

ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL MANEJO DE RESISTENCIA EN INSECTOS-PLAGA.

Elizabeth Carazo, Ph.D., Escuela de Fitotecnia y Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA), UNIVERSIDAD DE COSTA RICA.

INTRODUCCION

El fracaso del combate químico de plagas de insectos es atribuido con frecuencia al desarrollo de resistencia por parte de éstas a los insecticidas utilizados. Las causas de este fracaso sin embargo pueden ser variadas, entre las más comunes están las aplicaciones ineficientes y las condiciones climáticas desfavorables en el momento de la aplicación.

Evidencia que indica el desarrollo de resistencia se da cuando luego de repetidas aplicaciones de un plaguicida éstas resultan infructuosas en el combate de la plaga y como consecuencia la posibilidad del desarrollo de resistencia debe ser investigada para definir la estrategia a seguir.

Diversas definiciones de resistencia han sido propuestas, de acuerdo a Crow (1960) es el cambio genético en respuesta a la selección (por plaguicidas), la OMS (Brown y Pal, 1971) la define como el desarrollo de la habilidad en una raza de insectos de tolerar dosis de un tóxico que han probado ser letales a la mayoría de los individuos en una población normal de la misma especie. De acuerdo a Muggletom, citado por Moberg (1990), la palabra normal, usada en la definición, se refiere a una población de la plaga que no ha estado sujeta nunca a presión por un tóxico y mantenida en el laboratorio.

De ahí que Moberg (1990), sugiere que la población a la cual se debe referir el término, sea una población colectada en el campo con un historial normal de exposición a agroquímicos en el área en estudio y que puede ser resistente al producto probado o mostrar resistencia cruzada a un nuevo compuesto.

Asimismo Moberg (1990) sugiere adoptar la definición propuesta por Sawicki (1987): "resistencia marca un cambio genético en respuesta a la selección por tóxicos que pueden disminuir el control en el campo". A esta definición Moberg (1990) la completa agregándole: "a dosis recomendadas".

Monge (1986), indica que la resistencia cruzada positiva puede ser definida como "la resistencia que se genera en los insectos a un determinado plaguicida y a otros que no se han aplicado, pero que tienen forma de acción o de detoxificación similares". Siendo la resistencia cruzada negativa lo contrario, cuando al aplicar un plaguicida aumenta la resistencia a éste pero disminuye a otros. Resistencia múltiple se da cuando el genotipo confiere resistencia a un amplio rango de grupos de plaguicidas (Moberg, 1990) .

Georgiou y Lagunes (1991), informan de 504 especies de artrópodos resistentes a uno o más plaguicidas hasta 1989. De las especies resistentes 481 son dañinas (283 son de importancia agrícola y el resto de importancia médico-veterinaria) y 23 benéficas. La mayoría de las especies resistentes son dípteros, en orden descendente se ubican los lepidópteros, luego los coleópteros, ácaros, homópteros y heterópteros. Los mismos autores también señalan que en el examen del crecimiento de la resistencia, los datos anteriores no reflejan la acumulación de mecanismos de resistencia que se obtiene al contabilizar el número de productos químicos que cada especie puede resistir. Al calcular este dato se obtiene un total de 1640 casos de la combinación especies/grupos de insecticidas (lo que muestra un claro aumento

del desarrollo de resistencia múltiple) y 4458 casos de la combinación número de especies/insecticidas/país que nos indica la extensión geográfica de la resistencia.

La importancia de la detección e inspección de la resistencia es evidente. La detección temprana alerta sobre un peligro futuro y la inspección de los cambios en la frecuencia de los individuos resistentes, es una estimación de la eficacia de las medidas tomadas en el manejo de la resistencia. En la actualidad se debe tratar de prolongar la vida efectiva de los productos químicos utilizados en el combate de plagas, para dar tiempo al desarrollo de productos más eficaces y compatibles con el ambiente.

En relación al tipo de resistencia que las poblaciones pueden adquirir, Monge (1986), menciona tres grandes divisiones :

Resistencia por comportamiento, los insectos no entran en contacto con el insecticida debido a un comportamiento de escape.

Resistencia morfológica, debido a las características morfológicas de los insectos, éstos no son afectados por los insecticidas (principalmente por impermeabilidad de la cutícula).

Resistencia bioquímica, o fisiológica, la más frecuente que puede ser debido a mecanismos de protección tales como : mayor almacenamiento en tejidos inertes, mayor excreción del insecticida, mayor detoxificación biológica enzimática. También se pueden presentar alteraciones en el sitio de acción del insecticida, tales como, insensibilidad de la acetilcolinesterasa a la acción de insecticidas organofosforados y carbamatos, sensibilidad nerviosa reducida (kdr) o resistencia al derribo, mecanismo importante en el caso de DDT, piretrinas y piretroides y la insensibilidad a ciclodienos.

MANEJO DE LA RESISTENCIA

El manejo de la resistencia ha sido definido como una estrategia para detener o suprimir la resistencia a los plaguicidas, para lo cual se utiliza una variedad de tácticas, que no excluyen el empleo de plaguicidas y otras medidas de combate no-químicas, por ejemplo el combate biológico (Croft, 1990). Este mismo autor, menciona aspectos importantes en el manejo de la resistencia, tales como determinar los mecanismos de la resistencia a nivel celular, la genética, bioquímica, y toxicología de la resistencia, a efecto de entenderla y evitar su desarrollo, con el fin de diseñar plaguicidas con diferentes modos de acción, escoger los sinergistas apropiados, identificar plaguicidas que ejerzan menor presión de selección y el diseño de técnicas apropiadas de inspección.

Es importante el conocimiento de los componentes del historial de la plaga, tales como la fecundidad, reproducción, hábitos alimenticios, refugios y migración, debido a que influyen en el desarrollo de la resistencia; todo lo anterior lógicamente influenciado por las condiciones ecológicas del medio y aunado a la ecología y genética de las poblaciones en estudio.

Los factores antes mencionados ya habían sido clasificados por Georgiou (1980) en : *genéticos* (frecuencia de alelos resistentes, número de genes, dominancia, interacciones, expresión de alelos, etc.), *biológicos* (bióticos y de comportamiento) y *operacionales* (características del producto químico y la aplicación).

Georgiou (1983) también propuso tres principios del manejo de la resistencia:

a) *Moderación*: que es la aplicación de insecticidas a bajas dosis, baja frecuencia y con menor cobertura del área; con esta medida se pretende

retardar o prevenir el desarrollo de resistencia al permitir la sobrevivencia de una porción de individuos susceptibles. Este principio es aplicable cuando otras medidas de combate son factibles y están disponibles.

b) *Saturación*: es el uso de dosis letales a los heterocigotos resistentes. Para evitar el incremento de las dosis de insecticidas por unidad de área, se utilizan métodos como la microencapsulación de dosis altas apropiadas o en combinación con sinergistas o con atrayentes (feromonas o fagoestimulantes).

c) *Ataque múltiple*: en el cual se utilizan dos o más insecticidas en rotación o mezclados. Esta estrategia requiere de la disponibilidad de insecticidas que no tengan resistencia cruzada positiva. Se juega con la baja frecuencia inicial de los genes de resistencia a nuevos tipos de insecticidas y con la posible interacción entre los insecticidas (sinergismo, resistencia cruzada negativa o la baja adaptación de los fenotipos resistentes).

Roush y Dale (1990) encontraron que dentro de cada grupo de plaguicidas que muestran resistencia cruzada, existen compuestos que exhiben menor resistencia que otros. Para retardar la evolución de la resistencia, un compuesto que discrimine pobremente entre genotipos debe ser el escogido. Esto ocasionaría el mismo efecto que incrementar las dosis de otro producto químico para eliminar los heterocigotos.

Tabashnik y Croft (1982) opinan que hay muchos problemas prácticos para el empleo de la estrategia por saturación, ya que para las especies que copulan en el mismo hábitat donde son controladas, los residuos de plaguicidas pueden ser tan persistentes que maten o repelan a los individuos susceptibles, inhibiendo la cópula de los individuos susceptibles con los resistentes.

El costo ambiental y económico de usar dosis altas puede ser muy alto.

Sin embargo puede ser útil en poblaciones en las que la resistencia no es un problema todavía y las dosis aplicadas pueden ser estrictamente controladas y uniformes y los niveles de resistencia en heterocigotos son posiblemente bajos (Roush y Daly, 1990).

Los objetivos que se persiguen con el principio de moderación pueden fallar, al seleccionar los estadios de las plagas más susceptibles, como por ejemplo larvas muy pequeñas, si se ejerce presión de selección en otros estadios, por lo que un plaguero cuidadoso y regular es necesario en estas situaciones (Roush y Dale, 1990).

El disminuir la dosis ha demostrado, según Curtis (1985), no ser una estrategia viable, pues cualquier dosis que permita sobrevivir a los individuos susceptibles, va a permitir un mayor número de heterocigotos (a menos que la resistencia sea totalmente recesiva), con lo que la frecuencia de la resistencia aumenta (sobretudo si los individuos resistentes son menos aptos que los susceptibles en la ausencia de insecticidas). Además, si muchos individuos susceptibles sobreviven, pueden causar pérdidas económicas considerables, por lo que esta estrategia es recomendable cuando existen métodos alternativos o los plaguicidas son selectivos y se permite una estabilización de las poblaciones de enemigos naturales (Roush, 1989, citado por Roush y Dale, 1990).

Otro aspecto que se debe tomar en consideración cuando se hacen aplicaciones menos frecuentes es que se aumenta el umbral económico de la plaga y pueden ocurrir conflictos entre la necesidad de combatirla y el manejo de la resistencia, además de aumentar la presión de selección en otros estados de la plaga (Roush y Dale, 1990).

En relación a los refugios que permiten el escape a la aplicación de

individuos susceptibles. Roush y Dale (1990) indican que una manera práctica de que esto ocurra es tratando solo las partes del cultivo que tienen poblaciones de la plaga que estén causando daño. Refugios permanentes pueden ser creados sólo si ciertos hábitats permanecen siempre sin tratar con plaguicidas. Pueden obtenerse resultados similares si se dirige el combate a los adultos después de la cópula, especialmente en especies que copulan una sola vez.

En relación al principio de ataque múltiple, Byford *et al.* (1987), definen mosaicos como la aplicación de insecticidas en diferentes puntos de una cuadrícula sobre el terreno. Los insecticidas que deben utilizarse son aquellos a los que la población de la plaga es susceptible y que generan diferentes mecanismos de resistencia.

De acuerdo a Georgiou (1983), los componentes de las mezclas deben tener tasas de decaimiento similares, de tal forma que la población no sea seleccionada por un componente en un período de tiempo prolongado. El mismo autor indica que la rotación de insecticidas puede retardar el desarrollo de resistencia si éstas son programadas de tal forma que la población de la plaga revierta la resistencia a un determinado compuesto durante el uso de otro compuesto (resistencia cruzada negativa) y la resistencia a un determinado compuesto no sea fijada durante su uso.

Tabasnish (1989), menciona que las secuencias, mezclas, rotaciones y mosaicos de insecticidas son tácticas potenciales para usar más de un plaguicida en el manejo de poblaciones de la plaga y para disminuir la evolución de la resistencia a los plaguicidas. Sin embargo, el mismo autor considera que existen desventajas potenciales asociadas con las mezclas como efectos negativos en los enemigos naturales, promoción de la resistencia en

plagas secundarias y una selección intensa de resistencia cruzada, por lo que es necesaria una experimentación rigurosa con cada plaga en particular, así como con las diferentes combinaciones de plaguicidas.

Roush y Daly (1990) indican que la presión de selección en un locus dado disminuye más efectivamente si se usan los insecticidas en rotación, en vez de mosaicos. El uso de mezclas es controversial; se recomienda cuando la resistencia a los plaguicidas usados es todavía poco frecuente (Roush, 1989, citado por Roush y Daly, 1990). Mientras que los sinergistas pueden ser efectivos si el mecanismo para la resistencia es único, a lo que se debe agregar la observación de que los casos de resistencia a sinergistas son también frecuentes¹.

Los mecanismos de resistencia metabólica son los más importantes en el caso de los insecticidas organofosforados y carbamatos, los cuales a menudo son también favorecidos por una menor penetración en el insecto a través del integumento, pues a pesar de ser un mecanismo poco importante, aumenta las oportunidades de detoxificación. La insensibilidad en el sitio de acción frecuentemente está asociada a otros mecanismos de resistencia en estos dos tipos de compuestos.

En los carbamatos la acción oxidativa de las enzimas de la función mixta oxidativa (FMO) resulta en la pérdida de su actividad insecticida. Además el éster carbámico es susceptible de hidrólisis, pero ésta es lenta en el tracto digestivo de los insectos.

De acuerdo a Brattsten (1990), el uso de sinergistas como el butóxido de piperonilo, que inhiben el FMO, podría retardar el desarrollo de resistencia a los carbamatos, pero a su vez se podría seleccionar otro tipo de mecanismo

¹Lobo, J. 1993. Comunicación personal. Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica.

como esterasas que hidrolicen el éster carbámico o lo secuestren, como en el caso de la esterasa E4. El mismo autor recomienda que en el caso de usar mezclas para el retardo de resistencia, es apropiado el empleo de mezclas múltiples, como lo hacen las plantas para defenderse del ataque de los herbívoros.

Los organofosforados son atacados por las enzimas de la FMO, esterasas y las glutatión transferasas. En el caso de la acción oxidante de las enzimas de la FMO, a menudo da como resultado la activación de estos compuestos y no en detoxificación.

Las enzimas carboxilesterasas, según Brattsten (1990), son uno de los más importantes factores en la degradación de los organofosforados y por lo tanto un factor importante en la resistencia a estos compuestos. Este autor también señala que, al ser los organofosforados inhibidores de enzimas como la acetilcolinesterasa (hidrolasa-serina), pueden ser utilizados como sinergistas de los piretroides, ya que éstos últimos son detoxificados por hidrólisis del éster por parte de enzimas similares. Las enzimas glutatión transferasas también son importantes en la degradación y secuestro de organofosforados.

Brattsten (1990) señala además que desde el punto de vista de la búsqueda de productos químicos para la protección de cultivos que tengan un bajo potencial para desarrollar resistencia, los organofosforados son casi ideales, porque además de ser degradados relativamente rápido en el ambiente, lo que disminuye el tiempo de exposición de los insectos, las presiones de selección tienen que actuar en sistemas enzimáticos no relacionados que los detoxifican (esterasas, transferasas y algunas de las enzimas de la FMO), lo que las diluye, y teniendo estos compuestos un sitio de acción muy flexible se retardaría la resistencia. Desafortunadamente el mal uso de estos

insecticidas no lo ha permitido. Por otro lado, la resistencia a los carbamatos se desarrolla rápidamente cuando los insectos son expuestos a ellos en forma persistente, debido a que su degradación depende casi que exclusivamente de las enzimas de la FMO.

De acuerdo a Brattsten (1990), la resistencia por insensibilidad en el sitio de acción es la más seria debido a que no puede ser contrarrestada con sinergistas. Una vez adquirida no requiere de un gasto extra de energía para el insecto, siempre está disponible y confiere resistencia cruzada positiva a otro tipo de compuestos con igual modo de acción.

Georgiou (1990), señala que es importante considerar el aumento de casos de resistencia a piretroides, ya que estos productos se consideran como los últimos a que podemos echar mano entre los insecticidas convencionales. Brattsen (1990), al respecto considera que de las nuevas clases de insecticidas introducidas en los últimos 30 años, los piretroides y la abamectina, compuestos que son poco tóxicos para los mamíferos, pueden evolucionar resistencia rápidamente, debido a la selección que han sufrido las poblaciones de insectos, por el empleo pasado del DDT y de los ciclodienos (lo que claramente indica un caso masivo de desarrollo de resistencia cruzada).

Como puede observarse, la aplicación de diferentes tácticas puede presentar diferentes problemas que deben ser cuidadosamente analizados, sin embargo algunos programas han tenido cierto éxito, a pesar de necesitarse más información de las diferentes áreas discutidas anteriormente.

De acuerdo a Roush y Dale (1990), los elementos clave en el diseño o mejoramiento de un programa de manejo de resistencia son la obtención de datos precisos de la expresión y herencia de la resistencia a cualquier nuevo plaguicida, tan pronto como sea posible, ya que se pueden diseñar más técnicas

para su inspección que permitan discriminar entre individuos susceptibles y resistentes. Además, algún conocimiento de la genética y potenciales mecanismos de resistencia, pueden ayudar en la escogencia de las tácticas de manejo.

Agradecimientos

La autora desea expresar su agradecimiento a las siguientes personas : M.Sc. Gilbert Fuentes G., Dr. Jorge Lobo C., M.Sc. Luis A. Monge V. y al M.Sc. Juan R. Navarro F., por sus valiosas sugerencias al presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- Brattsten, L.B. 1990. Resistance mechanisms to carbamate and organophosphate insecticide. In: Managing resistance to agrochemicals. Green, M.B.; LeBaron, H.M. y W.K. Moberg (eds.). American Chemical Society, Washington, D.C. p. 24-60.
- Brown, A.W.A. y K. Pal. 1971. Insecticide resistance in arthropods. In: World Health Organization Monograph Series N°. 38. Geneva, World Health Organization. 491 p.
- Byford, R.L., Lockwood, J.A. y Sparks, T.C. 1987. A novel resistance management strategy for horn flies (Diptera: Muscidae). *Journal of Economic Entomology* 80(2):291-296.
- Croft, B.A. 1990. Developing a philosophy and program of pesticide resistance management. 1990. In: Pesticide resistance in arthropods. Roush, T.T. y B.E. Tabashnik (eds.), Chapman y Hall, New York, p. 277-297.
- Crow, J.F. 1960. Genetics of insecticide resistance: General considerations. *Miscellaneous Publication of the Entomological Society of America* 2: 69-74.
- Curtis, C.F. 1985. Theoretical models of the use of insecticide mixtures for resistance. *Bulletin of Entomological Research* 75: (259-265).
- Georgiou, G.P. 1980. Insecticide resistance and prospects for its management. *Residue Reviews* 76: 131-171.
- Georgiou, G.P. 1983. Management of resistance in arthropods. In: *Pest*

resistance to pesticides, Georgiou, G. P. y T. Saito (eds.), Plenum Press, New York. p. 769-792.

Georgiou, G.P. y A. Lagunes-Tejeda. 1991. The occurrence of resistance to pesticides in arthropods. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 318 p.

Moberg, W.K. 1990. Understanding and combating agrochemical resistance. *In*: Managing resistance to agrochemicals; Green, M.B., LeBaron, H.M. y W.K. Moberg (eds.), American Chemical Society, Washington, D.C. 1990. p. 1-15.

Monge, L.A. 1986. Manejo Racional de Insecticidas. Resistencia y rotación. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 74 p.

Roush R. T. y J.C. Daly. 1990. The role of population genetics in resistance. Research and management. *In*: Pesticide resistance in arthropods, Roush, R.T. y B.E. Tabashnik, (eds.). Chapman y Hall, New York, p. 97-152.

Sawicki, R.M. 1987. Definition, detection and documentation of insecticide resistance. *In*: Combating resistance to xenobiotics: Biological and chemical approaches. Ford, M.G., Holloman, D.W., Khambay, B.P.S. y R.M. Sawicki (eds.), Ellis Horwood, Chichester, p. 105-11.

Tabashnik, B.E. 1989. Managing resistance with multiple pesticide tactics: Theory, evidence and recommendations. *Journal Economic Entomology* 82(5): 1263-1269.

Tabashnik, B.E. y B. A. Croft. 1982. Managing pesticide resistance in crop-arthropod complexes: Interactions between biological and operational factors. *Environmental Entomology* 11(6): 1137-1144.