

## **MANEJO RACIONAL DE INSECTICIDAS**

J. C. Rodríguez<sup>1</sup>, P. Guzmán<sup>1</sup>, O. Díaz<sup>2</sup>

La resistencia a insecticidas en plagas de las plantas cultivadas representa una preocupación económica, ecológica y de salud pública (Georghiou y Saito 1983, Georghiou 1986, Delhom et al. 1992, McKenzie 1996, Hoy 1999), especialmente en las zonas agrícolas que más consumen plaguicidas: algodónero, ornamentales y hortalizas.

El uso de insecticidas se ubica dentro de dos grandes estrategias: la estrategia tradicional y la estrategia racional. En la estrategia tradicional, el liderazgo del combate de plagas esta a cargo de las compañías de agroquímicos y el "marketing" constituye el principal pilar que define las tendencias en el uso de estos importantes aliados del ser humano. En contraparte se tiene la estrategia racional, en la cual se busca obtener el máximo beneficio de los plaguicidas al menor uso posible y dentro del contexto del manejo integrado de plagas de bajo riesgo; se optimizan las variables más importantes que inciden en el proceso de la producción agrícola: economía, seguridad a la salud humana y protección tanto del ambiente como de los organismos no blanco. A continuación se explica cada una de ellas.

### **Estrategia tradicional**

#### **Desarrollo de insecticidas**

Actualmente la industria química esta gastando una cantidad enorme de recursos económicos y de talento para desarrollar insecticidas con las siguientes características: alta efectividad biológica a dosis bajas, bajo impacto a los

---

<sup>1</sup> Instituto de Fitosanidad, Colegio de Postgraduados. E-mail: [concho@colpos.colpos.mx](mailto:concho@colpos.colpos.mx)

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

enemigos naturales, elevada seguridad a la salud humana y amigables al ambiente. Todos estos factores se optimizan para ofrecer al productor una formulación que sea confiable y que tenga una relación costo-beneficio favorable.

La filosofía actual de "matar insectos" se ha cambiado por la de proteger a los cultivos. Para lograr tal propósito, las empresas agroquímicas responsables, mantienen estándares de seguridad normalmente superiores a los que les impone la Agencia de Protección al Ambiente (EPA, por sus siglas en inglés). Para lograr tan noble propósito, se integran grupos altamente preparados de químicos, economistas, biólogos, agrónomos, entre otros.

Generalmente, en las etapas primarias se generan una gran cantidad de compuestos que, bajo estrictas medidas de seguridad, se evalúan contra las plagas que representan los grandes mercados agrícolas del mundo; de esta manera las compañías aseguran que al menos recuperarán los costos de desarrollo en caso de que la resistencia se desarrolle antes de lo esperado; por ejemplo, la resistencia al fenvalerato se desarrolló al año de haber estado en el mercado (Georghiou 1986). Una vez que ha quedado constatado el potencial insecticida de una estructura química novedosa, se realizan una gran cantidad de estudios ecotoxicológicos para asegurar que se trata de una sustancia con altos márgenes de seguridad a la salud y al ambiente.

Aproximadamente una molécula de 10,000, logra reunir los estándares para poder registrarse y por ende comercializarse (Georghiou 1986). En este momento se desencadena todo un proceso para poner a disposición del agricultor, las herramientas químicas necesarias para proteger a los cultivos del ataque de las plagas.

## **La fuerza de ventas**

Para lograr la mayor cantidad de ventas posible, la industria química generalmente contrata agrónomos jóvenes y entusiastas. Se les proporcionan camionetas nuevas y bien equipadas; además de una tarjeta de crédito que permita cubrir los gastos que de ello se deriven. Estas personas deben estar preparadas para organizar una venta, ya sea que se trate en un buen restaurante o en un "table dance". Lo importante es hacer sentir bien al cliente a como de lugar, tal como lo dicen los principios más avanzados del "marketing". Sin lugar a dudas, las personas que conforman el grupo de ventas, está altamente capacitado para moverse al nivel que el cliente lo necesite. Algunas veces es conveniente recurrir a los valores de la inteligencia emocional para manejar bien la emotividad ante el cliente y poder convencerlo de las ventajas que representan los insecticidas de la compañía respectiva. La ingestión de bebidas alcohólicas con frecuencia es parte del proceso de la venta de plaguicidas. Desafortunadamente, en ciertas ocasiones, algunos de los agrónomos pierden el rumbo y desarrollan serios problemas de alcoholismo. Cuando la juventud los abandona, no es raro que los den de baja y contraten sangre joven para reemplazarlos

## **La promoción**

La industria química generalmente ya tiene tejida la red para la comercialización de los insecticidas. Para ellos es muy importante dar a conocer, a través de eventos promocionales, las ventajas que ofrecen los productos. Se insertan en el evento charlas técnicas imparciales para que los asistentes reciban los beneficios de la ciencia fitosanitaria. Obviamente también se presentan datos para

convencer a los asistentes de la superioridad de los insecticidas que se promocionan. Por regla solamente se habla de las ventajas y se mantiene un silencio total sobre las desventajas reales o potenciales de los agroquímicos respectivos. Se regalan relojes, video caseteras y viajes de placer. No hay duda de que la industria sabe cumplir tanto con sus obligaciones científicas implicadas en el desarrollo de plaguicidas como con los modernos principios de "marketing".

### **Un escenario común**

Imaginemos que una mañana, el técnico revisa el cultivo y detecta la presencia de una plaga que puede producir daños de consideración. Inmediatamente recomienda el uso de un plaguicida con capacidad para abatir a ese indeseable enemigo. Normalmente esta información proviene de la experiencia propia o de la industria agroquímica.

El equipo de aplicación libera un caldo letal y la gran mayoría de los insectos contactados empieza a mostrar los signos de una intoxicación que sin duda les llevará a la muerte en muy poco tiempo. Se percibe la "superioridad" que dan nuestras armas químicas, y hay quienes dicen que "el cultivo huele a protección efectiva". Este escenario le permite al productor dormir con la conciencia tranquila de haberse enfrentado con quienes tienen la osadía de dañar los alimentos que con tanto esfuerzo se producen. Después de aquella gran batalla, el cultivo se ve libre por fin libre de la plaga.

Ante la enorme ventaja que nos proporcionan las armas químicas, con frecuencia se menosprecian las demás

herramientas de control. Tan pronto se le ocurra a la plaga intentar invadir lo que es nuestro, estaremos preparados para darle su merecido. Las compañías de agroquímicos asumen con religiosidad su papel de proveer a las comercializadoras de toda la cantidad necesaria de productos químicos y así contribuir a la tranquilidad del productor. Dichas compañías organizan reuniones regionales para promover ventas. Siempre sus plaguicidas son superiores a los de la competencia; tienen mayor impacto sobre la plaga y lo que es más importante, le aseguran al productor, una envidiable ventaja económica. En la gran mayoría de los casos, los vendedores explican con amplio detalle los pesos que el agricultor se echará a la bolsa por cada peso que invierta en la guerra química.

Sin embargo, una observación más cuidadosa después de una aplicación nos revelará que un segmento de la población sobrevivió. Este segmento está compuesto por dos grupos: a) los que sobrevivieron de manera fortuita y b) los que sobrevivieron por estar genéticamente adaptados para soportar la dosis aplicada (Georghiou 1986). Los que sobrevivieron a la aplicación por haber tenido la suerte de estar protegidos en refugios temporales como hojarascas, dentro de frutos, estados biológicos que no son vulnerables al insecticida, etc., no representan un grave problema, pues la siguiente aplicación posiblemente los eliminará.

En toda población de insectos plaga, existe una frecuencia de individuos inicialmente muy baja que posee la capacidad genética de sobrevivir a la aplicación y heredan esa peligrosa capacidad de sobrevivencia a sus descendientes. Se estima que la frecuencia de individuos resistentes, inicialmente se encuentra entre  $10^{-8}$  y  $10^{-5}$  (Whitten y

McKenzie 1982). Al principio no nos damos cuenta de su existencia, pues son muy pocos para notarlos. Poco a poco empiezan a aumentar en cantidad hasta hacer que fracase el insecticida al cual son resistentes. En un caso extremo, se ha demostrado que una mosca doméstica resistente fue capaz de sobrevivir a una dosis de DDT que mataría a 50,000 moscas susceptibles (Georghiou 1986).

El "insecticida poderoso" ya no controla con la enorme eficiencia a que nos tenía acostumbrado. Esta preocupación no se puede ocultar y en poco tiempo los vendedores saben que la plaga se "ha adaptado" a sobrevivir y reproducirse en ambientes contaminados con ese producto. La primera reacción es negar que exista resistencia. Seguramente la falta de control se debe a fallas en la calidad de la aplicación, momento inoportuno del control, etc.

Cuando a pesar de seguir los criterios de control adecuados, la plaga persiste a la aplicación, la decisión que parece obvia se toma: "aumentar la dosis y/o aplicar con más frecuencia". El técnico vuelve a la carga y recomienda que se aumente la dosis para demostrar la "inferioridad" de esas criaturas frente a los imponentes avances en la ciencia del combate químico de plagas. La preocupación se transforma en satisfacción al ver que los insectos vuelven a sucumbir.

También las compañías de agroquímicos reciben un beneficio adicional: las ventas aumentan debido a que se consume, en promedio, mayor cantidad de agroquímicos. Los márgenes de ganancia permiten a las compañías un sistema publicitario más agresivo. Aparentemente hay ventajas para todos, pues el normalmente cultivo puede pagar esos incrementos en los costos de protección.

Al usar cada vez más y más plaguicidas, se imposibilita la acción de los enemigos naturales y la protección vegetal se vuelve adicta a los plaguicidas. Como consecuencia, las ganancias que antes eran para el productor, empiezan a ser transferidas a la industria agroquímica; en la última fase del desastre fitosanitario, el cultivo deja de ser rentable y con frecuencia se sustituye por otro con menores perspectivas económicas. Cuando esta sustitución implica la pérdida de fuentes de trabajo para los jornaleros, el problema se agrava aún más. Muchos de los trabajadores, ante la imposibilidad de poder mantener a sus familias, emigran a las grandes ciudades o bien a otros países como los Estados Unidos de Norteamérica. Lo que se acaba de describir lo es un cuento de ciencia ficción. Se trata de escenarios relativamente comunes cuando el liderazgo de la protección vegetal queda en manos de quienes venden plaguicidas.

### **La estrategia racional**

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. Deben tomarse 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, sobretodo 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 al cabo al menos cada cinco años. Es 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, iniciar aplicando los que menos afecten 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 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 muy importante, 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 por que tienen "la suerte" de que no les guste y no consuman precisamente aquellos alimentos tratados. Para su mala suerte, 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 manera 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. 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 las 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.

### **Qué es la resistencia?**

En este documento se define a la resistencia como la selección de un carácter genético heredable cuya expresión fenotípica conlleva al fracaso en campo de la dosis más baja originalmente efectiva.

Bajo este concepto, si aplicamos agua contra larvas de minador en crisantemo y no controlamos, podríamos hablar de resistencia? Obviamente no se trata de un problema de resistencia. Más bien el agua no es una sustancia química efectiva contra el minador. La resistencia es necesariamente un proceso microevolutivo. Para hablar de resistencia, debe demostrar que la dosis que antes producía un control satisfactorio, ahora ya no lo hace a pesar de mantener constantes los criterios adecuados de control químico: formulaciones que no estén adulteradas o caducas, aplicaciones a tiempo y realizadas de manera correcta, entre otros.

Desafortunadamente, en muchos casos no sabemos cuál es la dosis más baja que originalmente era capaz de controlar efectivamente a la plaga. Esto ocurre cuando no se hacen evaluaciones locales de nuevos productos y se utiliza la dosis recomendada en la etiqueta o una dosis que es de uso común en otras zonas agrícolas similares. Cuando ocurre dicho fenómeno, se dice que la protección vegetal se "avejentó" innecesariamente. De cualquier manera, cuando la dosis que estamos usando no es efectiva, se trata de un problema de resistencia.

Un caso extremo se presenta cuando se tienen poblaciones altamente resistentes, es decir, aquellas que no se pueden controlar económicamente a ninguna dosis. Es definitivamente desesperante enfrentar una situación como esta, pues el productor debe cambiar a otro cultivo que no comparta el mismo tipo de plagas.

Veamos cómo se desarrolla la resistencia. Los genes de resistencia ya están en la población desde antes de que

apliquemos el insecticida por primera vez. La fuente primaria de los genes de resistencia es la mutación. Las mutaciones son cambios en el ADN que permiten la creación de nuevas variantes; la mayoría de las mutaciones son adversas para el organismo que las posee, mientras que algunas confieren ventajas en el ambiente estresante y cambiante en que habitan las poblaciones de insectos plaga. En realidad se presenta un balance que se conoce como homeostasis; es decir, las mutaciones crean nuevas combinaciones genéticas y la selección natural elimina aquellas que no son útiles.

Se estima que los genes de resistencia en una población que no ha sido seleccionada con insecticidas, se encuentra en el rango de  $10^{-2}$  (Georghiou y Taylor 1977) a  $10^{-13}$  (Whitten y McKenzie 1982). Desafortunadamente es muy difícil detectar estos genes cuando se encuentran entre las frecuencias de  $10^{-2}$  y  $10^{-1}$  (Roush y Miller 1986). Entre más alta sea la frecuencia inicial de genes de resistencia, ésta se desarrolla más rápido. Identificamos tres etapas en el desarrollo evolutivo de la resistencia (Figura 1).

En la etapa I, la frecuencia de genes de resistencia es muy baja y la población es fácilmente controlada por los insecticidas. Con la finalidad de proteger al ambiente y mitigar la evolución de la resistencia, en esta etapa vale la pena determinar localmente la dosis más baja que es capaz de proporcionar un control satisfactorio.

La sensibilidad al aumento de la dosis es baja cuando la población se encuentra en la etapa I. Supongamos que 0.5 L/ha de producto formulado produce una efectividad biológica del 98% en los organismos tratados, es prácticamente imposible

subir este nivel de efecto, a pesar de que la dosis se eleve sustancialmente.

Poco a poco se empiezan a concentrar los genes de resistencia hasta alcanzar un umbral, a partir del cual la tasa de desarrollo de resistencia se eleva significativamente (etapa II). El productor percibe que la dosis originalmente efectiva ya no controla y generalmente toma la errónea decisión de aumentarla. En esta etapa, la población es altamente sensible al cambio de dosis; es decir que un pequeño aumento en la dosis puede reflejarse en un incremento notorio en el control. Es común que al poco tiempo se requiera otro aumento de dosis. En otras palabras, la protección vegetal empieza a ser adicta al uso de insecticidas. Inicialmente, la rentabilidad del cultivo puede permitir el lujo de aumentar la dosis sin sacrificar las ganancias. Sin embargo con el paso del tiempo, los aumentos en la cantidad de plaguicida y en la frecuencia de sus aplicaciones pueden impactar de manera severa al bolsillo del productor. Una de las formas sencillas de resolver el problema consiste en cambiar a otro insecticida que a menor costo logre el mismo efecto.

Desafortunadamente este ritmo de aumento irracional en la dosis, se puede generalizar a todos los insecticidas disponibles y en casos extremos el productor puede verse sin alternativas químicas efectivas. En consecuencia su capacidad de competir por precio y calidad en los mercados internacionales se disminuye y la producción agrícola puede entrar en estado de crisis.

En la etapa III, la población es altamente resistente e insensible a los aumentos de dosis. A pesar de que se pudiera

aumentar la dosis, ya no se logra un buen control; además, el manejo de dosis muy altas puede representar un serio peligro para la planta, así como un grave riesgo a la salud y al ambiente.

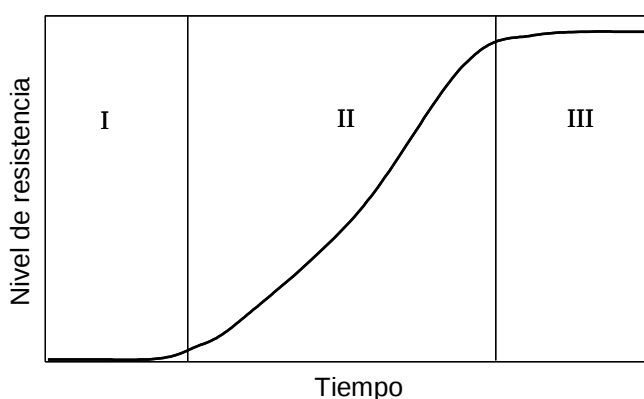


Figura 1. Etapas en el desarrollo de resistencia a insecticidas

### **Manejo de la resistencia**

Es ilusorio pensar que un manejo racional de insecticidas adecuado 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 desarrolla 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).

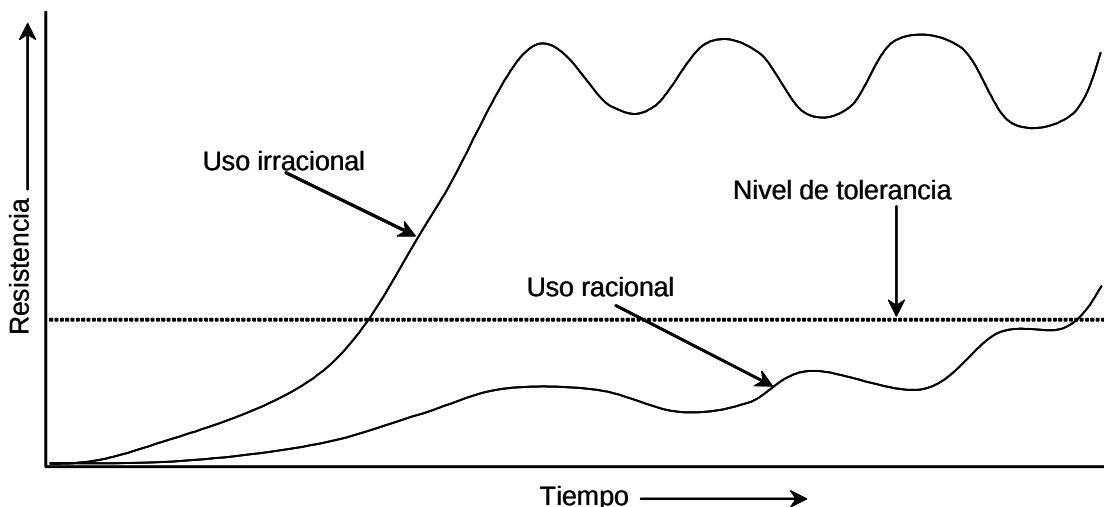


Figura 2. **Desarrollo esperado de la resistencia a insecticidas bajo dos tipos de esquemas: racional e irracional.**

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.

### **Estrategias de manejo de la resistencia**

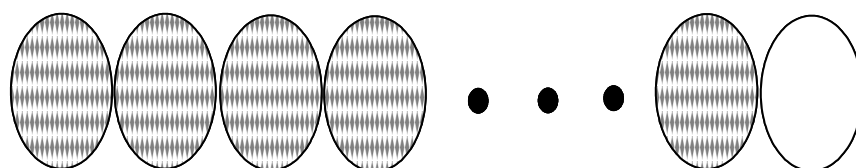
Para implementar un manejo de la resistencia, debemos tener al menos dos insecticidas que reúnan los criterios antes mencionados y que no exista resistencia cruzada entre ellos (Roush 1989). La resistencia cruzada se presenta cuando un solo mecanismo de resistencia confiere protección a dos o más insecticidas; es decir que el uso frecuente de un insecticida puede provocar que otro insecticida no sirva a

pesar de que no se haya usado. A continuación se explican las estrategias de manejo de la resistencia más importantes.

Los esquemas de manejo de la resistencia deben hacerse tomando en cuenta la generación de la plaga objeto de control. Es decir, que dentro de la misma generación, se sugiere utilizar el mismo tipo de insecticida, de lo contrario dicha población se estaría seleccionando

### ***Uso secuencial***

Consiste en usar el mismo insecticida hasta que no sirva y luego cambiar a otro que no este relacionado (Figura 3) y así sucesivamente. En esta estrategia se asume que cuando se utiliza el insecticida "A", la resistencia al insecticida "B" desciende y viceversa. Desafortunadamente, la mejor receta para desarrollar resistencia consiste en "usar el mismo insecticida siempre" y eso es precisamente lo que estamos haciendo cuando aplicamos, por ejemplo el insecticida A dentro de un uso secuencial.



**Figura 3. Esquema secuencial de uso de insecticidas. Cada óvalo representa un tipo de insecticida aplicado en una generación del insecto plaga.**

La estrategia de uso secuencial indica que se debe cambiar de insecticida cuando éste deja de servir, trayendo consigo severas implicaciones logísticas. En el desarrollo de resistencia las cosas no son blanco y negro; no existe un

punto claro en que el insecticida que era útil, dejó de serlo. Por el contrario, la evolución de la resistencia es un proceso continuo; por lo tanto, en sus inicios es imposible percibir su existencia. Es posible que el periodo de protección al cultivo se acorte, o bien que exista un fracaso aislado en la capacidad del insecticida para abatir la densidad de organismos plaga. De cualquier manera, no queda claro el momento en que debemos cambiar de insecticida.

Considerando que los programas de manejo de la resistencia, para ser efectivos deben ser implementados a nivel regional, es prácticamente imposible convencer a los agricultores de una zona agrícola que usen un mismo tipo de insecticida hasta que no sirva. Este hecho se presta a malas interpretaciones al favorecer solamente a ciertas compañías y dejar de lado a todas aquellas que tienen herramientas útiles de combate químico pero que no pueden participar en la protección vegetal.

Esta estrategia es inadecuada para manejar la resistencia; debido entre otras cosas a la complejidad de su implementación y a la debilidad de su impacto sobre la tasa de desarrollo de resistencia.

### ***Uso rotacional***

El uso rotacional es probablemente la herramienta más poderosa para retrasar el desarrollo de resistencia (Roush 1989). Cuando se habla de rotación, generalmente se entiende que es menester cambiar de tipo de insecticida en cada generación. A pesar de que este enfoque pueda ser aceptable, la rotación es un concepto mucho más amplio. Dependiendo de las circunstancias, el productor puede aplicar el mismo tipo

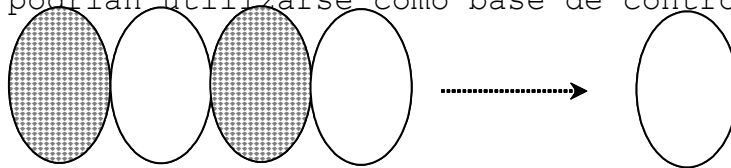
de insecticida durante dos o tres generaciones y luego cambiarlo. Existen muchos esquemas rotacionales (Figura 4), pero todos ellos tienen las siguientes características en común:

1. El tipo de insecticida se cambia antes de que la plaga tenga la oportunidad de desarrollar resistencia.
2. La frecuencia de individuos resistentes al producto "A", decrece cuando se aplica el producto "B" y viceversa.
3. El mejor tipo de insecticida se aplica cuando la plaga tenga mayor potencial de ocasionar daño al cultivo o cuando sea más importante proteger a éste. Por ejemplo, en el del cultivo de rosal, existen durante el año la alternancia de picos de producción de flor muy importantes para acceder a los mercados internacionales más atractivos y etapas donde la rosa se cultiva solamente para que el productor pueda recuperar los costos de mantenimiento del cultivo. Todos los insecticidas autorizados para su uso en esta combinación cultivo-plaga deben evaluarse y dejar las alternativas más confiables para el combate de las plagas durante la producción de flores destinadas a los mercados más atractivos. No tiene sentido usar las mejores alternativas cuando no se tiene un precio esperado alto de la flor, a menos de que se trate de un insecticida de baja propensión a resistencia.

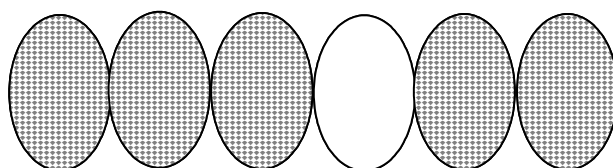
El uso rotacional pudiera ser limitado cuando el individuo resistente no sufre desventajas biológicas y por lo tanto la resistencia no se reduce cuando éste deja de usarse; afortunadamente en la mayoría de los casos, la expresión de

genes de resistencia involucra alguna disminución en la capacidad biótica del individuo que los posee (Bathia y Pradhan 1968, Shaw y Lloyd 1969, Brower 1974).

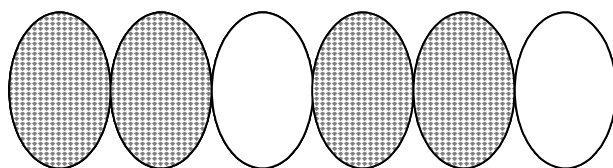
Con el uso rotacional se tiene la gran ventaja de que no es necesario que la plaga sea resistente para cambiar de insecticida. Es decir que los cambios de presión de selección son suaves. La cantidad de generaciones que podemos seleccionar el mismo tipo de insecticidas depende de la propensión que éste tenga a desarrollar resistencia. Por ejemplo, la resistencia a piretroides es recesiva y tienden a seleccionar organismos resistentes rápidamente (Lagunes 1980). En consecuencia su uso debe restringirse a una generación de la plaga por temporada de cultivo. Por el contrario, la propensión de resistencia a los ácidos grasos es baja y podrían utilizarse como base de control.



Rotación en cada generación



Rotación solamente en situaciones críticas



Rotación cada dos generaciones

Figura 4. **Diferentes esquemas de rotación de insecticidas para retrasar la evolución de la resistencia a insecticidas.**

La tasa de descenso de la resistencia dependerá de la capacidad biótica del individuo que posea estos genes. Algunas veces la resistencia desciende rápidamente y en otras veces lo hace lentamente o bien la población permanece con una mezcla más o menos estable de genes de resistencia y genes de susceptibilidad. En la mayoría de los casos, la resistencia no desciende a su nivel original; por lo tanto este fenómeno se incrementa poco a poco hasta que los insecticidas involucrados dejan de ser útiles en la protección vegetal (Figura 5). Afortunadamente el tiempo en que la resistencia se desarrolla es mucho más amplio comparado con un esquema de uso irracional de insecticidas.

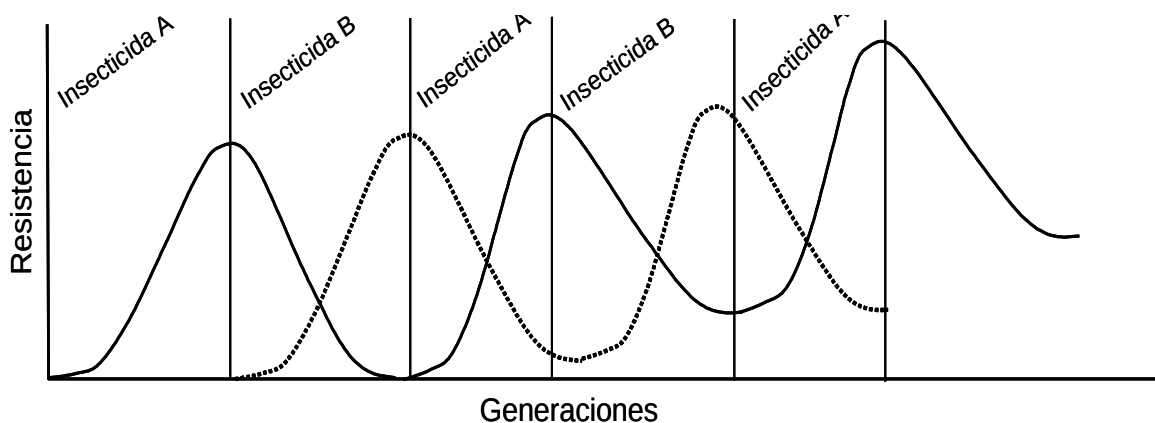


Figura 5. Evolución esperada de la resistencia bajo el esquema de uso rotacional de dos insecticidas no relacionados por resistencia cruzada.

### **Mosaico**

El empleo de la estrategia en mosaico consiste en dividir la zona agrícola en dos o más áreas y aplicar un insecticida no relacionado en cada una de éstas (Figura 6). Se asume que después de que la selección ocurra, habrá flujo genético entre los individuos seleccionados y de esta manera se

mitigará la evolución de la resistencia (Curtis y Rawlings 1980). La interacción entre los insectos seleccionados dependerá de la movilidad que presenten. Por lo tanto, antes de usar esta estrategia, es altamente conveniente asegurar que dicho flujo se presentará en una magnitud suficiente como para retrasar la evolución de la resistencia.

Desafortunadamente esta estrategia exige un nivel de apoyo logístico alto para poder aplicar dos o más insecticidas no relacionados, sobre un área de cultivo. Es común que los técnicos responsables del combate químico se rehúsen a realizar actividades adicionales, sobretodo cuando no existe un claro convencimiento de las ventajas que representa.

Generalmente se critica que el mosaico es de utilidad muy limitada debido a la escasa interacción que se supone se presenta entre los individuos seleccionados. Para poder aprovechar el máximo potencial, consideramos que se trata de una estrategia que requiere más investigación y por ende mejor comprensión. Es posible que una rotación de mosaicos represente la herramienta más efectiva para manejar resistencia. Esta aseveración se basa en el hecho de que en una población susceptible, es muy difícil desarrollar resistencia cuando se selecciona menos de la mitad de la población. Supongamos que una zona agrícola se divide en tres partes y en cada una de ellas se aplica un insecticida no relacionado, en realidad estamos seleccionando un poco más del 30% de la población con cada producto. Asumiendo que esta estrategia se sigue en toda la zona florícola, es poco probable que la resistencia se desarrolle.

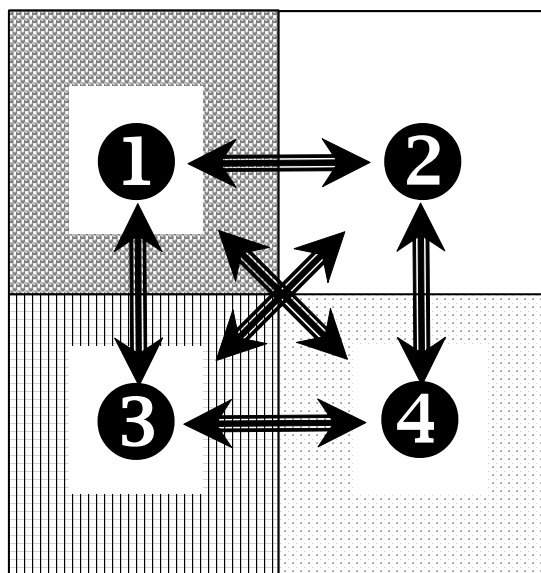


Figura 6. **Uso de insecticidas no relacionados dentro de una estrategia de mosaico para el manejo de la resistencia.** Los números indican insecticidas no relacionados entre sí y las flechas el flujo genético entre áreas de selección.

### ***Uso de mezclas de insecticidas***

El uso de mezclas de agroquímicos representa un tema muy complejo debido a que se tienen que tomar en cuenta una serie de factores que influyen de manera importante en su efectividad biológica y niveles de seguridad al ambiente y al ser humano. Siempre que se mezclen dos o más agroquímicos, deben tomarse en cuenta la compatibilidad física, química y biológica de sus componentes (Bohmont 1990).

1. *Compatibilidad física.* La mezcla de dos insecticidas debe producir un caldo de aplicación homogéneo, es decir que no debe separarse en sus fases. La separación de fases puede implicar la creación de grumos o la formación de bandas de diferente composición. De esta manera, se tendrán, en el

tanque de aplicación, zonas de muy baja concentración de ingredientes activos y zonas donde esta concentración sea extremadamente alta. Los efectos se pueden notar por el taponamiento de boquillas o áreas de cultivo con bajo o nulo control de plagas cuando el caldo liberado proviene de áreas poco concentradas; las partes del cultivo que reciben elevadas dosis pueden manifestar efectos fitotóxicos severos; además de los problemas potenciales de residuos en la cosecha. El problema no termina ahí, pues los riesgos a la salud humana se elevan considerablemente al manejar concentraciones elevadas de insecticidas.

Antes de aplicar los insecticidas, generalmente es difícil darse cuenta que existe incompatibilidad física debido a que el caldo de aplicación es opaco y las paredes del tanque no permiten apreciar alguna anomalía.

2. *Compatibilidad química.* En ocasiones los ingredientes activos y los diluyentes reaccionan de tal manera que se degradan entre ellos y/o bien forman nuevas sustancias con propiedades toxicológicas indeseables, por ejemplo las carcinogénicas.

Existen tablas de compatibilidad de agroquímicos que indican la viabilidad de mezclar dos compuestos específicos. Desafortunadamente estas tablas no son muy conocidas por los usuarios y generalmente no proporcionan información sobre la compatibilidad de compuestos de reciente introducción al mercado. En las etiquetas de los plaguicidas, el fabricante añade un apartado sobre incompatibilidad, que por cierto en la mayoría de los casos se trata de observaciones muy generales.

3. *Compatibilidad biológica.* Existen tres grandes tipos de interacciones biológicas en los componentes de las mezclas:

antagonismo, aditividad y potenciación (Lagunes, 1980). El antagonismo se presenta cuando la efectividad de la mezcla es inferior a la suma de la efectividad de todos los componentes considerados por separado; la falta de control ante la presencia de este fenómeno es evidente y seguramente conlleva a que el productor realice otra aplicación, con efectos económicos importantes y sobretodo deja de manifiesto la irresponsabilidad de verter al ambiente un agroquímico que ni siquiera cumplió con el objetivo básico de impactar la densidad de la plaga objetivo.

En la aditividad, la toxicidad de la mezcla es estadísticamente similar a la suma de la toxicidad de los insecticidas aplicados por separado; es decir que desde el punto de vista de efectividad biológica da lo mismo aplicar los productos en forma separada o en mezcla; muchas de las mezclas que actualmente se utilizan son de este tipo (Gallegos, 1982).

La potenciación se presenta cuando la mezcla es mucho más efectiva que la suma de la efectividad de los componentes usados por separado. Este fenómeno permite bajar la dosis de uno o de los dos componentes sin demérito del nivel de control esperado. Los investigadores del área del combate químico buscan afanosamente productos que al mezclarse se potencien biológicamente; desafortunadamente existen pocos compuestos que manifiesten este fenómeno.

El tipo de interacción biológica que se presente esta fuertemente influenciado por la proporción relativa de los componentes de la mezcla, dosis empleada, estado biológico tratado, tamaño de los organismos objeto de control, entre otros (Bliss, 1939; Gallegos, 1982). Debido a la complejidad de este fenómeno, se debe hacer investigación detallada para

determinar las condiciones, en caso de que existan, en que se puede presentar la potenciación.

Existen dos clasificaciones importantes de las mezclas: por su origen y por su riesgo de desarrollo de resistencia. En relación a su origen, se tienen las mezclas de tanque y las mezclas de fábrica.

#### *Mezclas de tanque*

Se trata de las mezclas que el productor prepara directamente en el campo para usarse inmediatamente. Este tipo de mezclas conllevan a una serie de problemas graves en lo que se refiere a la efectividad biológica y a la seguridad tanto del ambiente como de la salud humana, por lo que debe desalentarse su uso. Las razones se explican a continuación:

Este tipo de mezclas se preparan sin tener bases sobre el grado de compatibilidad física, química y biológica de sus componentes. En consecuencia se corren una cantidad de riesgos innecesarios.

No se tiene idea de la proporción más adecuada de los componentes de la mezcla y en consecuencia se utilizan proporciones que surgen de la intuición y de la ignorancia. Supongamos que en un tambo de 200 litros se mezclan dos litros de insecticidas diferentes; y cada insecticida se encuentra al 35%. En este caso también se están adicionando 650 mL de diluyentes del insecticida A y 650 mL de diluyentes del insecticida B. Es decir que la planta en vez de recibir solamente una dosis de diluyente, está recibiendo el doble: 1300 mL. Esto puede ser de graves consecuencias sobretodo cuando la calidad de la producción es muy importante como ocurre en el caso de cultivos ornamentales y hortalizas. Los efectos indeseables más comunes son los siguientes:

acortamiento de entrenudos, manchados de estructuras vegetativas, avejentamiento de la planta y, muy importante, pérdida de la calidad de la cosecha.

Cuando se mezclan varios tipos de formulaciones, uno se pregunta: importa el orden en que se mezclen? Por supuesto que importa. De ser este el caso deben seguirse las siguientes indicaciones (Bohmont 1990).

1. Se debe preparar una premezcla de cada producto. Es decir, se disuelve el producto a aplicar en una cantidad pequeña de agua, antes de verterla al recipiente que contiene todo el caldo de aplicación.
2. Primero debe agregar los coadyuvantes
3. En segundo lugar agregar las formulaciones sólidas (cuide que los gránulos dispersables en agua y los floables secos vayan después de los polvos mojables)
4. Al último agregar las formulaciones líquidas (los concentrados emulsionables siempre deben ir al último)

Normalmente no se le pone atención al orden correcto en que se deben mezclar los productos, debido principalmente a que se desconoce la manera de hacerlo. Ante esta situación, se sugiere al productor recurrir a las mezclas ya preparadas de fábrica.

#### *Mezclas de fábrica*

Se trata de aquellas mezclas que se preparan directamente en empresas formuladoras y se registran como tal. En este caso, la entidad reguladora de plaguicidas esta en posibilidad de exigir a la empresa que los plaguicidas sean compatibles. De esta manera se evitan muchos de los problemas derivados del uso de mezclas. Además de estos

conceptos, en el presente documento se introduce por primera vez una nueva clasificación de mezclas: a) de alto riesgo (MAR) y b) de bajo riesgo (MBR).

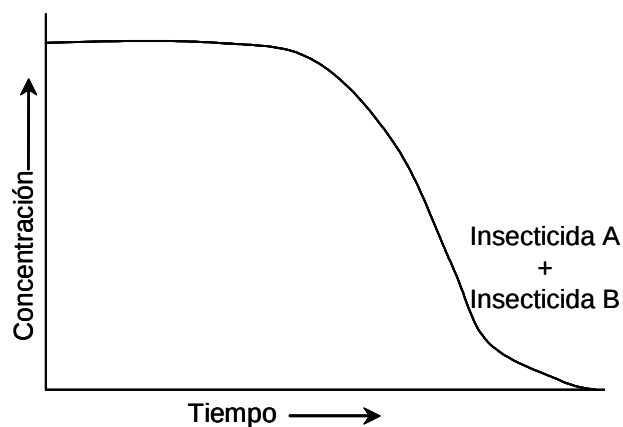
#### *Mezclas de alto riesgo*

Se trata de mezclas que se preparan para combatir la misma especie y estado biológico de la plaga objeto de control. Como en cualquier mezcla, es importante que sean física, química y biológicamente compatibles.

El uso de mezclas de insecticidas contra un tipo de plagas descansa en las siguientes premisas:

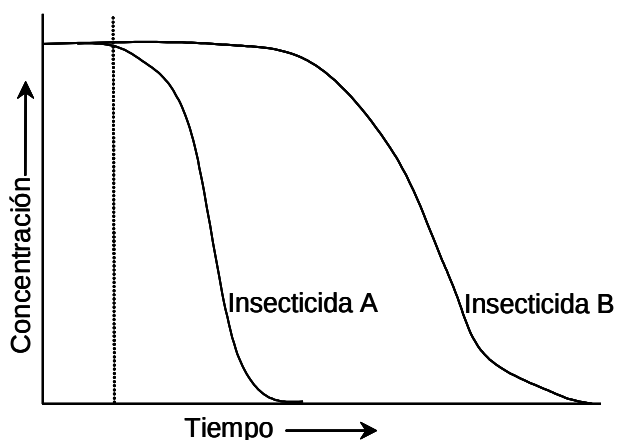
- a) Baja probabilidad de que de que un organismo susceptible posea genes de resistencia a dos sustancias químicas con diferentes modos de acción y diferentes rutas de destoxificación (Lagunes 1980, Gallegos 1982).
- b) La población objeto de control debe ser totalmente susceptible a ambos componentes de la mezcla, situación que es muy difícil de cumplir. En la mayoría de los casos, cuando se aplica la mezcla, ya existe en la población una mezcla de individuos SS, SR y RR.
- c) Los dos componentes de la mezcla deben tener la misma tasa de disipación en el ambiente (Figura 7). Esta es la única manera de estar seguros de que efectivamente los dos componentes de la mezcla están ejerciendo su acción tóxica de manera simultánea y de que el individuo sobrevive al insecticida "A", será eliminado por el insecticida "B" y viceversa.
- d) Debe existir potenciación entre los componentes de la mezcla (Gordon y Eldefrawi 1960, Mansour et al. 1966, Lowry y Berger 1974).

- e) La resistencia debe ser monogénica (Hoy 1999).
- f) Parte de la población debe permanecer sin ser seleccionada (Tabashnik 1990).
- g) La herencia de la resistencia debe ser recesiva a ambos componentes de la mezcla (Hoy 1999).



**Figura 7. Tasa de disipación esperada de dos insecticidas que poseen la misma tasa de disipación en el ambiente**

Desafortunadamente es muy difícil que dos insecticidas no relacionados entre sí, presenten una tasa de disipación en el ambiente que sea similar. Una situación grave se presenta cuando los dos compuestos ejercen una actividad biológica adecuada por un tiempo corto (Figura 8) y después uno de ellos ya no es capaz de matar al insecto debido a que se encuentra a una concentración baja. De ser este el caso, la aplicación de la mezcla es solo ilusoria.



**Figura 8. Tasa de disipación de una mezcla de insecticidas en la que existen marcadas diferencias en la tasa de disipación de los componentes de esta. La línea vertical punteada indica el límite de tiempo en que biológicamente la mezcla esta actuando como tal.**

En las pruebas de efectividad biológica para registro de mezclas se deben incluir las diferentes dosis de la mezcla de interés, más los componentes de la mezcla por separado. Cuando se trata de controlar una sola especie de insectos, los componentes por separado deben evaluarse a su dosis comercial y a la concentración en que se encuentran en la mezcla. Además, se debería exigir que dicha mezcla se evalúe en todos los centros de alto consumo y repetir la evaluación cada cinco años. De esta manera se evita la práctica desleal de algunas empresas sin ética que venden un producto que no sirve, enmascarado en uno que sí sirve. Una vez que se desarrolla la resistencia a un componente de la mezcla, ésta no debe continuar usándose.

Las mezclas de insecticidas contra una sola plaga deben estar respaldadas por bioensayos que soporten la existencia de potenciación, misma que consiste en evaluar toxicidad de la mezcla en una gran variedad de proporciones (isobologramas); una vez que se obtiene en laboratorio la

proporción correcta, se determina la dosis óptima en evaluaciones de estudios de efectividad biológica en campo. Además de estos requisitos que la literatura documenta, la mezcla debe estar constituida por compuestos que tengan diferente modo de acción y de preferencia diferentes rutas de detoxificación (Mani, 1985).

Toda la teoría antes expuesta aplica a mezcla de insecticidas convencionales, en las cuales sus componentes matan al insecto al producirles una lesión bioquímica muy específica, por ejemplo inhibición de la acetilcolinesterasa, acción sobre los canales de sodio, mimetizando a la acetilcolina, etc. Una situación diferente se presenta cuando existe la mezcla de dos insecticidas, uno que mata al inhibir un proceso fisiológico en particular y otro componente que las repele. Quedan también fuera de esta condición las mezclas de insecticidas botánicos u otros productos inorgánicos de bajo riesgo de resistencia.

La utilidad de estas mezclas en el manejo de la resistencia ha sido controversial, algunas autoridades afirman que las mezclas son útiles mientras que otros sostienen lo contrario (Sawicki 1975, Brown 1976, Pimentel y Belloti 1976, Georghiou 1983, McDonald et al. 1983, Ozaki 1983, Pimentel y Burgess 1985). Por ejemplo, científicos de USDA seleccionaron moscas con la mezcla de DDT y malatión durante 10 generaciones. Al final de este proceso se observó un incremento de 40x resistencia a DDT y 2x a malatión; niveles similares se observaron con el uso de los compuestos por separado, indicando que la mezcla no proporcionaba ventaja alguna.

Más recientemente, Lagunes (1980) seleccionó una raza de mosquitos, *Culex quinquefasciatus* Say que contenía, en

niveles bajos, genes de resistencia a temefós, permetrina y propoxur con los compuestos por separado y las mezclas posibles (Figura 9).

La resistencia invariablemente se desarrolló cuando la población se seleccionaba con cada uno de los insecticidas. La selección con temefós produjo un poco más de 600x resistencia a este insecticida en seis generaciones, un aumento casi imperceptible en la resistencia a propoxur y no afectó en absoluto la respuesta a permetrina. La selección a base de propoxur produjo 13x resistencia, pero no afectó a los otros dos insecticidas. La selección con permetrina ocasionó más de 3000x resistencia en nueve generaciones, no afectó la respuesta a temefós; pero se observó un ligero decremento en la susceptibilidad a propoxur. La escasa relación que se presenta entre propoxur y permetrina, probablemente se debe a la expresión de oxidasas de función mixta, misma que afecta a los dos tipos de compuestos.

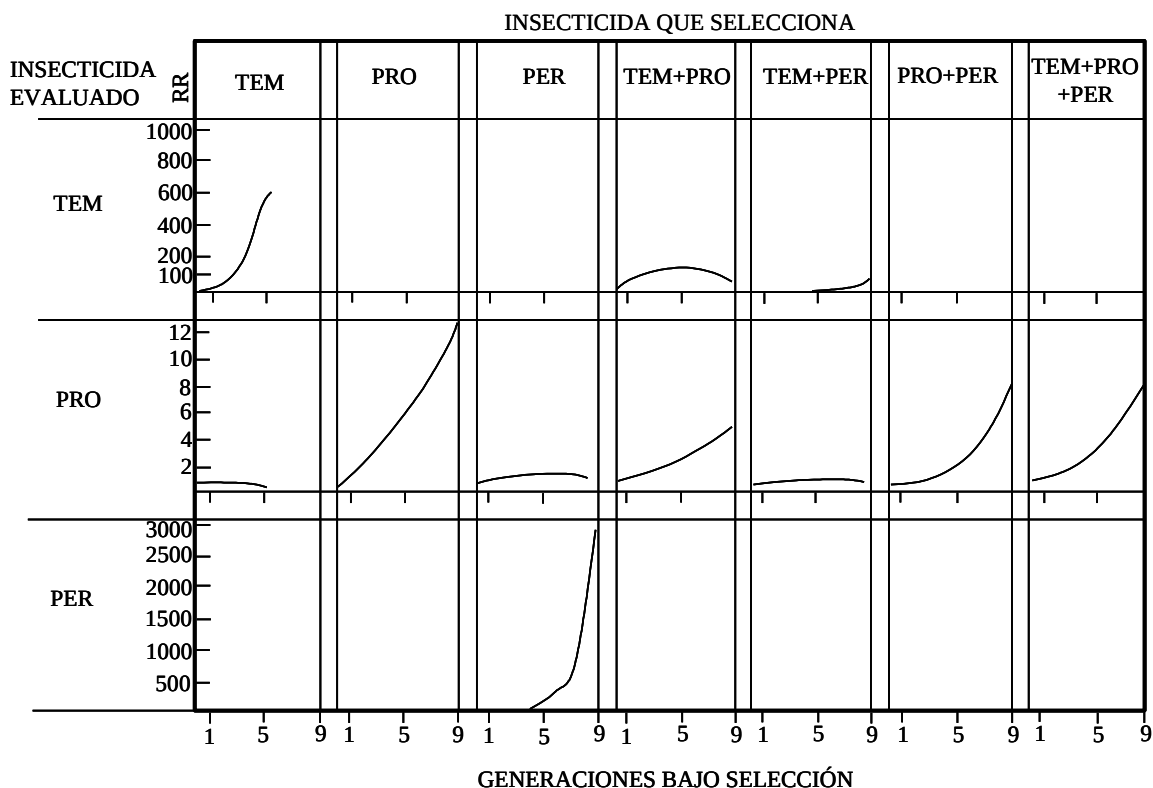


Figura 9. Evolución de la resistencia a insecticidas en larvas del mosquito *Culex quinquefasciatus* Say sometidas a diferentes esquemas de selección. TEM = temefós, PRO = propoxur, PER = permetrina, RR = proporción de resistencia.

La selección con las mezclas respectivas produjo resultados interesantes. La selección con temefós + propoxur elevó la respuesta a éstos dos componentes, sin que se llegara al nivel alcanzado cuando el temefós o el propoxur se usaron por separado. Los más bajos niveles de resistencia se lograron con la mezcla temefós + permetrina; por lo tanto se considera como la mejor mezcla (Figura 9). El uso de las mezclas propoxur + permetrina y temefós + propoxur + permetrina, solamente se afectó al propoxur (Figura 9).

### *Mezclas de bajo riesgo*

Este tipo de mezclas se preparan con la intención de controlar dos tipos diferentes de organismos plaga: fungicidas + insecticidas, insecticida para chupadores + insecticida para masticadores, entre otros. En caso de que estas mezclas se preparen directamente en el campo, se debe poner especial atención a los problemas de compatibilidad antes indicados. Desde el punto de vista del potencial de desarrollo de resistencia, se consideran de bajo riesgo debido a que en ningún caso, un mismo tipo de organismos va a estar expuesto a la selección con dos o más insecticidas no relacionados; es decir que no existe el riesgo de resistencia múltiple. El hecho de que cada componente de una mezcla insecticida + insecticida de bajo riesgo seleccione un tipo de plaga diferente, no significa que dejen de existir efectos interactivos positivos. En este caso el insecticida "A" puede ejercer una presión importante sobre la plaga "A" y poner en situación fisiológica crítica a la plaga "B" y viceversa.

El hecho de que un organismo se encuentre afectado fisiológicamente no significa necesariamente que muera, pero pudiera hacerlo más sensible al otro componente de la mezcla. La presencia de este fenómeno se refleja en un aumento en la eficacia biológica de la mezcla contra dos tipos diferentes de plagas, sin que medie el riesgo de resistencia múltiple. Aparentemente esta situación se presenta con la mezcla conocida como LEVERAGE (Imidacloprid + ciflutrina), en la cual el imidacloprid ejerce presión de selección contra insectos chupadores y la ciflutrina contra insectos masticadores. Es común que se observe la potenciación con esta mezcla sin que exista el riesgo de que los insectos masticadores desarrollen resistencia al imidacloprid (debido

a que no los controla). Tampoco existe riesgo de resistencia de las plagas chupadoras a la ciflutrina debido a que no selecciona a este tipo de plagas. Sin embargo, las dosis subletales de imidacloprid a que están expuestos los insectos masticadores, los hacen más vulnerables a la ciflutrina y viceversa. Sin embargo, para que se justifique una mezcla de este tipo, el cultivo debe estar afectado por los dos tipos de plagas indicados; de lo contrario se estaría aplicando un componente de manera innecesaria.

### ***Uso concomitante***

Esta estrategia se concibió para el manejo de la resistencia a los insecticidas destinados al control de adultos de mosquitos transmisores de enfermedades al ser humano. En la lucha contra estos vectores, se hacen campañas consistentes, entre otras cosas, en asperjar las paredes de las casas habitación con insecticidas residuales; el mosquito, al posarse sobre una superficie tratada, adquiere la dosis letal suficiente para matarlo y de esta manera se pretende disminuir el índice de transmisión de enfermedades.

Desafortunadamente no existe literatura citada sobre las ventajas y desventajas de esta estrategia de manejo de la resistencia; pues se trata de una estrategia poco explorada y estudiada. El uso concomitante consiste en tratar algunas paredes con el insecticida "A" y otras con el insecticida "B". Se espera que el mosquito, al posarse sobre una pared, adquiera la dosis completa del insecticida "A" y al moverse hacia otras paredes adquiera la dosis completa del insecticida "B". Se considera prácticamente imposible que los mosquitos expuestos puedan sobrevivir a la dosis completa de dos tipos de insecticidas no relacionados entre sí por mecanismos de resistencia; en esta característica reside lo

interesante del uso concomitante. Sin embargo, para emplear esta estrategia, primero se debe demostrar que el mosquito adulto es capaz de posarse en diferentes paredes y no se presenta la situación en que tome sangre y salga de la unidad habitacional tratada.

### **Clasificación de insecticidas por mecanismos de resistencia.**

Los insecticidas se han clasificado de muchas maneras: clasificación general, por el tipo de formulación, toxicidad aguda, tipo de envase, etc. Desafortunadamente las citadas clasificaciones no contribuyen al manejo de la resistencia a insecticidas. Narro en 1978 presentó un tipo de clasificación general donde los insecticidas se agrupan por su modo de acción, composición química y su presentación física (Cuadro 1);

Posteriormente Lagunes (1981) documentó la clasificación que comúnmente se utiliza en la enseñanza de la toxicología (Cuadro 2).

**Cuadro 1.** Clasificación de insecticidas de tipo general.

| Por su modo de acción | Según su composición química | Según su presentación |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------|
| Contacto              | Aceites minerales            | Líquidos              |
| Ingestión             | Inorgánicos                  | Polvos                |
| Sistémicos            | Orgánicos naturales          | Granulados            |
| Asfixiantes           | Orgánicos sintéticos         |                       |
| Polivalentes          |                              |                       |

Narro 1978

La clasificación que generalmente se utiliza en la enseñanza de la toxicología, considera a los insecticidas en sus grandes grupos químicos y es de gran utilidad para entender el comportamiento de estas sustancias en el ambiente

y en su interacción con la fisiología de los organismos tratados.

**Cuadro 2.** Clasificación de los insecticidas generalmente empleada en la enseñanza de la Toxicología.

- 
- I. Insecticidas inorgánicos
  - II. Insecticidas orgánicos
    - a. Insecticidas botánicos
    - b. Aceites minerales
    - c. Organoclorados
      - i. Grupo del DDT
      - ii. Grupo del benceno
      - iii. Ciclodienos
    - d. Organofosforados
    - e. Carbamatos
    - f. Piretroides
    - g. Insecticidas microbiales
    - h. Organoazufrados
    - i. Formamidas
    - j. Tiocianatos
    - k. Dinitrofenoles
    - l. Etc.
- 

Lagunes 1981

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         | Aldrin     | Malatión    | Proxur    |
| Metoxicloro | Lindano    | Diazinón    | Isolán    |
|             | Endrin     | Ronnel      | Dimetilán |
|             | Heptacloro | Naled       |           |
|             | Clordano   | Dimetoato   |           |
|             |            | Clorpirifós |           |

---

Georghiou 1971

Posteriormente, el mismo autor presentó en 1976 otra clasificación más ampliada e incluía más grupos de resistencia (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Grupos de insecticidas de acuerdo a su afinidad para resistencia cruzada.

- 
- A. Análogos del DDT
    - a. DDT y otros análogos dehidroclorinizables
    - b. Análogos no dehidroclorinizables: clorobencilato
  - B. Ciclodienos: BHC, dieldrín, endrín, etc.
  - C. Organofosforados
    - a. Organofosforados O-metil: paratión metílico
    - b. Organofosforados O-etil: paratión etílico
    - c. Organofosforados misceláneos, incluyendo algunos del grupo a y b.
  - D. Carbamatos
    - a. Aril carbamatos: propoxur, carbaril
    - b. Carbamatos heterocíclicos: dimetilán
    - c. Carbamatos misceláneos, incluyendo algunos del grupo a y b
  - E. Piretroides

---

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); 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); stiropós, 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.

---

Lagunes y Rodríguez 1982

En el este documento se presenta una nueva clasificación de insecticidas con base a mecanismos de resistencia (vea documento sobre grupos toxicológicos.

El empleo de cualesquier estrategia de manejo de la resistencia se basa en la existencia de al menos dos insecticidas no relacionados por mecanismos de resistencia. En consecuencia es importante contar con una clasificación de insecticidas en grupos de resistencia. Se entiende que todos los insecticidas que se ubican dentro de un grupo en particular tienen el potencial de seleccionar el mismo tipo de resistencia, en consecuencia presentan un alto nivel de resistencia cruzada. En términos generales, no deben rotarse o mezclarse insecticidas del mismo grupo de resistencia.

### **Literatura citada**

- Bhatia, S. K. y S. Pradhan 1968. Studies on resistance to insecticidas in *Tribolium castaneum* (Herbst). III. Selection of a strain resistant to p, p' DDT and its biological characteristics. Indian J. Entomol. 30: 13.
- Bliss, C. L. 1939. The toxicity of poisons applied jointly. Ann. Appl. Biol. 26: 585-615.
- Bohmont, B. L. 1990. The standard pesticide user's guide. Regents/Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey. USA.
- Brower, J. H. 1974. Radiosensitivity of an insecticide-resistant strain of *Tribolium castaneum* (Herbst). J. Stored Prod. Res. 10: 129.
- Brown, A. W. A. 1976. How have entomologist dealt with resistance? Proc. Am. Phytopathol. Soc. 3: 67-74.
- Curtis, C. F. y P. Rawlings. 1980. A preliminary study of dispersal and survival of *Anopheles culicifacies* in

- relation to the possibility of inhibiting the spread of insecticide resistance. *Ecol. Entomol.* 5: 11.
- Delhom, I., A. L. Devonshire y D. W. Hollomon (eds.). 1992. Resistance 91: achievements and developments in combating pesticide resistance. London: Elsevier Applied Science.
- Gallegos, G. P. 1982. Análisis de acción conjunta de insecticidas en el mosquito *Culex quinquefasciatus* Say (Diptera: Culicidae). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Centro de Entomología y Acarología. 73p.
- 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. y C. E. Taylor. 1977. Genetic and biological influences in the evolution of insecticide resistance. *J. Econ. Entomol.* 70: 319-323.
- Georghiou, G. P. y T. Saito. 1983. Pest resistance to pesticides. New York: Plenum.
- Gordon, H. H. y M. E. Eldefrawi. 1960. Analog-synergism of several carbamate insecticides. *J. Econ. Entomol.* 53: 1004-1009.
- Hoy, M. A. 1999. Myths, models and mitigation of resistance to pesticides, pp. 111-119. In: I. Delhom, J. A. Pickett y A. L. Devonshire (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.
- 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. 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.
- Lowry, W. L. y R. S. Berger. 1974. Joint action of DDT-containing insecticide mixtures against DDT-resistant pink bollworms. J. Econ. Entomol. 57: 181-182.
- Mani, G. S. 1985. Evolution of resistance in the presence of two insecticides. Genetics. 109: 761-783.
- Mansour, N. A., M. E. Eldefrawi, A. Topoyada y M. Zeid. 1966. Toxicological studies of the egyptian cotton leafworm *Prodenia litura*. J. Econ. Entomol. 59: 307-311.
- McDonald, R. S., G. A. Surgeoner, y K. R. Solomon. 1983. Development of resistance to permethrin and dichlorvos by the house fly (Diptera: Muscidae) following continuous and alternating insecticide use on tour faros. Can. Entomol. 115: 1555-1561.
- McKenzie, J. A. 1996. Ecological and evolutionary aspects of insecticide resistance. Austin, TX: Academic Press.
- Narro, R. J. 1978. Las innovaciones tecnológicas en la agricultura: un estudio de los plaguicidas en México. Tesis de Licenciatura. Escuela de Economía. Universidad Autónoma de Coahuila.
- Ozaki, K. 1983. Suppression of resistance through synergistic combinations with emphasis on planthoppers infesting rice in Japan, pp. 595-613. In: G. P. Georgiou y T. Saito (eds.), Pest resistance to pesticides. Plenum. New York.
- Perry, A. S., A. Gasita y Y. Mozel. 1983. Pesticide residue in fish and aquatic invertebrates. Arch. Toxicol. Suppl. 6: 199-204.
- Pimentel, D. y A. C. Belloti. 1976. Parasite-host population system and genetic stability. Am. Nat. 110: 877-888.
- Pimentel, D. y M. Burgess. 1985. Effects of single versus combinations of insecticides on the development of resistance. Environ. Entomol. 14: 582-589.
- 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.

- 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.
- Sawicki, R. M. 1975. Effects of sequential resistance on pesticide management, pp. 799-811. In: Proceedings, 8<sup>th</sup> British Insecticide Fungicide Conference.
- Shaw, D. D. y C. J. Lloyd. 1969. Selection for lindane resistance in *Dermestes maculatus* DeGeer (Coleoptera: Dermestidae). J. Stored Prod. Res. 5:69.
- Tabashnik, B. E. 1990. Modeling and evaluation of resistance management tactics, pp. 153-182. In: R. T. Roush y B. E. Tabashnik (eds.), pesticide resistance in arthropods. Chapman & Hall. EUA.
- 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.