la interfase vidrio-agua. En consecuencia, las larvas acuáticas con tendencia a reposar cerca de la pared en un recipiente de vidrio, adquirirán una mayor cantidad de insecticida, en comparación de los insectos que tienen el hábito de nadar lejos de dicha área.

Sin embargo, la cantidad de insecticida que se deposita sobre el cuerpo de un insecto, no necesariamente corresponde o es proporcional a la cantidad de insecticida que interacciona con el sitio de acción. Por lo tanto, la dosis efectiva puede ser diferente de la dosis aplicada.

Existen una serie de factores que pueden limitar severamente la cantidad de insecticida que llega al sitio de acción, como: volatilización, tasa de penetración por el integumento, coeficiente de participación en lípidos, tasa de activación, tasa de destoxificación y tasa de excreción.

Independientemente de la metodología empleada, existen principios generales que se aplican a cualquier bioensayo. Inicialmente debe determinarse la ventana de respuesta biológica (dosis entre las que se encuentra el cero y el 100% de mortalidad). Para tal efecto se emplean de tres a cinco dosis altamente espaciadas entre ellas, por ejemplo 1.0, 0.1, 0.01, 0.001 y 0.0001% y después de cierto tiempo de exposición (determinado por la metodología empleada) se evalúa la mortalidad. A manera de ejemplo supongamos que se obtienen los siguientes resultados.

DOSIS (%)	MORTALIDAD
1.0	100.0
0.1	100.0
0.01	20.0
0.001	0.0
0.0001	0.0

En base a esto se deben incluir dosis intermedias, entre el 0.001 y 0.1%, para cubrir del cero al 100% de mortalidad. El número de dosis intermedias depende de la pendiente de la recta. Entre más alta sea la pendiente, se pueden incluir una menor cantidad de dosis y viceversa. En general se utilizan de cinco a ocho dosis. Es conveniente que las dosis intermedias cubran, a espacios más o menos uniformes, todo el largo de la línea de respuesta. Con la finalidad de visualizar correctamente la distribución que las dosis deben tener, es conveniente graficar en una hoja de papel probit la dosis vs el porcentaje de mortalidad. Un error común que se comete consiste en predeterminar el rango de dosis a evaluar, impidiendo que el insecto nos guíe durante el bioensayo.

La cantidad de insectos a utilizar por dosis/repetición, varía de 10 a 20 (consulte las metodologías aceptadas para cada caso). Generalmente se hacen de tres a cinco repeticiones en días diferentes y cada repetición incluye un testigo absoluto. La mortalidad en el testigo absoluto no debe ser superior a un 20% (con frecuencia este valor es igual o menor al 10%, dependiendo del insecto de prueba). Cuando en una repetición, este valor sea superior al aceptado, todo el grupo de experimentos debe descartarse y volver a empezar. En caso contrario, debe hacerse una corrección de mortalidad mediante la fórmula de Abbott:

$$\%MC = \frac{(\%MTRAT - \%MTEST)}{100 - \%MTEST}$$

Donde:

- %MC = porcentaje de mortalidad corregida
- %MTRAT = porcentaje de mortalidad en el tratamiento insecticida
- %MTEST = porcentaje de mortalidad en el testigo

La susceptibilidad o resistencia a insecticidas usualmente sigue una distribución normal (Figura 3).

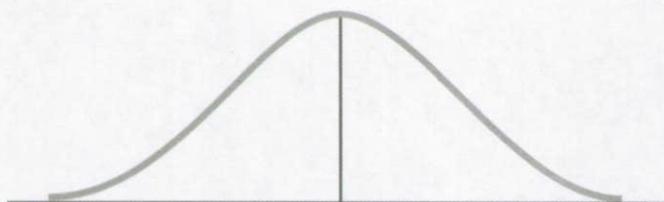


Figura 3. Distribución normal de la respuesta a insecticidas en una población de insectos plaga.

La relación entre la dosis y el porcentaje de mortalidad es una curva sigmoide asimétrica (Figura 4A); siendo imposible realizar comparaciones entre poblaciones, debido a que se obtienen líneas diferentes. Más allá del 60% de respuesta, es imposible predecir la dirección que tomará dicha curva. Al transformar la dosis a su \log_{10} de dosis, la curva se vuelve sigmoide simétrica (Figura 4B); a pesar de ello, sigue siendo complicado comparar las respuestas entre poblaciones. Afortunadamente, cuando la dosis se transforma a la función \log_{10} y la mortalidad a unidades probits, la relación funcional entre el estímulo y la respuesta se vuelve una línea recta (Figura 4C), permitiendo con facilidad, hacer comparaciones estadísticas.

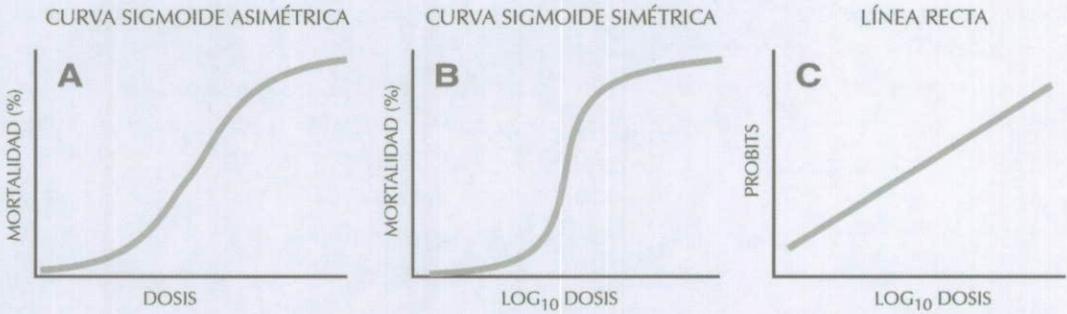


Figura 4. Relación funcional entre el estímulo y la respuesta.

Probits es una contracción de probability units; sin embargo, no son unidades de probabilidad, sino unidades de desviación estándar incrementadas en cinco unidades.

En caso de que, a pesar de haber hecho las transformaciones indicadas, no se obtenga una línea recta, es posible que se tenga la presencia de fenotipos resistentes o que el bioensayo no se haya realizado correctamente. A la línea recta también se le llama línea de respuesta log dosis - probit (línea ld-p). Existen en el mercado varios programas que permiten estimar la línea ld-p y obtener los valores de CL50 (DL50), CL95 (DL95) o cualquier otro valor de interés.

Dosis de diagnóstico

Paralelo a la implementación de un PMR, se deben realizar evaluaciones de la dinámica de la susceptibilidad a los insecticidas de interés con la finalidad de conocer el grado de efectividad de las medidas aplicadas. Es común que dichas evaluaciones se hagan a través de bioensayos completos, como los que se explicaron anteriormente. Sin embargo, el bioensayo completo incluye dosis «no informativas», es decir, que matan a un porcentaje muy bajo de los individuos tratados; por lo tanto, no proporcionan idea alguna sobre la existencia de fenotipos resistentes.

Idealmente, la aplicación de una dosis de diagnóstico debería matar a todos los individuos susceptibles y permitir que todos los resistentes sobrevivan. A menos de que se trate de una población de laboratorio con resistencia monogénica y con clara distinción en su respuesta biológica de cada uno de los genotipos (SS, RS, y RR) (Figura 5), en cuyo caso no es posible hacer dicha diferenciación. En consecuencia no es aconsejable hablar de dosis discriminante, sino más bien de una dosis de diagnóstico.

Una dosis de diagnóstico se define, en este documento, como la concentración que mata más del 99% de los individuos susceptibles y menos del 0.1% de los resistentes.

Algunos investigadores optan por la decisión simplista de realizar un bioensayo completo con la población de campo, estimar la DL99 y usar una dosis de diagnóstico dos o tres veces mayor que la DL99. Dennehy *et al.* (1983) demostraron que esta medida puede matar a más del 98% de los individuos de una población resistente; es decir, que en vez de detectar a los resistentes, los mata.

La mejor alternativa consiste en utilizar como dosis de diagnóstico a la DL95 y, de ser posible, otra dosis que en los estudios de laboratorio haya eliminado consistentemente al 100% de los individuos tratados (Scott *et al.* 1989). Para conferir mayor poder de estimación a la dosis de diagnóstico, es altamente conveniente aumentar el tamaño de muestra a cerca de 500 individuos (incluyendo todas las repeticiones). Por supuesto que durante estas pruebas, de manera paralela debe evaluarse una población susceptible de laboratorio. El tamaño de muestra para la población susceptible, puede ser menor, por ejemplo 100 individuos en total. En este caso no es posible utilizar el análisis probit como herramienta estadística. Lo más aconsejable es transformar el porcentaje de mortalidad a la función arcoseno de la raíz cuadrada de porcentaje de mortalidad/100; obteniendo así, una distribución normal y aplicar un análisis de varianza paramétrico (ANOVA) con una prueba de comparación múltiple, como puede ser Tukey a una significancia previamente determinada.

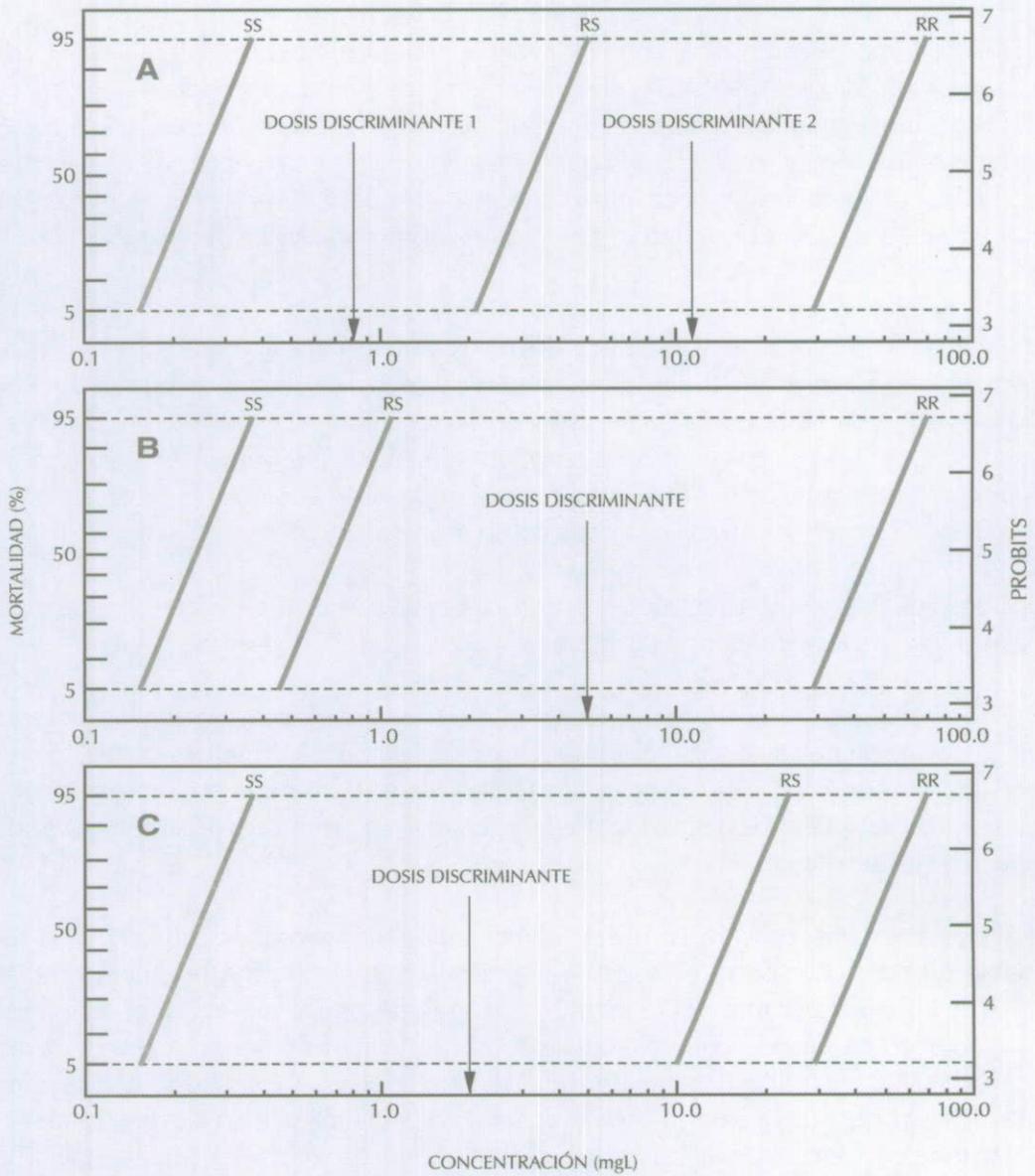


Figura 5 Uso de la dosis discriminante en función de los genotipos presentes. **A=** resistencia codominante, **B=** resistencia recesiva y **C=** resistencia dominante.

CLASIFICACIÓN DE INSECTICIDAS CON BASE A MECANISMOS DE RESISTENCIA

Los insecticidas se han clasificado de muchas maneras: tomando en cuenta su formulación, toxicidad, tipo de envase, propiedades carcinogénicas, etc. Sin embargo, para el manejo racional de insecticidas, es conveniente contar con una clasificación basada en el tipo de resistencia que cada insecticida selecciona; es decir, en grupos toxicológicos.

Un grupo toxicológico incluye a todos los insecticidas que seleccionan el mismo tipo de resistencia. Por lo tanto, no es conveniente rotar o mezclar dos productos que pertenezcan al mismo grupo.

En 1971, Georghiou presenta la primera clasificación de insecticidas con base a mecanismos de resistencia. Para tal efecto consideró cuatro grupos diferentes (Cuadro 3).

Cuadro 3. Clasificación de insecticidas de acuerdo a su afinidad por resistencia cruzada.

DDT	Dieldrin	Paratión	Carbaril
DDD	Aldrín	Malatión	Propoxur
Metoxicloro	Lindano	Diazinón	Isolán
	Endrín	Ronnel	Dimetilán
	Heptacloro	Naled	
	Clordano	Dimetoato	
		Clorpirifós	

FUENTE: Georghiou 1971

Posteriormente, el mismo autor presentó en 1976 una nueva clasificación ampliada que incluía más grupos de resistencia (Cuadro 4).

Cuadro 4. Grupos de insecticidas de acuerdo a su afinidad para resistencia cruzada.

ANÁLOGOS DEL DD	DDT y otros análogos dehidroclorinizables Análogos no dehidroclorinizables: clorobencilato
CICLODIENOS: BHC, DIELDRÍN, ENDRÍN, ETC.	
ORGANOFOSFORADOS	Organofosforados O-metil: paratión metílico Organofosforados O-etil: paratión etílico Organofosforados misceláneos, incluyendo algunos del grupo a y b.
CARBAMATOS	Aril carbamatos: propoxur, carbaril Carbamatos heterocíclicos: dimetilán Carbamatos misceláneos, incluyendo algunos del grupo a y b
PIRETROIDES	

FUENTE: Georghiou 1976.

A principios de los 80's se presentó en México una clasificación de insecticidas bastante completa para su época (Lagunes y Rodríguez 1982, Rodríguez 1982); en donde se consideró un total de 31 grupos de resistencia o grupos toxicológicos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Grupos toxicológicos de insecticidas y acaricidas.

1. Grupo del DDT (OC-DDT): dicofol, metoxicloro
2. Grupo del Benceno (OC-Be): BHC, Lindano
3. Grupo de los ciclodienos (OC-Cd): endrín, endosulfán
4. Grupo de los insecticidas organofosforados alifáticos con enlace P=O, mono-dimetil (FA-OM): acefato, monocrotofós
5. Grupo de los organofosforados alifáticos con enlace P=O, mono-dietil (FA-OE): TEPP
6. Grupo de los organofosforados alifáticos con enlace P=S, mono-dietil (FA-SM): dimetoato
7. Grupo de los organofosforados alifáticos con enlace P=S, mono-dietil (FA-SE): forato, disulfotón
8. Grupo de los organofosforados cíclicos con enlace P=O, mono-dimetil (FC-OM); stirofós, crotoxifós
9. Grupo de los organofosforados cíclicos con enlace P=O, mono-dietil (FC-OE): profenofós, Clorfenvinfós
10. Grupo de los organofosforados cíclicos con enlace P=S, mono-dimetil (FC-SM): fenitrotión, paratión metílico
11. Grupo de los organofosforados cíclicos con enlace P=S, mono-dietil (FC-SE): EPN, paratión etílico
12. Grupo de los organofosforados heterocíclicos con enlace P=O, dimetil (FH-OM): fospirato, azametifós
13. Grupo de los organofosforados heterocíclicos con enlace P=O, dietil (FH-OE): fosfolán, mefosfolán
14. Grupo de los organofosforados heterocíclicos con enlace P=S, mono-dimetil (FH-SM): azinfós metílico, metidatió
15. Grupo de los organofosforados heterocíclicos con enlace P=S, dietil (FH-SE): diazinón, clorpirifós
16. Grupo de los organofosforados con carboxilos (F-Cx): malatió, fentoato
17. Grupo de los carbamatos alifáticos monometil (CA-MM): aldicarb, metomil
18. Grupo de los carbamatos cíclicos monometil (CC-MM): metiocarb, carbaril
19. Grupo de los carbamatos heterocíclicos monometil (CH-MM): carbofurán, dioxacarb
20. Grupo de los carbamatos dimetílicos (C-DM): pirimicarb, dimetilán
21. Grupo de los piretroides (PIRT): permetrina, fenvalerato
22. Grupo de los insecticidas botánicos (IBOT): rotenona, nicotina
23. Grupo de los organoazufrados cíclicos (OA.C): ovex, fensón
24. Grupo de los organoazufrados heterocíclicos (OA-He): oxitioquinox, tioquinox
25. Grupo de los organoestanosos (OEST): cyhexatin
26. Grupo de las formamidinas (FORM): clordimeform, amitraz
27. Grupo de los dinitrofenoles (DNF): dinoseb, dinocap
28. Grupo de los tiocianatos (TIOC): lethane, thanite
29. Grupo de los insecticidas biológicos o microbiales (MICR): thuricide
30. Grupo de los insecticidas inorgánicos (INOR): arseniato de calcio
31. Grupo de los aceites minerales (AMIN): citrolina

No se incluyen análogos de la hormona juvenil, inhibidores de la quitina y otros tipos de plaguicidas que en general se considera que forman grupos independientes.

FUENTE: Lagunes y Rodríguez 1982.

Posteriormente, Rodríguez *et al.* (2002) presentaron la clasificación moderna de insecticidas, misma que toma en cuenta al modo de acción y al metabolismo (Cuadro 6).

Para implementar un manejo de la resistencia, se requiere de al menos dos insecticidas que pertenezcan a diferente grupo toxicológico; es decir, que no estén relacionados por mecanismos de resistencia. El problema radica en que el técnico o productor no tiene a su disposición una clasificación de los insecticidas que tome en cuenta a los mecanismos de resistencia, mucho menos cuenta con la información suficiente para saber a qué grupo toxicológico pertenece un insecticida dado. Este vacío se llena con la clasificación que a continuación se presenta (Cuadro 6).

No se pretende que para todas las zonas agrícolas del mundo, esta clasificación aplique. Es posible que para algunos lugares, dos grupos toxicológicos se deban fusionar en uno solo; o bien, que un grupo se separe en dos. La experiencia regional de los técnicos ayudará a realizar los ajustes necesarios, y entonces se podrá contar con una de las herramientas más importantes del manejo racional de insecticidas.

Cuadro 6. Clasificación de insecticidas en grupos de resistencia.

- 1. CLASE: activadores de los canales de sodio (ACNa)
 - 1.1. Grupo: DDT y análogos: DDT, Metoxicloro (ACNa-DDT)
 - 1.2. Grupo: Piretroides (ACNa-PIRT)
 - 1.2.1. Subgrupo: piretroides tipo I (ACNa-PIRT-I)
 - Aletrina
 - bioesmetrina
 - 1.2.3. Subgrupo: piretroides tipo II (ACNa-PIRT-II)
 - Ciflutrina
 - Bifentrina (TALSTAR®)
 - Lambda cyalotrina (KARATE®)
 - Fenpropatrín (HERALD®)
 - 1.3. Grupo: Piretrinas (ACNa-PIRN)
 - 2. CLASE: bloqueadores de los canales de sodio (BCNa)
 - 2.1. Grupo: Oxadiazinas (BCNa-OXA)
 - Indoxacarb
-

Cuadro 6. Clasificación de insecticidas en grupos de resistencia (Continuación).

- 3. CLASE: inhibidores de la acetilcolinesterasa (INACE)
 - 3.1. Grupo: Organofosforados (INACE-OF)
 - 3.1.1. Subgrupo: metil organofosforados: (INACE-OF-ME)
Paratión metílico, Metamidofós
 - 3.1.2. Subgrupo: etil (o cadena más larga) organofosforados: (INACE-OF-ET)
Paratión etílico
 - 3.1.3. Subgrupo: Carboxi-organofosforados: (INACE-OF-CX)
Malatión, Fentoato
 - 3.2. Grupo: Carbamatos (CARB)
 - 3.2.1. Subgrupo: monometil carbamatos (CARB- ME)
Aldicarb
Metomilo: LANNATE®, METHOMIL®, NUDRIN®
Clorhidrato de formetanato (DICARZOL®)
 - 3.2.2. Subgrupo: dietil carbamatos (CARB-ET)
Pirimicarb
 - 3.2.3. Subgrupo: propil carbamatos (CARB-PR)
 - 4. CLASE: agonistas de los receptores nicotínicos (AGRN)
 - 4.1. Grupo: Cloronicotinoides: nicotina, imidacloprid (CONFIDOR®), Acetamiprid (RESCATE®), ACTARA® (AGRN-CNIC)
 - 4.2. Grupo: spinosinas (TRACER®)
 - 5. CLASE: antagonistas de los receptores nicotínicos: Nereistoxin (ANRN)
 - 6. CLASE: antagonistas de los receptores de GABA (ANGA)
 - 6.1. Grupo: BHC, lindano y análogos (ANGA-BHC)
Lindano
 - 6.2. Grupo: Ciclodienos (ANGA-CIC)
Clordano
 - 6.3. Grupo: Arilpirazoles: (ANGA-API)
Fipronil (REGENT®)
 - 6.4. Grupo: Arilpirimidinonas (ANGA-APM)
 - 7. CLASE: agonistas de los receptores de GABA: (AGGA)
avermectinas, abamectinas, ivermectinas, benzoato de emamectina
 - 8. CLASE: destructores de la membrana epitelial del mesenterón (DEME)
 - 8.1. Grupo: Bacillus thuringiensis kurstaki (DEME-BTK)
LEPINOX®
 - 8.2. Grupo: Bacillus thuringiensis israelensis (DEME-BTI)
 - 8.3. Grupo: Bacillus sphaericus (DEME-BS)
 - 8.4. Grupo: Bacillus popilliae (DEME-BP)
 - 9. CLASE: antagonistas de la ecdisona (ANEC)
 - 9.1. Grupo: Neem (ANEC-NM)
 - 10. CLASE: agonistas de los receptores de la octopamina (AGRO)
 - 10.1. Grupo: Formamidinas (AGRO- FOR)
Clordimeform: FUNDAL®, GALECRÓN®
Amitraz: MITAC®, TACTIC®
-

Cuadro 6. Clasificación de insecticidas en grupos de resistencia (Continuación).

11. CLASE: inhibidores del transporte de electrones (Complejo I) (INTI)
 - 11.1. Grupo: Acetogeninas anonáceas (INTI- ACT)
 - 11.2. Grupo: Fenazaquin (INTI-FENA)
 - 11.3. Grupo: Fenpyroximato (INTI-FENP)
 - 11.4. Grupo: Piridazinas: pyridaben (SANMITE®) (INTI-PYDZ)
 - 11.5. Grupo: Pirimidifen (INTI-PPYM)
 - 11.6. Grupo: Rotenona (INTI-ROTE)
 - 11.7. Grupo: Tebufenpyrad (INTI-TEBU)

 12. CLASE: inhibidores del transporte de electrones (Complejo III) (INTIII)
 - 12.1. Grupo: Hidrametilnona (INTIII-HIDRA)

 13. CLASE: desacopladores de la fosforilación oxidativa (DFOX)
 - 13.1. Grupo de los dinitrofenoles (DFOX-DIN)
Binapacril
 - 13.2. Grupo de los pirroles: (DFOX-CLOR)
Clorfenapir (SUNFIRE®)

 14. CLASE: Inhibidores de la F1/F0 ATPasa: Diafenthuron (INATP)

 15. CLASE: mímicos de la hormona juvenil: (MHJU)
Hidropreno, Altocid o metopreno

 16. CLASE: inhibidores de la síntesis de la quitina: (INSQ)
Buprofezin, Diflubenzurón, Novalurón

 17. CLASE: quimioesterilizantes: (QUIMIO)
Busulfulán, Hemel, Hempa, mitepa Tapa, Tiotepa

 18. CLASE: feromonas sexuales (FSEX)
 - 18.1. Grupo: Bombi-ol (FSEX-BOMB)
 - 18.2. Grupo: Dispalure (FSEX-DISP)
 - 18.3. Grupo: Eugenol metílico (FSEX-EMET)
 - 18.4. Grupo: Gossyplure (FSEX-GOSS)

 19. CLASE: repelentes (REPE)
 - 19.1. Grupo: Citronela (REPE-CITR)
 - 19.2. Grupo: Dimetil ftalato (REPE-FTAL)
 - 19.3. Grupo: Extracto de ajo (REPE-AJO)
BRALIC®
 - 19.4. Grupo: Indalona (REPE-INDA)
 - 19.5. Grupo: Rutgers (REPE-RUTG)

 20. CLASE: inhibidores de la capa de cera del integumento (INCI)
 - 20.1. Grupo de los ácidos grasos (jabones): IMPIDE®

 21. CLASE: asfixiantes líquidos (ASLIQ)
 - 21.1. Grupo: Aceites minerales
SAF-T-SIDE®
-

Cuadro 6. Clasificación de insecticidas en grupos de resistencia (Continuación).

22. CLASE: asfixiantes gaseosos (ASGAS)

- 22.1. Grupo: 1,3-dicloropropano (ASGAS-DPP)
- 22.2. Grupo: Bromuro de metilo (ASGAS-BMET)
- 22.3. Grupo: Cianuro de hidrógeno (ASGAS-CHID)
- 22.4. Grupo: Cloropicrina (ASGAS-CPIC)
- 22.5. Grupo: Dibromocloropropano (ASGAS-DCPP)
- 22.6. Grupo: Dibromuro de etileno (ASGAS-DBET)
- 22.7. Grupo: Disulfuro de carbono (ASGAS-DCAR)
- 22.8. Grupo: Fosfuro de aluminio (ASGAS-FOAL)
- 22.9. Grupo: Metam potasio: BUSAN 69 GE® (ASGAS-MEPO)
- 22.10. Grupo: Metam sodio: NEMASOL®, VAPAM® (ASGAS-MENa)
- 22.11. Grupo: Naftaleno (ASGAS-NAFT)
- 22.12. Grupo: Óxido de etileno (ASGAS-OXET)
- 22.13. Grupo: p-diclorobenceno (ASGAS-DBEN)
- 22.13. Grupo: Tetracloruro de carbono (ASGAS-TCAR)

23. CLASE: misceláneos (MISC)

- 23.1. Grupo: tetrazinas (MISC-TTRA)
Clofentezina (ACARISTOP®)
- 23.2. Grupo: derivados ácidos (MISC-DACID)
PROTEK
- 23.3. Grupo: Hexitiazox (SAVEY®) (MISC-HEXI)
- 23.4. Grupo: polisulfuro de calcio (MISC-PCAL)
- 23.5. Grupo: PEAK PLUS® (MISC-PPLS)
- 23.6. Grupo aceites parafínicos del petróleo (MISC-APP)

FUENTE: Rodríguez *et al.* 2002.

Es ideal que los insecticidas que se usan en cada país sean debidamente clasificados, para que el técnico pueda conocer el grupo toxicológico a que pertenece determinado insecticida, usando el nombre comercial o el nombre común. Sin lugar a dudas, ayudaría a los productores a mejorar sustancialmente el uso de insecticidas.

LITERATURA CITADA

- Bohmont, B. L. 1990.** The standard pesticide user's guide. Regents/Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey. USA.
- Bujanos, M.R. 1983.** Susceptibilidad a insecticidas en *Heliothis* spp. (Lepidoptera: noctuidae) del sur de Tamaulipas, México. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Crow, J. F. 1960.** Genetics of insecticide resistance: general considerations. Misc. Pub. Entomol. Soc. Am. 2: 69-74.
- Delhom, I., A. L. Devonshire y D. W. Hollomon (eds.). 1992.** Resistance 91: achievements and developments in combating pesticide resistance. London: Elsevier Applied Science.
- Dennehy, T. J., J. Grannet, and T. F. Leigh. 1983.** Relevance of slide-dip and residual bioassay comparisons to detection of resistance in spider mites. J. Econ. Entomol. 76: 1225-1230.
- Díaz G. O. y J. C. Rodríguez. 2000.** Resistencia a insecticidas: conceptos y procedimientos generales para su manejo, pp. 91-100. In: N. Bautista, A. D. Suárez y O. Morales (eds.) Temas selectos en fitosanidad y producción de hortalizas. Colegio de Postgraduados, Instituto de Fitosanidad.
- Forrester, N. W., M. Cahill, L. J. Bird & J. K. Layland. 1993.** Management of Pyrethroid and endosulfan resistance en *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Australia. Bull. Entomol. Research Supplement No. 1.
- Georghiou, G. P. 1971.** Resistance of insects and mites to insecticides and acaricides and the future of pesticide chemicals. University of California, Davis. V. Agric. Sci. 151 p.
- Georghiou, G. P. 1976.** Notas del curso de resistencia de artrópodos a agentes tóxicos. Departamento de Entomología. Universidad de California, Riverside. EUA.
- Georghiou, G. P. 1983.** Management of resistance in arthropods, pp. 769-792. In: G. P. Georghiou y T. Saito (eds.). Pest resistance to pesticides. Plenum. New York.
- Georghiou, G. P. 1986.** The magnitude of the resistance problem, pp. 14-43. In: R. T. Roush y B. E. Tabashnik (eds.). Pesticide resistance in arthropods. Chapman & Hall. EUA.
- Georghiou, G. P. 1987.** Insecticides and pest resistance: the consequences of abuse. 36th Annual Faculty Research Lecture. April 23th. University of California Riverside. EUA.
- Georghiou, G. P. 1994.** Principles of insecticida resistance management. Herbicide Resistance Workshop. Edmonton 1993. Phytoprotection 75 (Suppl). 51-59.
- Georghiou, G. P. and R. Mellon 1983.** Pesticide resistance in time and space, pp 1-46. In: G. P. Georghiou and T. Saito [Eds.]. Pesticide resistance to pesticides. Plenum Press: New York, EUA.

Georghiou, G. P. y C. E. Taylor. 1977. Genetic and biological influences in the evolution of insecticide resistance. *J. Econ. Entomol.* 70: 319-323.

Hoy, M.A. 1999. Myths, models and mitigation of resistance to pesticides, pp. 111-119. In: I. Delhom, J.A. Pickett y A. L. Devonchire (eds.). *Insecticide resistance: from mechanisms to management.* The Royal Society. UK.

Hughes, W.W. 1996. *Essentials of environmental toxicology: the effect of environmentally hazardous substances on human health.* Taylor & Francis. EUA.

Keiding, J. 1977. Resistance in the housefly in Denmark and elsewhere, pp. 261-302. In: D.L. Watson, and A.W.A. Brown [eds.]. *Pesticide management and insecticide resistance.* Academic Press: New York, EUA.

Lagunes, T.A. 1980. Impact of the use of mixtures and sequences of insecticides in the evolution of resistance in *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae). Doctoral dissertation. Department of Entomology. University of California, Riverside. USA.

Lagunes, T.A. 1981. Notas del curso de toxicología y manejo de insecticidas. Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. México.

Lagunes, T.A. 1990. Perspectivas del uso de insecticidas en México. In: A. Lagunes y J. C. Rodríguez [eds.] *Temas selectos de manejo de insecticidas agrícolas.* Colegio de Postgraduados - Instituto de Fitosanidad. México.

Lagunes, T.A. y J. C. Rodríguez. 1982. Clasificación de los insecticidas y acaricidas en base a sus mecanismos de resistencia. XVII Congreso Nacional de Entomología. Marzo 29-31, 1982. Saltillo, Coahuila. México.

Mani, G. S. 1985. Evolution of resistance in the presence of two insecticides. *Genetics.* 109: 761-783.

McKenzie, J. A. 1996. *Ecological and evolutionary aspects of insecticide resistance.* Austin, TX: Academic Press.

Melander, A. L. 1914. Can insects become resistant to sprays? *J. Econ. Entomol.* 7: 167-173.

Mota-Sánchez, D., P. S. Bills, and M. E. Whalon. 2002. Arthropod resistance to pesticides: status and overview, pp. 241-271. In: W.B. Wheeler [ed.] *Pesticides in agriculture and the environment.* Marcel Dekker, Inc. New York. USA.

Perry, A. S., A. Gasita y Y. Mozel. 1983. Pesticide residue in fish and aquatic invertebrates. *Arch. Toxicol. Suppl.* 6: 199-204.

Pimentel, D., L. McLaughlin, A. Zeep, B. Lakitan, T. Kraus, P. Kleinman, F. Vancini, W. J. Roach, E. Graap, W. S. Keeton, G. Selig. 1991. Environmental and economic impacts of reducing U.S. agricultural pesticide use, pp. 679-718. In: D. Pimentel [Ed.]. *Handbook of pest management in agriculture.* Boca Ratón FL: CRC Press. EUA.

Rodríguez, J. C. 1982. División de los insecticidas y acaricidas de acuerdo a grupos toxicológicos: una base para su manejo racional. Tesis de Licenciatura. Departamento de Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. México.

Rodríguez, J. C., P. Guzmán, y O. Díaz. 2002. Manejo racional de insecticidas, pp. 67-96. In: N. Bautista, J. Alvarado, J. C. Cavaña, y H. Sánchez [Eds.], Manejo fitosanitario de ornamentales. Colegio de Postgraduados, Instituto de Fitosanidad. México.

Roush, R. T. 1989. Designing resistance management programs: how can you chose? Pest. Sci. 26: 423-441.

Roush, R. T., and G. L. Miller. 1986. Considerations for design of insecticide resistance monitoring programs. J. Econ. Entomol. 79:293-298.

SAGAR. 1999. Guía de plaguicidas autorizados de uso agrícola. SAGAR- Dirección General de Sanidad Vegetal. México.

Sawicki, R. M. 1987. Definition, detection and documentation of insecticide resistance, pp. 105-117. In: M. G. Ford, D.W. Holloman, B. P.S. Khambay, R. M. Sawicki [eds.], Combating resistance to xenobiotics: biological and chemical approaches. London: Ellis Horwood.

Scott, J. G., R. T. Roush, and D. A. Rutz. 1989. Insecticide resistance of house flies from New York dairies (Diptera: Muscidae). J. Agric. Entomol. 6: 53-64.

Smith, R. F. and H. T. Reynolds. 1977. Effects of manipulating cotton-agro-ecosystems on insect pest populations. The Careless Tech. Ecol. and Int. Develop. T. Farrar and J. P. Milton [eds.], New York, EUA.

Whalon, M. E. and W. H. McGaughey. 1998. *Bacillus thuringiensis*: use and resistance management, pp. 106-137. In: I. Ishaaya, D. Degheele [eds.] Insecticides with novel mode of action: mechanisms and application. Delhi, India. Springer-Verlag.

Whitten, M. y McKenzie. 1982. The genetics basis for pesticide resistance, pp. 1-16. In: K. E. lee (ed.). Proc. 3th Australas. Conf. Grassl. Invert. Ecol. Adelaide, Australia.

WHO. 1957. Expert Committee on Malaria. 7th Report. WHO Tech. Rep. Serv. 125.

Wolfenbarger, D. A., P. R. Bodegas y R. Flores. 1981. Development of resistance in *Heliothis* spp. In the Americas, Australia, Africa and Asia, Bull. Entomol. Soc. Am. 27 (3) 181-185.

LOS INSECTICIDAS EN LA AGRICULTURA DEL NUEVO SIGLO

Eduardo Fuentes-Contreras

Eduardo Fuentes-Contreras

Departamento de Producción Agrícola
Facultad de Ciencias Agrarias
Universidad de Talca
Talca. Chile.

INTRODUCCIÓN

Durante la segunda mitad del siglo XX los insecticidas constituyeron la espina dorsal del manejo de plagas en la agricultura mundial (Casida & Quistad, 1998). Sin embargo, la adversidad de la opinión pública frente a su utilización, ha resultado en la adopción de políticas públicas que demandan evaluaciones exhaustivas de la inocuidad de los pesticidas en los alimentos, aire, agua y suelos. Los exigentes estándares de seguridad alimentaria e impacto ambiental exigidos por los países desarrollados, particularmente Estados Unidos y la Unión Europea, han resultado en la obtención de nuevos productos cada vez más selectivos, seguros y eficientes (Metcalf, 1996).

Es necesario destacar que existe la preocupación de que justamente estos insecticidas de nueva generación, vean disminuida su disponibilidad como resultado de los altos costos involucrados en el desarrollo de nuevas moléculas. Este punto ha sido muy relevante, ya que de las más de treinta grandes compañías existentes hace veinte años, en la actualidad sólo seis se reparten más del 80% del mercado mundial de agroquímicos (Bijman, 2001). En la mayoría de los casos estas empresas se han fusionado, adquirido o establecido alianzas estratégicas, como una forma de enfrentar el incremento progresivo en los costos de investigación y desarrollo, estimados entre 50 y 100 millones de dólares por cada nueva molécula (Bijman, 2001). El resultado de esta tendencia es una reducción en la disponibilidad de insecticidas de nueva generación. Por ejemplo, el registro de nuevos insecticidas en USA disminuyó de aproximadamente cinco por año en la década de los sesenta, a solamente uno por año en la primera mitad de la década de los noventa (Metcalf, 1996).

A esta menor tasa de registro de nuevas moléculas, se debe agregar la pérdida de compuestos debido al desarrollo de resistencia a insecticidas en las plagas. Según Metcalf (1989) más de 500 especies de insectos y ácaros han desarrollado resistencia a algún tipo de insecticidas, siendo cada vez más frecuentes los casos de resistencia cruzada y múltiple. La utilización de estos productos en el marco de estrategias de MIP, que incorporen además de los insecticidas sintéticos el uso de semioquímicos, enemigos naturales y nuevas fuentes de resistencia frente a plagas en los cultivos, representan la única forma de no concentrar las presiones de selección en sólo una alternativa de manejo (Hoy, 1999).

LA NUEVA ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO DE INSECTICIDAS

Las compañías de agroquímicos han progresivamente cambiando el foco del esfuerzo de sus planes de desarrollo, desde los insecticidas de amplio espectro y prolongada persistencia en el ambiente, capaces de controlar con pocas aplicaciones varias plagas simultáneamente, hacia un perfil de productos más selectivos y menos persistentes. Es así como un insecticida de nueva generación debe satisfacer las exigencias de alcanzar una buena actividad en bajas dosis, alta selectividad, adecuado efecto residual y a la vez rápida degradación en el ambiente. Además, es deseable que tenga un modo de acción diferente al de otros grupos de moléculas, lo que permite su utilización contra plagas resistentes a insecticidas previamente existentes. Estas nuevas generaciones de insecticidas demandan un mayor conocimiento de la fenología y dinámica poblacional de las plagas para obtener resultados satisfactorios, pero presentan mucho mejores atributos para ser combinados con otras alternativas del MIP (Casida & Quistad, 1998; Larson, 1998).

Dosificación: Los insecticidas organofosforados y carbamatos se utilizan en dosis de kilos por hectárea, mientras los piretroides requieren solamente gramos por hectárea (Casida & Quistad, 1998). En esta misma tendencia la mayoría de estos nuevos insecticidas se aplican en dosis diez a cien veces menores a las requeridas por los organofosforados y carbamatos. Esta característica asociada a una menor persistencia en los agroecosistemas, resulta en un menor impacto ambiental global (Levitan *et al.*, 1995).

Selectividad: Los pesticidas de amplio espectro no solamente presentan efectos tóxicos sobre la plaga que se desea controlar, sino también sobre polinizadores y enemigos naturales. Han sido frecuentes los casos de resurgencia de plagas secundarias, como consecuencia de aplicaciones de insecticidas dirigidas al control de alguna plaga primaria. Como efecto colateral el insecticida de amplio espectro produce la muerte de los enemigos naturales de las plagas secundarias, las cuales resurgen y demandan la aplicación de nuevos tratamientos. Más aún, la toxicidad sobre las especies que no son el objetivo de la aplicación, aumenta el impacto ambiental adverso sobre otros organismos presentes en el agroecosistema, así como demanda la adopción de medidas de seguridad para proteger a los trabajadores y garantizar la inocuidad de los productos agrícolas.

La selectividad de un insecticida se destaca como un atributo deseado, que permite integrar la acción del control químico con la del control biológico. Esta selectividad puede ser resultado de toxicidad diferencial (selectividad fisiológica), en la cual la toxicidad del insecticida es inherentemente mayor sobre la especie o grupo taxonómico al que pertenece la plaga en comparación con otros organismos (Pfeiffer, 2000; Ware, 2000). También la selectividad puede ser resultado de patrones de actividad espacial o temporalmente desfasada entre la plaga y otros organismos (selectividad ecológica) (Pfeiffer, 2000; Ware, 2000).

Efecto residual y degradación en el ambiente: Un prolongado efecto residual, producto de una lenta degradación en el ambiente, como el que presentaban algunos insecticidas organoclorados, resultaba en una menor cantidad de aplicaciones. Sin embargo, la gran

estabilidad de estas moléculas terminaba a la larga causando su acumulación en algún componente del agroecosistema. La tendencia actual es diseñar moléculas que persistan solamente el tiempo necesario para controlar la plaga blanco (Pfeiffer, 2000). Alcanzar un mayor efecto residual con moléculas que se degradan relativamente rápido al ser expuestas a las condiciones ambientales, puede ser logrado mediante la utilización de formulaciones microencapsuladas o granulares, las cuales liberan en forma progresiva el insecticida, minimizando sus efectos colaterales no deseados sobre el agroecosistema (Pfeiffer, 2000).

Múltiples estudios han establecido que sólo una mínima parte de la dosis que se aplica de un insecticida, es capaz de alcanzar efectivamente a la plaga que se desea controlar. El incremento en la eficiencia de la aplicación de los insecticidas, mediante nuevas técnicas de nebulización electrostática o de ultra bajo volumen, así como la utilización de aplicaciones dirigidas sólo sobre las partes de la planta donde se encuentra la plaga, o mediante tratamientos en almacigueras o de cobertura de semillas, representan promisorias alternativas que reducen considerablemente el impacto ambiental de los insecticidas (Pfeiffer, 2000). De una u otra forma, las compañías de agroquímicos estudian detalladamente el destino de estos compuestos y sus derivados en el ambiente, para lograr obtener el registro de cada nueva molécula.

LOS INSECTICIDAS DE “NUEVA GENERACIÓN”

A pesar de que varios de los insecticidas y productos afines que se detallarán a continuación, han sido desarrollados y registrados hace más de tres décadas, debido a que su utilización no ha desplazado a los insecticidas más tradicionales (organofosforados, carbamatos y piretroides), aún son considerados como relativamente “nuevos”. Estos insecticidas corresponden a la cuarta y quinta generaciones, detalladas por Gilberto Casadei de Baptista (2003) en su capítulo sobre la historia de los insecticidas de este mismo volumen.

REGULADORES DEL CRECIMIENTO

El foco de atención para el desarrollo de nuevos insecticidas más selectivos, se ha desplazado hacia procesos biológicos que no son compartidos entre los animales invertebrados y los vertebrados. A diferencia de las grandes similitudes existentes en los procesos bioquímicos asociados a la transmisión de los impulsos nerviosos por las neuronas de invertebrados y vertebrados, existen varios otros procesos fisiológicos que presentan diferencias sustanciales entre estos organismos. En particular, la presencia de un exoesqueleto rígido compuesto por quitina, así como la regulación del crecimiento y metamorfosis por hormonas propias del sistema endocrino de los artrópodos, han representado coyunturas que permiten desarrollar insecticidas o acaricidas altamente efectivos contra estos organismos, los cuales tienen una mucho menor toxicidad sobre los animales vertebrados y entre ellos el hombre. Estos compuestos corresponden a los denominados “insecticidas reguladores del crecimiento” catalogados como insecticidas de cuarta generación por de Baptista (2003).

Su utilización ha estado limitada por su espectro de acción sobre estados inmaduros de las plagas, así como por el mayor tiempo que requieren para producir la muerte sobre los estados susceptibles (Casida & Quistad, 1998).

Agonistas de hormonas

Un agonista es un compuesto químico que interactúa con un receptor iniciando la respuesta fisiológica o farmacológica propia de ese receptor. En el caso de los insecticidas pertenecientes a este grupo, se produce una activación de la respuesta fisiológica causada por la hormona ecdisona o la hormona juvenil, en un momento y forma que son inadecuados resultando en mudas y/o metamorfosis interrumpidas y finalmente letales (Dhadialla *et al.*, 1998). En términos muy generales, durante el desarrollo de los insectos la concentración de ecdisona controla la ecdisis o muda, específicamente produciendo los cambios en la epidermis que permiten la separación del cuerpo de la cutícula antigua y la formación de una cutícula nueva. Por otra parte, la concentración de hormona juvenil regula el desarrollo de las características de madurez durante la metamorfosis de los insectos, es decir si esta hormona está presente el insecto se mantiene en estado inmaduro de larva, mientras si esta hormona está ausente se produce el paso de larva a pupa en la siguiente muda (Dhadialla *et al.*, 1998).

Agonistas de la ecdisona: A pesar de que no son esteroides y estructuralmente no son muy similares a la hormona natural, los insecticidas del grupo químico de las diacil-hidrazinas son potentes agonistas de la ecdisona. En particular, tebufenozide (Mimic) y metoxifenozone (Intrepid) presentan una alta selectividad sobre lepidópteros, actuando principalmente por ingestión sobre su estado de larva (Dhadialla *et al.*, 1998). Estudios más recientes han detectado también efectos subletales importantes sobre adultos de algunos lepidópteros, tales como reducciones de la fertilidad y fecundidad, resultantes del contacto con residuos de estos insecticidas (Sun & Barret, 1999; Knight, 2000). Por último, el halofenozide (Mach 2) es utilizado para plagas de lepidópteros y coleópteros del suelo en césped y plantas ornamentales (Dhadialla *et al.*, 1998).

Agonistas de la hormona juvenil. La mayoría de los agonistas de esta hormona no son terpenos y estructuralmente no están relacionados entre sí o con la hormona natural. El fenoxicarb (Insegar) corresponde químicamente a un carbamato, pero sus efectos son esencialmente como agonista de esta hormona. Este insecticida produce la muerte de estados inmaduros (huevos, larvas, ninfas) y reducción de la fecundidad en adultos. Su espectro de acción es bastante amplio incluyendo plagas agrícolas de los órdenes Hemiptera y Lepidoptera, así como plagas domésticas y de granos almacenados de varios órdenes (Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Siphonaptera, Orthoptera, etc.) (Dhadialla *et al.*, 1998). Otro insecticida que tiene efectos agonistas de la hormona juvenil es la piridina denominada piriproxifen (Admiral), con buen control de plagas agrícolas de Hemiptera y Lepidoptera, así como Diptera en el área de plagas domésticas y de producción animal (Dhadialla *et al.*, 1998).

Inhibidores de la síntesis de quitina

La quitina es el componente fundamental del exoesqueleto rígido característico de los artrópodos. Este compuesto es un aminopolisacárido formado por unidades de N-acetilglucosamina, los que son sintetizados intracelularmente por una enzima de la membrana celular llamada quitina sintetasa. Estas unidades de N-acetilglucosamina deben atravesar la membrana celular para formar cristales rígidos que al acumularse y depositarse extracelularmente forman la endocutícula del exoesqueleto (Verloop & Ferrel, 1977). Este proceso es complejo y la mayoría de los detalles acerca de su regulación son conocidos sólo parcialmente. En particular, los insecticidas del grupo de las benzoil fenil ureas tienen la capacidad de bloquear la actividad de la quitina sintetasa, ya sea inhibiendo la síntesis o la translocación de la quitina, pero su modalidad de acción no está completamente dilucidada (Cohen, 2001). Dentro de este grupo de insecticidas, los más conocidos son el Diflubenzuron (Dimilin), Teflubenzuron (Nomolt), Flufenoxuron (Cascade), Triflumuron (Alsystin), Novaluron (Rimon) y Lufenuron (Sorba). Estos insecticidas tienen un espectro de acción bastante amplio, actuando por ingestión sobre los estados inmaduros de ácaros e insectos de varios órdenes. Tienen una muy baja toxicidad sobre mamíferos y otros vertebrados, pero debido a su toxicidad sobre artrópodos acuáticos, no pueden ser utilizados cerca de los cursos de agua.

Otros insecticidas reguladores del crecimiento

Otro insecticida que interfiere la regulación del crecimiento y metamorfosis de los insectos es la triazina denominada ciromazina (Trigard). Este insecticida es muy eficiente controlando larvas de Diptera, ya sea al ser incorporada sistémicamente en las plantas para controlar larvas minadoras de hojas, o bien a través de la alimentación de aves en criaderos para controlar larvas de moscas del guano (Casida & Quistad, 1998). Por último, la azadiractina es un limonoide de origen botánico que constituye el ingrediente activo mayoritario de extractos del árbol del Neem (*Azadirachta indica*) (Neem X). Entre otros efectos, estos extractos causan la interrupción de la metamorfosis, aparentemente al bloquear la biosíntesis o el metabolismo de la ecdisona. Tiene un espectro de acción sobre estados inmaduros de ácaros e insectos de varios órdenes, con muy baja toxicidad sobre vertebrados (Silva *et al.*, 2002).

NEUROTÓXICOS CON NUEVAS MODALIDADES DE ACCIÓN

Debido a su bajo costo, amplio espectro de acción, rapidez y efectividad para controlar diversas plagas, los insecticidas neurotóxicos fueron los componentes centrales del desarrollo de los insecticidas durante el siglo XX. Esta situación probablemente se mantendrá durante los próximos años, al incorporarse insecticidas neurotóxicos con modalidades de acción diferentes a las exhibidas por organoclorados, organofosforados, carbamatos y piretroides (Casida & Quistad, 1998). Estos compuestos corresponden a los insecticidas denominados de quinta generación, por Casadei de Baptista (2003) en este mismo volumen.

Es importante recordar brevemente las modalidades de acción de los principales grupos de insecticidas neurotóxicos tradicionales. En primer lugar, los carbamatos y organofosforados actúan de la misma forma, inhibiendo la enzima acetilcolinesterasa, responsable de la degradación del neurotransmisor acetilcolina en las sinapsis colinérgicas de las neuronas del sistema nervioso central de los insectos (Ware, 2000). Por otra parte, los piretroides y el DDT bloquean los canales de sodio, interrumpiendo la transmisión del impulso nervioso por la membrana de las neuronas del sistema nervioso central y periférico (Ware, 2000).

Las sinapsis periféricas de los nervios motores (unión neuromuscular) de los insectos no son colinérgicas, debido a que no utilizan acetilcolina sino otros dos compuestos como neurotransmisores. El ácido glutámico que actúa estimulando estas sinapsis, al dejar salir cloro desde las neuronas, y el ácido g-amino butírico GABA que actúa inhibiendo estas sinapsis al hacer ingresar cloro al interior de estas neuronas (Ware, 2000). Justamente, los organoclorados ciclodienos (Aldrin, Dieldrin, Endosulfan, etc.) actúan como antagonistas de los canales de cloro controlados por GABA, reduciendo el efecto inhibitorio sobre estas sinapsis glutaminérgicas (Ware, 2000).

Agonistas de las sinapsis colinérgicas: Los insecticidas neonicotinoides, son derivados sintéticos de la nicotina que activan permanentemente los receptores de acetilcolina en las sinapsis colinérgicas. Este grupo de productos ha crecido en nuevas moléculas muy rápidamente durante las últimas décadas, debido a su amplio rango de acción, actividad en bajas dosis y excelente incorporación y translocación en las plantas. Además, estos insecticidas presentan una destacada selectividad, la cual parece estar basada sobre diferencias fundamentales entre los receptores de acetilcolina de insectos y mamíferos (Tomizawa & Casida, 2003). El primer grupo de estos compuestos son los cloronicotinilos, entre los que se destacan el imidacloprid (Confidor; Gaucho, Provado) y acetamiprid (Mospilan). Estos compuestos actúan por contacto e ingestión, con muy buen control de plagas de Hemiptera y de algunos Coleoptera (Elbert *et al.*, 1996). Más recientemente se ha desarrollado un nuevo cloronicotinilo, denominado tiacloprid (Calypso) el cual manifiesta actividad sobre Hemiptera y algunos Lepidoptera (Elbert *et al.*, 2001). El segundo grupo de neonicotinoides son los tianicotinilos, con características muy similares a las de los cloronicotinilos y entre los que se destaca tiametoxam (Actara, Cruiser) y clotianidina (Poncho) (Maienfisch *et al.*, 2001; Jeschke *et al.*, 2003).

El grupo de insecticidas más recientemente desarrollados son los naturalites, que corresponden a lactonas macrocíclicas producto de la fermentación del hongo *Saccharopolyspora spinosa* (Ware, 2000). El primer insecticida de este grupo es el espinosad (Success), compuesto por una mezcla de espinosinas A y D. Este insecticida actúa manteniendo activos permanentemente los receptores de acetilcolina en las sinapsis (Casida & Quistad, 1998). El espinosad tiene un espectro de control sobre plagas de Diptera, Lepidoptera y Thysanoptera, con muy baja toxicidad sobre vertebrados y otros invertebrados que no son plagas (Thompson *et al.*, 1999).

Por último, aunque desarrollados hace ya tres décadas, el clorhidrato de cartap (Neres) y el tiociclam (Evisect) son derivados sintéticos de una toxina producida por el gusano

marino *Lumbriconereis heteropoda* (Annelida: Polychaeta), los cuales actúan también sobre el receptor de acetilcolina, aunque en una forma diferente a la de los neonicotinoides y del espinosad (Casida & Quistad, 1998; Ware, 2000).

Agonistas y antagonistas de las sinapsis glutaminérgicas: Las avermectinas son lactonas macrocíclicas, obtenidas como productos de la fermentación del hongo *Streptomyces avermitilis*. Estos compuestos están representados por la abamectina, mezcla de avermectina B1a y B1b (Vertimec, Fast), y más recientemente por la emamectina, mezcla de emamectina B1a y B1b (Proclaim). Estos insecticidas-acaricidas son activos en muy bajas dosis, actuando por ingestión y contacto, así como son también incorporados translaminarmente en los cultivos. En el nivel molecular son agonistas de los receptores de GABA, activándolos permanentemente, lo que causa la apertura de los canales de cloro y consecuentemente la inhibición de las sinapsis glutaminérgicas (Casida & Quistad, 1998; Ware, 2000). Por el contrario, como un antagonista del GABA, es decir estimulando las sinápsis glutaminérgicas actúa el fipronil (Regent). Este insecticida fenilpirazol es el único representante de este grupo, que actúa por contacto e ingestión y presenta actividad sistémica (Casida & Quistad, 1998; Ware, 2000).

Otro insecticida cuya modalidad de acción es aún desconocida, pero que probablemente actúa a nivel del sistema nervioso es la Pimetrozina (Chess), la cual tiene propiedades sistémicas y actúa por contacto e ingestión sobre plagas de Hemiptera (Casida & Quistad, 1998; Ware, 2000).

INHIBIDORES DE LA RESPIRACIÓN CELULAR

Todas las células animales necesitan convertir la energía química proveniente de los alimentos, en energía almacenada en los enlaces de una molécula denominada trifosfato de adenosina (ATP). Esta molécula constituye la mayor fuente de energía para todos los procesos biológicos de los seres vivos, siendo esencial para su sobrevivencia, crecimiento y reproducción. Los procesos metabólicos de respiración liberan la energía de las moléculas de los alimentos, la cual es convertida en ATP en las membranas internas de las mitocondrias de las células. En este lugar se encuentra una serie de enzimas capaces de recibir electrones y transportarlos en forma sucesiva, mediante un proceso que culmina con la síntesis de ATP.

Existen varios nuevos grupos químicos de moléculas capaces de interferir este proceso de respiración celular: El insecticida clorfenapir (Sunfire) desacopla la producción de ATP del transporte de electrones, mientras los acaricidas fenazaquin (Magister), piridaben (Sanmite) y fenpiroximato (Acaban) bloquean la enzima NADH ubiquinona reductasa en la cadena de transporte de electrones. En todos estos casos no se efectúa la síntesis de ATP, lo cual produce la muerte en forma rápida (Casida & Quistad, 1998; Ware, 2000).

INSECTICIDAS MICROBIANOS Y SEMIOQUÍMICOS

Cómo alternativas a la utilización de insecticidas sintéticos, se han desarrollado productos constituidos por microorganismos entomopatógenos, semioquímicos y otras alternativas

de manejo de plagas. Estos productos corresponden a la tercera generación, detallada por Gilberto Casadei de Baptista (2003) en su capítulo sobre la historia de los insecticidas de este mismo volumen.

SEMIOQUÍMICOS

Los semioquímicos (del griego *semeon* que significa señal) son compuestos químicos que no producen efectos letales, sino que median las interacciones conductuales entre organismos. Estos pueden ser compuestos químicos que afectan la interacción entre individuos de la misma especie, en cuyo caso se habla de feromonas, o bien entre especies distintas denominándose aleloquímicos (Nordlund, 1981).

La feromonas sexuales son compuestos o mezclas de compuestos liberados generalmente por las hembras de los insectos, para atraer a los machos de su misma especie y reproducirse en forma exitosa. Estas feromonas sexuales son los semioquímicos más utilizados en el manejo de plagas, ya que son altamente específicos para cada plaga, lo que permite utilizarlos sin afectar a otras especies del agroecosistema. Estas herramientas de manejo pueden ser utilizadas de diversas formas alternativas.

Monitoreo de plagas: Una de las principales estrategias de uso de las feromonas sexuales es el cebado de trampas que sirven para monitorear la fenología de alguna determinada plaga. De esta forma se puede estimar el momento en que la plaga se encuentra en su estado de desarrollo más susceptible, lo que indica el momento más apropiado para aplicar alguna medida de control. Como un ejemplo se puede mencionar la feromona sexual de la polilla de la manzana, cuyo componente mayoritario (E,E)-8,10-dodecadien-1-ol, más conocido como codlemona, es utilizado en trampas para seguir la dinámica de vuelo de los machos de esta especie (Riedl *et al.*, 1976).

Confusión sexual: En esta estrategia se pretende producir una liberación de feromona en una concentración muchísimo más alta que la producida normalmente por una hembra virgen. De esta forma se satura el ambiente del cultivo con la feromona sintética y el macho es incapaz de encontrar a la hembra durante el periodo de llamado o emisión de la feromona natural. Consecuentemente, se impide la cópula y la hembra oviposita huevos estériles, los cuales no eclosionarán en larvas que ataquen el cultivo. La codlemona también está disponible para ser utilizada de esta forma, en el control de la polilla de la manzana (Isomate, Rak Pomáceas, Checkmate) (Cardé & Minks, 1995).

Atracticidas: En esta estrategia de manejo la feromona sexual femenina está formulada en una pasta viscosa que también contiene un insecticida de contacto. La formulación es depositada en forma de gotas en el campo, usando un dispensador especializado. Las gotas del formulado liberan la feromona en una concentración similar a la de una hembra fértil, produciéndose la atracción de los machos hacia las gotas con las que intentan copular. Los machos se alejan de las gotas, pero quedan con su cuerpo cubierto por la formulación viscosa con insecticida. El efecto tóxico del insecticida produce la muerte de los machos

en forma rápida. Para el control de la polilla de la manzana hay algunos productos en desarrollo que contienen codlemona y piretroides (Sirene, Appeal) (Charmillot et al., 2000; Lösel et al., 2000)

INSECTICIDAS MICROBIANOS

Entre los diversos enemigos naturales de las plagas, los microorganismos patógenos de las plagas (entomopatógenos), constituidos principalmente por virus, bacterias, hongos, protozoos y nematodos, representan un grupo de organismos que pueden ser utilizados como insecticidas de origen biológico. Este tipo de productos son altamente específicos, sin producir daños al medio ambiente o a las personas, siendo posible aplicarlos en muchos casos con las maquinarias de nebulización utilizadas para los insecticidas de origen sintético (Lecuona, 1996; Hagler, 2000). Sus principales limitaciones son su reducida capacidad de almacenamiento por periodos prolongados, así como su mayor lentitud para provocar efectos letales en comparación con los insecticidas sintéticos (Lecuona, 1996).

Virus: Los virus de la poliedrosis nuclear y los virus de la granulosis son los principales grupos de baculovirus utilizados para el control de plagas. Su espectro de acción está restringido por lo general a sólo una especie de hospedero. Estos virus deben ser ingeridos para infectar, ya que en el intestino de su hospedero se degrada la matriz proteica que rodea la partícula viral, lo que permite que comience la infección de las células intestinales. Luego las partículas virales llegan a la hemolinfa del insecto infectando otros órganos para seguir replicándose. Los baculovirus son muy sensibles a la radiación solar, lo que limita su efecto residual en condiciones de campo. Otra desventaja son los altos costos que implica la producción masiva de estos microorganismos, ya que sólo puede ser realizada *in vivo* en sus respectivos hospederos. Como ejemplo de este tipo de insecticidas virales, se puede mencionar el virus de la granulosis de la polilla de la manzana (Carpovirusine) (Moscardi, 2000).

Bacterias: La principal bacteria utilizada para el control de plagas es el *Bacillus thuringiensis* (Bt), que al esporular forma cristales paraesporales formados por proteínas (δ-endotoxinas). Estas proteínas deben ser ingeridas para activarse por la acción de las proteasas del intestino de su hospedero, liberándose en su forma activa para afectar las células epiteliales. Las endotoxinas producen la parálisis de las piezas bucales y el tubo digestivo, luego desintegran el epitelio intestinal causando un desequilibrio osmótico y finalmente una septicemia (Gill et al., 1992). Esta bacteria presenta una alta selectividad, ya que existen diferentes variedades de Bt con endotoxinas letales para plagas de diferentes órdenes (Lepidoptera, Coleoptera o Diptera) (Hagler, 2000). Las endotoxinas son muy sensibles a la luz solar, lo que limita su efecto residual en aplicaciones de campo. Para resolver esta limitación, se han producido endotoxinas de Bt encapsuladas en células muertas de *Pseudomonas fluorescens*. Algunos ejemplos de insecticidas bacterianos son las formulaciones de *B. thuringiensis* var. *kurstaki* (Dipel, Thuricide, Javelin) que presentan un buen control de larvas de Lepidoptera.

Hongos: Los hongos son capaces de infectar un rango de hospederos mayor que el de virus y bacterias, aunque dentro de cada especie existe variabilidad de razas con un mayor

grado de selectividad frente a determinadas plagas. Los principales hongos utilizados como entomopatógenos son *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* y *Verticillium lecanii*. Estos hongos producen esporas (conidias) que al llegar a tomar contacto directo con el cuerpo de su hospedero, se adhieren y germinan para perforar la cutícula de los insectos. Una vez en el interior del cuerpo con sus hifas se multiplican colonizando todos los órganos, matando al hospedero producto de la liberación de toxinas o por el crecimiento masivo de las hifas después de algunos días. Finalmente, al terminarse su fuente de alimentación, los hongos nuevamente perforan la cutícula para producir conidioforos que esporulan liberando las conidias al medio externo. La principal limitación de los insecticidas basados sobre formulados con hongos, es la alta humedad relativa que necesitan para poder infectar a su hospedero. Por otra parte, pueden ser producidos masivamente con costos relativamente bajos (Hajek & St. Leger, 1994).

Nematodos: Los nemátodos de los géneros *Heterorhabditis* y *Steinernema* son utilizados como insecticidas microbiológicos, principalmente para el control de plagas del suelo. Estos nemátodos buscan activamente su hospedero y lo penetran principalmente por orificios naturales. En el interior de su hospedero liberan bacterias simbiotas que llevan en su intestino, las cuales producen toxinas y matan al hospedero por septicemia. Finalmente, nuevos nemátodos salen del cadáver de su hospedero para continuar el ciclo de infección. Las bacterias simbiotas pertenecen a los géneros *Photorhabdus* y *Xenorhabdus*, requiriendo de los nemátodos para dispersarse, mientras los nemátodos necesitan de estas bacterias para poder matar a su hospedero y alimentarse sin sucumbir a la respuesta inmune de su hospedero (Kaya & Gaugler, 1993).

BIOTECNOLOGÍA

El advenimiento de la biotecnología en la agricultura está permitiendo una serie de avances que hace pocos años parecían imposibles. Tradicionalmente el incorporar algún carácter de resistencia a un cultivo, requería contar con alguna especie estrechamente relacionada que permitiera transferir el atributo mediante programas de cruzamiento, los cuales no siempre alcanzaban resultados satisfactorios. La posibilidad de incorporar en el genoma de los cultivos, genes provenientes de cualquier organismo que codifican alguna característica específica que brinda resistencia frente al ataque de las plagas, representa una verdadera revolución en el MIP para las próximas décadas (Shelton *et al.*, 2002). Es así como las industrias de agroquímicos se están reposicionando junto a las compañías de producción de semillas y de biotecnología, para formar consorcios en el área de "ciencias de la vida" (Bijman, 2001).

Los primeros avances están resultando en la utilización masiva de cultivos transgénicos de algodón y maíz, así como en menor grado papas y tomate, que expresan algunas d-endotoxinas de *Bacillus thuringiensis* (Shelton *et al.*, 2002). Más recientemente, se están incorporado más genes para proveer nuevas fuentes de resistencia, tales como inhibidores de proteasas y lectinas. En etapa de exploración se están evaluando otras fuentes de toxinas, como por ejemplo las provenientes de las bacterias simbiotas de nemátodos entomopatógenos (French-Constant & Bowen, 1999).

El principal beneficio para la agricultura del manejo de plagas incluyendo el uso de cultivos transgénicos, es la fuerte disminución en la utilización de insecticidas. Esto implica un menor impacto ambiental y mayor seguridad para los trabajadores agrícolas (Shelton *et al.*, 2002). Sin embargo, también existen riesgos asociados a su utilización a gran escala, tales como el desarrollo de resistencia por parte de las plagas (Gould, 1998), la posibilidad de transferir los transgenes mediante hibridación espontánea entre los cultivos transgénicos y sus parientes silvestres (Brown, 2001; Shelton *et al.*, 2002), así como inquietudes acerca de la seguridad alimentaria de los productos obtenidos para consumo humano (Hopkin, 1991; Shelton *et al.*, 2002).

La capacidad de la biotecnología para desarrollar organismos genéticamente modificados (OGM) no se limita a las plantas. Es así como ya está disponible un baculovirus (poliedrosis nuclear de *Autographa californica*) recombinante al que se ha incorporado el gen de una toxina de veneno del escorpión *Antroctonus australis* (Richards *et al.*, 1998). Varios otros microorganismos entomopatógenos son susceptibles de incorporar algún gen que mejore sus atributos de patogenicidad frente a las plagas. Por último, también las plagas pueden ser modificadas genéticamente para expresar algún gen con algún atributo deseado. Los individuos transgénicos podrían ser liberados, transmitiendo este gen en su descendencia y estableciéndose en la población silvestre. Luego frente a determinadas circunstancias, este gen podría expresarse y producir la muerte de los individuos que lo posean (O' Brochta & Atkinson, 1999).

AGRICULTURA ORGÁNICA

En parte debido a la desconfianza de la opinión pública, frente a las sofisticaciones biotecnológicas y al manejo de plagas basado sobre los insecticidas sintéticos, una fracción no despreciable de los consumidores de los países desarrollados está privilegiando la producción de alimentos en una forma completamente natural (Greene, 2000). En este contexto denominado "agricultura orgánica", el manejo de plagas debe realizarse sin la utilización de insumos sintéticos, estimulando la actividad de controladores biológicos y utilizando solamente insecticidas de origen natural.

La búsqueda de insecticidas botánicos para la agricultura orgánica, tales como los extractos de diversas plantas, han entregado un nuevo impulso al desarrollo de estas alternativas de manejo (Silva *et al.*, 2002). Particularmente, los extractos de Neem (Neem X) están comercialmente disponibles, siendo también posible preparar artesanalmente extractos de ajo y tabaco (Silva, 2002).

Varios insecticidas inorgánicos que estuvieron sin ser utilizados masivamente durante varias décadas, están volviendo a ser alternativas de manejo para estos productores. Como ejemplos se pueden mencionar la caolina (Surround) y el polisulfuro de calcio (Edwards, 1998).

PERSPECTIVAS PARA EL FUTURO PRÓXIMO

En las próximas décadas los insecticidas y productos afines presentados en este capítulo, serán los elementos centrales del manejo de plagas. En lo que respecta a los insecticidas sintéticos, estos continuarán también jugando un rol importante, aunque para los cultivos extensivos serán progresivamente reemplazados por la biotecnología. La producción integrada seguirá ocupando las mayores superficies agrícolas, pero en forma paralela la producción orgánica progresivamente alcanzará una mayor importancia. Una valoración desapasionada de los beneficios del uso racional de los insecticidas y otras alternativas afines de manejo de plagas, podrá permitir la adecuada protección de una producción agrícola que debe sustentar una población humana creciente. En este escenario, la mayoría de los especialistas en entomología agrícola concuerdan los insecticidas, continuarán jugando un rol central en el desarrollo del manejo integrado de plagas (MIP) en el contexto de una agricultura más sustentable.

Agradecimientos

Se agradecen las interesantes discusiones sobre muchos de estos temas con los colaboradores, amigos y ex alumnos del Laboratorio de Entomología de la Universidad de Talca, especialmente Blas Lavandero, Eduardo Donoso, Cristián Muñoz, Alejandro Vega y Regis Lefevre.

LITERATURA CITADA

Baptista, G.C. de 2003. Breve historia de los insecticidas. In: Silva, G y R. Hepp (Eds). Bases para el Manejo Racional de Insecticidas. Universidad de Concepción-FIA. **EN PRENSA.**

Bijman, J. 2001. Restructuring the life science companies. *Biotechnology and Development Monitor* 44/45: 27-31.

Brown, K 2001. Plantas transgénicas y ecosistemas. *Revista Investigación y Ciencia* 297: 14-19.

Cardé, R.T. & A.K. Minks, 1995. Control of moth pests by mating disruption: successes and constrains. *Annual Review of Entomology* 40: 559-585.

Casida, J.E. & G.B. Quistad 1998. Golden age of insecticide research: past, present or future? *Annual Review of Entomology* 43: 1-16.

Charmillot, P.J., D. Hofer & D. Pasquier 2000. Attract and kill: a new method for control of the codling moth *Cydia pomonella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 94: 211-216.

Cohen, E. 2001. Chitin synthesis and inhibition: a revisit. *Pest Management Science* 57(10): 946-950.

- Dhadialla, T.S., G.R. Carlson & D.P. Le 1998.** New insecticides with ecdysteroidal and juvenile hormone activity. *Annual Review of Entomology* 43: 545-569.
- Edwards, L. 1998.** Organic tree fruit management. Certified Organic Associations of British Columbia. Keremeos, Canada. 240 pp.
- Elbert, A., R. Nauen, M. Cahill, A.L. Devonshire, A.W. Scarr, S. Sone & R. Steffens 1996.** Resistance management with chloronicotinil insecticides using imidacloprid as an example. *Planzenschutz Nachrichten Bayer* 49: 5-54.
- Elbert, A., U. Ebbinghaus-Knitscher, C. Erdelen, R. Nauen & J. Schnorbach 2001.** The biological profile of thiacloprid – a new chloronicotinyl insecticide. *Planzenschutz Nachrichten Bayer* 54: 185-208.
- French-Constant, R.H & D. Bowen 1999.** *Photorhabdus* toxins: novel biological insecticides. *Current Opinion in Microbiology* 2: 284-288.
- Gill, S.S., E.A. Cowles & P.V. Pietrantonio 1992.** The mode of action of *Bacillus thuringiensis* endotoxins. *Annual Review of Entomology* 37: 615-636.
- Gould, F. 1998.** Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest genetics and ecology. *Annual Review of Entomology* 43: 701-726.
- Greene, C. 2000.** U.S. Organic agriculture gaining ground. *Agriculture Outlook* 270: 9-14.
- Hagler, J.R. 2000.** Biological control of insects. In: J.E. Rechcigl & N.A. Rechcigl (eds.), *Insect pest management: techniques for environmental protection*. Pages: 207-241. Lewis Publishers. Boca Ratón, USA
- Hajek, A.E. & R.J. St. Leger 1994.** Interactions between fungal pathogens and insect hosts. *Annual Review of Entomology* 39: 293-322.
- Hopkin, K. 2001.** Productos transgénicos e ingesta. *Revista Investigación y Ciencia* 297: 20-21.
- Hoy, M.A. 1998.** Myths, models and mitigation of resistance to pesticides. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B* 353: 1787-1795.
- Jeschke, P., H. Uneme, J. Benet-Buchholz, J. Stölting, W. Sirges, M. E. Beck & W. Etzel 2003.** Clothianidin (TI-435) – the third member of the chloronicotinyl insecticide (CNI™) family. *Planzenschutz Nachrichten Bayer* 56: 5-25.
- Kaya, H.K. & R. Gaugler 1993.** Entomopathogenic nematodes. *Annual Review of Entomology* 38: 181-206.
- Knight, A.L. 2000.** Tebufenozide targeted against codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) adult, eggs, and larvae. *Journal of Economic Entomology* 93(6): 1760-1767.
- Larson, L.L. 1998.** Novel organic and natural product insect management tools. In: E. B. Radcliffe and W. D. Hutchison (eds.), *Radcliffe's IPM World Textbook*, URL: <http://ipmworld.umn.edu>, University of Minnesota, St. Paul, MN.

- Lecuona, R.E. 1996.** Microorganismos patógenos empleados en el control microbiano de insectos plaga. Talleres Gráficos Mariano Mas. Buenos Aires. 338 pp.
- Levitan, L., I. Merwin & J. Kovach 1995.** Assessing the relative environmental impacts of agricultural pesticides: the quest for a holistic method. *Agriculture Ecosystems and Environment* 55: 153-168.
- Lösel, P.M., G. Penners, R.J.P. Potting, D. Ebbinghaus, A. Elbert & J. Scherckenbeck 2000.** Laboratory and field experiments towards the development of an attract and kill strategy for the control of the codling moth, *Cydia pomonella*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 95: 39-46
- Maienfisch, P., M. Angst, F. Brandl, W. Fischer, D. Hofer, H. Kayser, W. Kobel, A. Rindlisbacher, R. Senn, A. Steinemann & H. Widmer 2001.** Chemistry and biology of thiamethoxam: a second generation neonicotinoid. *Pest Management Science* 57: 906-913.
- Metcalf, R.L. 1989.** Insect resistance to insecticides. *Pesticide Science* 26: 333-358.
- Metcalf, R.L. 1996.** Applied entomology in the twenty-first century. *American Entomologist* 42(4): 216-227.
- Moscardi, F. 1999.** Assessment of the application of baculoviruses for control of Lepidoptera. *Annual Review of Entomology* 44: 257-289.
- Nordlund, D.A. 1981.** Semiochemicals: a review of the terminology. In: D.A. Norlund, R.J. Jones & W.J. Lewis (eds.), *Semiochemicals: their role in pest control*. Pages: 13-28. Wiley & Sons. New York. USA
- O'Brochta, D.A. & P.W. Atkinson 1999.** Ingeniería genética contra las plagas de insectos. *Revista Investigación y Ciencia* 269: 64-69.
- Pfeiffer, D.G. 2000.** Selective insecticides. In: J.E. Rechcigl & N.A. Rechcigl (eds.), *Insect pest management: techniques for environmental protection*. Pages: 131-174. Lewis Publishers. Boca Ratón. USA.
- Richards, A., M. Matthews & P. Christian 1998.** Ecological considerations for the environmental impact evaluation of recombinant baculovirus insecticides. *Annual Review of Entomology* 43: 493-517.
- Riedl, H., B.A. Croft & A.J. Howitt 1976.** Forecasting codling moth phenology based on pheromone trap catches and physiological-time models. *Canadian Entomologist* 108(5): 449-460.
- Shelton, A. M., J.-Z. Zhao & R. T. Roush 2002.** Economic, ecological, food safety, and social consequences of the deployment of Bt transgenic plants. *Annual Review of Entomology* 47: 845-881.
- Silva, G. 2002.** Insecticidas vegetales. In: E. B. Radcliffe and W.D. Hutchison (eds.), *Radcliffe's IPM World Textbook*, URL: <http://ipmworld.umn.edu>, University of Minnesota, St. Paul, MN.

Silva, G., A. Lagunes, J.C. Rodríguez & D. Rodríguez 2002. Insecticidas vegetales: una vieja y nueva alternativa para el manejo de plagas. Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica) 66: 4-12.

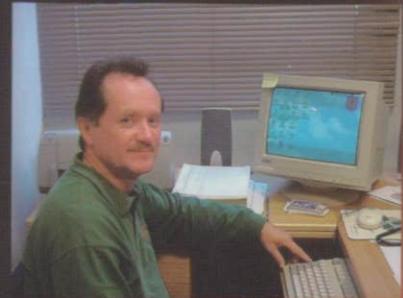
Sun, X. & B.A. Barrett 1998. Fecundity and fertility changes in adult codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) exposed to surfaces treated with tebufenozide and methoxyfenozide. Journal of Economic Entomology 92(5): 1039-1044.

Thompson, G.D., S.H. Hutchins & T.C. Sparks 1999. Development of spinosad and attributes of a new class of insect control products. In: E. B. Radcliffe and W. D. Hutchison (eds.), Radcliffe's IPMWorldTextbook, URL: <http://ipmworld.umn.edu>, University of Minnesota, St. Paul, MN.

Tomizawa, M. & J.E. Casida 2003. Selective toxicity of neonicotinoids attributable to specificity of insect and mammalian nicotinic receptors. Annual Review of Entomology 48: 339-364.

Verloop, A. & C.D. Ferrel 1977. Benzoylphenyl ureas – a new group of larvicides interfering with chitin deposition. In: J.R. Plimmer (ed.), Pesticide chemistry in the 20th century. Pages: 237-270. American Chemical Society Symposium Series 37. Washington DC. USA

Ware, G.W. 2000. The pesticide book. 5th Edition. Thomson Publications. Fresno. USA. 418 pp.



RUPERTO HEPP GALLO

Titulado de Ingeniero Agrónomo en 1971 de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción. Realizó estudios de postgrado en la Universidad de Wisconsin, Madison, USA, obteniendo los grados de Master of Science y Ph D. en la especialidad de Fitopatología en los años 1974 y 1976, respectivamente.

Sus principales líneas de investigación han sido las de epidemiología de enfermedades producidas por virus y fitoplasmas en cultivos tales como papas y remolacha, y métodos de detección e identificación de virus en cultivos y frutales menores como cirutilla, frambuesa y arándano. Es Profesor Titular del Departamento de Producción Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, donde imparte docencia de pre-grado y de postgrado en Fitopatología, Virología Vegetal y Producción de Berries. Ha dirigido proyectos de investigación patrocinados por el British Council, la Agencia de Cooperación Científica con Iberoamérica, Fondecyt, FIA, y recientemente se ha adjudicado un proyecto Fondef para estudiar el manejo orgánico en arándano.