

EL MANEJO DE LA RESISTENCIA DE LOS INSECTOS A LOS INSECTICIDAS

• Alberto Murillo L.

Considerándose la resistencia como el resultado de acciones de control generalmente de origen químico, bajo condiciones que determinan una respuesta de sobrevivencia de la especie, es fundamental entender las bases y el proceso de conformación de una población resistente, con el fin de plantear estrategias para evitar o manejar los problemas de resistencia.

En la primera parte de esta revisión, trataremos entonces los temas básicos del fenómeno de la resistencia de los insectos a los insecticidas y posteriormente se analizarán algunos planteamientos y experiencias en el manejo de algunos problemas.

1. LA RESISTENCIA UN EJEMPLO DE MICROEVOLUCION

Se puede afirmar que los organismos no "adquieren" resistencia ante la "presión" ejercida por un agente químico. Prácticamente está descartado que los insectos se vuelvan resistentes después de recibir dosis subletales a través de su desarrollo. Lo mismo puede extenderse a otros organismos considerados plagas como bacterias, hongos, malas hierbas, los cuales son controlados con productos específicos.

El proceso de la formación de poblaciones resistentes es casi idéntico a los mecanismos de la evolución postulados por Darwin, pero para Ayala (1) la variabilidad dentro de la especie es muy superior a la postulada por el científico.

Para Darwin la base de la evolución consiste en la existencia de modificaciones, aleatorias y heredables en los individuos de una población. La selección natural, la supervivencia y reproducción diferencial de los individuos genéticamente distintos adapta las modificaciones beneficiosas y rechaza las perjudiciales. De esta manera los individuos adaptados a las nue-

vas necesidades del medio son el resultado de una mezcla de variabilidad y selección de azar y de necesidad (1)

El origen de la resistencia de los insectos a los insecticidas está entonces en la variabilidad genética en una determinada población, es decir, en la capacidad de esos individuos para sobrevivir a una dosis dada del insecticida. El genotipo de ese grupo o población de individuos resistentes, confiere tal condición a través de procesos fisiológicos, bioquímicos o aún de comportamiento (18).

Es frecuente encontrar que un "nuevo insecticida" puede ofrecer diferentes grados de control a una dosis determinada, cuando es evaluado sobre diferentes razas de una misma especie, tomadas de áreas ecológicas o agroecológicas diferentes, debido precisamente a la variabilidad genética de sus individuos.

La teoría de Darwin implica que las poblaciones naturales estén constituidas por un tipo genético más o menos frecuente y algunas variantes poco frecuentes, sin embargo, esto ha sido replanteado en los últimos años al ponerse de manifiesto que las poblaciones naturales poseen un enorme reservorio de variabilidad genética, lo cual evidencia que el papel del azar es más sutil que lo que se suponía. Esto como un resultado de los progresos hechos en biología molecular y el tratamiento estadístico de la evolución aportado por la genética de poblaciones (1) (18).

2. PAPEL DEL AGENTE AGROQUIMICO

Bajo las anteriores consideraciones, se parte de que los individuos resistentes a un determinado

• I. A. MSC.
Hoechst Colombiana S.A.
Jefe Productos Insecticidas
Santafé de Bogotá.

 **Corpoica**
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

insecticida o a un grupo de éstos ya existe en forma natural, como resultado del "arsenal" de variabilidad genética. En la gran mayoría de las especies, los individuos "variantes" se encuentran a frecuencias muy bajas al comienzo, pero dependiendo de la frecuencia de las aplicaciones como uno de los factores de la "presión de selección" la frecuencia se va incrementando progresivamente.

Hay que dejar claro que el agente químico bien sea insecticida, acaricida, bactericida, fungicida o cualquier otro es un "factor seleccionador" mas no el que induce una resistencia.

De otra parte también es importante aclarar que en el proceso de evolución natural "las mutaciones génicas operan aleatoriamente", sin que exista ninguna relación con la futura adaptabilidad al ambiente, es decir, que un individuo mutante no tiene una probabilidad de aparecer en un ambiente en el que sería favorecido mayor que en otro ambiente en el que sería seleccionado en contra. Si aparece un mutante favorecido, puede considerarse que presenta una "preadaptación" a ese ambiente determinado, es decir, que no apareció como una necesidad para poder adaptarse al medio desfavorable sino que resultó ser adaptable (1).

En la naturaleza se presentan varios factores que inducen las mutaciones, tales como radiación, condiciones ambientales, químicos de plantas entre otros.

Al parecer, la mayoría de los cambios evolutivos se producen por acumulación gradual de mutaciones ínfimas acompañadas por expresiones en las características físicas de los individuos de la población (1).

Se puede concluir entonces, que la resistencia no se presenta por mutaciones causadas por el agente químico, si estas llegaren a ocurrir en el proceso de selección, como un evento de variabilidad aislado, los individuos resultantes con un nuevo genotipo pueden coexistir o no en el proceso, pero no son la fuente primaria.

3. GENETICA DE LA RESISTENCIA

Siendo la resistencia heredada, existen genes que determinan la susceptibilidad del insecto a un determinado insecticida. Los genes están conformados por pares de alelos y la expresión del gen depende de su dominancia. Cuando la resistencia es monogénica, sus alelos (S) susceptibles o (R) resistentes dan origen a tres genotipos posibles: SS, SR, RR. Si la resistencia es dominante, la presencia de un gen sencillo o doble conferirá la resistencia (SS, SR), pero si la resistencia es recesiva, se requerirá la forma homocigota para que pueda expresarse (RR).

Una combinación intermedia de semidominancia es frecuente, en la cual el heterocigote (SR) es más tolerable que el homocigote susceptible (SS), siendo los homocigotes (RR) los más resistentes.

Análisis de la heredabilidad de la resistencia indican que ésta se debe en muchos casos al alelismo en un gene principal (monofactorial). El origen de la resistencia de un sólo gen ha sido encontrado en la resistencia de 11 especies al DDT, en 18 especies al Dieldrin, en 6 especies a organofosforados y en 2 especies a carbamatos.

La resistencia polifactorial también ocurre en insectos, pero al parecer es menos frecuente. Numerosos estudios indican que la resistencia a organofosforados y carbamatos es de tipo dominante, en cambio la resistencia a ciclodienos casi siempre es intermedia. La resistencia al DDT generalmente es de tipo recesivo, aún cuando se presentan algunas excepciones (18).

4. FACTORES IMPORTANTES EN EL DESARROLLO DE LA RESISTENCIA

Georghiou, P. (8) ha hecho un agrupamiento de los factores que influyen en el desarrollo de la resistencia, en la siguiente forma:

1. Genéticos

- Frecuencia de alelos resistentes
- Número de alelos resistentes
- Dominancia de alelos resistentes

- Interacción de alelos resistentes
- Selección previa en otros insecticidas
- Integración de alelos resistentes con la adaptabilidad

2. Biológicos Bióticos

- Descendencia por generación
- Monogamia/Poligamia

De comportamiento

- Movilidad - Aislamiento
- Monofagia - Polifagia
- Sobrevivencia fortuita

3. Operacionales

El insecticida

- Naturaleza del insecticida
- Insecticidas utilizados previamente
- Persistencia de residuos
- Formulación

La aplicación

- Umbral para la aplicación
- Umbral de selección
- Estado seleccionado
- Modo de aplicación
- Selección en espacio limitado
- Selección alternante

Los factores genéticos juegan un papel básico en el desarrollo de la resistencia por cuanto si la frecuencia y el número de los alelos resistentes es alto, la evolución será más rápida. Así mismo, si la resistencia es monogénica y dominante la velocidad será mayor que en condiciones de resistencia polifactorial y recesiva.

No siempre el resultado final es totalmente favorable cuando se conforman poblaciones altamente resistentes. En muchos casos, en el proceso de selección se arrastran (ligamiento) genes desfavorables que eventualmente pueden traer como consecuencia disminución de fertilidad, fecundidad y adaptación al medio.

Los factores biológicos ofrecen un condicionamiento para el desarrollo de la resistencia por cuanto las características particulares de una especie determinan en cierta forma la eficiencia de la selección. Las especies con alto

número de individuos por generación y ciclos de vida cortos responden más rápido al desarrollo de resistencia frente a especies con ciclos de vida muy largos y con pocos individuos por generación. Así mismo, la poligamia favorece el desarrollo por la mayor diversidad genética en la mayoría de los casos. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, la monogamia puede ofrecer una mayor estabilidad y un crecimiento rápido de la resistencia si se parte de poblaciones con alta frecuencia de individuos resistentes. Las especies con alto grado de movilidad tienden a formar más lentamente poblaciones resistentes que aquellos de baja movilidad.

Cuando algunas especies de insectos solo pueden alimentarse de un hospedero, se aumenta el riesgo de causar una alta presión de selección, en contraste con especies polífagas, las cuales pueden mantener poblaciones en plantas no tratadas manteniendo en esta forma reservas de genotipos susceptibles.

5. MECANISMOS DE DEFENSA/RESISTENCIA

Los mecanismos de resistencia a los insecticidas son similares a los mecanismos de defensa que en forma natural tienen los insectos para poder sobrevivir en el medio donde ellos se encuentran. Los químicos a los cuales tiene que enfrentarse una población en un ecosistema, pueden ejercer un efecto similar en respuesta, al que ejercería un agroquímico aplicado como medida de control aún cuando el efecto con este último puede ser más drástico, así mismo lo es la respuesta de la población ante este factor desfavorable.

Cuando una población no presenta los "variantes" o genotipos con las ventajas para "resistir", es prácticamente imposible obtener una población resistente, aún se hagan numerosos intentos. (10) (12).

Como se anotó anteriormente, existen características en los insectos que permiten la sobrevivencia como un resultado de características naturales en los individuos y no por el efecto de la aplicación de un agroquímico. Las

formas de defensa de los insectos a los insecticidas y acaricidas se pueden agrupar de la siguiente manera:

1. Resistencia fisiológica
2. Resistencia por comportamiento
3. Resistencia metabólica
4. Resistencia bioquímica (especifica sitio acción)

- RESISTENCIA FISIOLÓGICA

Puede entenderse como aquellos factores que permiten una alta sobrevivencia al impedir que el insecticida llegue al sitio de acción en cantidades que sean letales, como: reducida penetración, transporte reducido, mayor capacidad de almacenamiento, mayor excreción.

Reducida penetración (50%) a varios insecticidas ha sido encontrada en mosca doméstica, *Aedes aegypti*, *Culex fatigans*, *Euxesta notata*, *Heliiothis virescens* y otros insectos. En *H. virescens* la propiedad específica del integumento limita la rata de penetración del insecticida (10).

- RESISTENCIA POR COMPORTAMIENTO

Está relacionada con las propiedades de los insectos para evadir o de alguna manera evitar la exposición del insecticida. Se han diferenciado en este mecanismo: estímulo de comportamiento evasivo (irritabilidad, repelencia), estímulo independiente de comportamiento evasivo (exofilia, zoofilia) en este último una parte de la población evade cierto ambiente en forma natural, en tanto que el primero requiere una detección del área tratada mediante estimulación sensorial. Este comportamiento desaparece hasta cuando cesa la acción del estímulo por el insecticida. Se ha detectado en *Anopheles albimanus*, *A. atroparvus*.

En insectos dañinos en la agricultura no se conocen casos de resistencia por comportamiento.

- RESISTENCIA METABOLICA

Los insectos se defienden de diferentes sustancias tóxicas en la naturaleza, sin embargo los insectos resistentes presentan una actividad aumentada respecto a la capacidad metabólica de las sustancias a través del sistema enzimático.

El proceso se inicia cuando la sustancia entra al insecto y es transformada a sustancias más solubles en agua, con el fin de lograr una rápida y fácil eliminación de la sustancia tóxica por intermedio de los procesos de excreción (14).

Los procesos para la eliminación de estas sustancias son:

Fase I

Por oxidación e hidrólisis → compuesto hidrosoluble → fácil eliminación

Fase II

Combinación del compuesto hidrosoluble con metabolitos solubles (glucosa, glutatión, y aminoácidos libres) → bloqueo de la acción tóxica → eliminación.

Los productos que resultan son excretados a través de la tubulos de Malpigio, intestino posterior y también por algunas sustancias volátiles como el isopropanol son eliminados por la vía traqueal.

Algunas de las reacciones más frecuentes dentro de la Fase I se encuentran:

- Función de oxidasa mixta (FMO)
- Oxidasa citocromo P-450 en la fracción microsomal de las células de los insectos, los organofosforados, y carbamatos y juvenoides.
- Actividad reductora de compuestos NITRO Y AZO. Por ejemplo, NADPH, reduce el Parathion a Aminoparathion en mosca doméstica.
- Actividad hidrolítica. Particularmente sobre sustancias en forma de esteres (carbámicos)

o fosfóricos). Las esterases son hidrolasas que rompen el compuesto ester mediante la adición de agua produciendo alcoholes y ácidos. La carboxiloesterasa es la causante de la degradación del Malathion en *Tetranychus urticae*, *Myzus persicae*, *H. virescens* y otros (5).

- Actividad de las epoxihidrasas. El anillo epóxido de ciertos compuestos alkenos son hidratados para formar transhidrodioles, por ejemplo en ciclodienos y sus análogos.
- Actividad de la Deshidroclorinasa al transformar el compuesto DDT a DDE compuesto no insecticida.

Dentro de las reacciones más frecuentes en la Fase II se destacan:

- Conjugaciones con Glutathione por la enzima Glutathion S-transferasa como mecanismo de resistencia en algunos dimetil-organofosforados como: Metil Parathion, Metil Paraoxon, Sumithion, D. Dimetoato, Azinphosmetil, Dipterex, Parathion, Diazinon, Diazoxon, Isopropil, Diozinon, Ethil Clorhion (14).
- Formación de glucósidos. Hasta hoy únicamente los O-glucosidos y los S-glucósidos han sido comprobados en los insectos.

Las reacciones de conjugación con aminoácidos no están bien determinadas como mecanismo de resistencia en los insectos a los insecticidas.

Los mecanismos metabólicos de detoxificación como se ha analizado son comunes a muchos grupos de insecticidas y no están relacionados con los mecanismos específicos. En muchos casos la defensa metabólica es más importante como fuente de resistencia que la originada en sitios específicos, sin embargo es más frecuente la combinación de diferentes mecanismos.

RESISTENCIA BIOQUIMICA

Los mecanismos de resistencia específicos están estrechamente relacionados con los mecanismos de acción de los insecticidas, lográndose una respuesta fisiológica o bioquímica diferente en individuos resistentes en comparación con insectos susceptibles.

En el Cuadro N° 1 aparecen los mecanismos de acción y de resistencia para algunos de los principales grupos de insecticidas y acaricidas de diferente origen.

6. IMPORTANCIA DE LA RESISTENCIA

De acuerdo con la información de Georghiou (1990) hasta el año 1988 se habían reportado un número cercano a 500 especies de insectos y ácaros resistente a organoclorados, fosforados, carbamatos y piretroides (3). Ver fig. 1

EVOLUCION DE LA RESISTENCIA

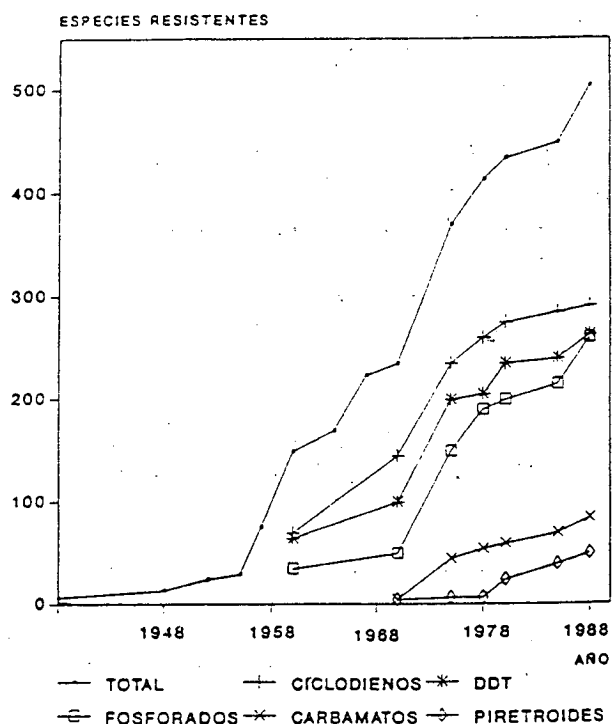


FIGURA 1. Incremento cronológico en el número de especies de insectos y ácaros resistentes a por lo menos un tipo de insecticida (total) y especies resistentes a cada uno de los cinco principales grupos de insecticidas (Tomado de Georghiou 1990)

En Colombia se tienen casos reportados sobre problemas de resistencia de insectos y ácaros, se destaca entre ellos la resistencia de *H. virescens* a fosforados, carbamatos y piretroides en el cultivo del algodón. Cuadro 1.

CUADRO N° 1

MECANISMOS DE ACCION Y DE RESISTENCIA ESPECIFICOS EN DIFERENTES GRUPOS DE INSECTICIDAS Y ACARICIDAS

GRUPO	MECANISMOS DE ACCION	MECANISMOS DE DEFENSA/RESISTENCIA ESPECIFICOS
ORGANOCLORADOS	Modificación permeabilidad de membrana a iones Na-Ca-K células nerviosas	Insensibilidad al cambio de permeabilidad
ORGANOFOSFORADOS	Inhibición de la acetil colinesterasa	Insensibilidad en la A. colinesterasa
PIRETROIDES	Modificación permeabilidad de membrana a iones Na Axon - Células nerviosas	Insensibilidad al cambio de permeabilidad
CARBAMATOS	Inhibición de la acetil colinesterasa	Insensibilidad a la inhibición colinesterasa
SULFONADOS (ENDOSULFAN)	Modificación del sistema GABA (?)	Sin detectar
LACTONAS MACROCICLICAS	Amplificación del sistema GABA por la liberación presináptica del neurotransmisor inhibitorio	"
NEREISTOXINAS	Bloqueo de receptores nicotínicos como neurotransmisores postsinápticos	"
THIOUREAS	Inhibición mitocondrial de las síntesis de ATP	"
FENOXYPIRAZOLES	Inhibición de la respiración a nivel celular	"
FORMAMIDINAS	Agonistas de receptores de octopamina (?)	"
IGR (I. Quitina)	Inhibición de quitin sintetasa o su polimerización en la endocutícula	"
IGR (Juvenoides)	- Agonistas de hormona juvenil - Antagonistas de hormona juvenil	" "
IGR (Mímicos de Ecdysona)	- Agonistas de Ecdysona	"
ENDOTOXINAS DE <i>Bacillus thuringiensis</i>	Cristales proteínicos interactúan y deterioran el epitelio del intestino medio y septicemia bacterial	Fallas en el acople proteína tóxica con los receptores en las células epiteliales del intestino medio
EXOTOXINAS DE <i>Bacillus thuringiensis</i>	Bloqueo en la producción de proteínas por competencia de las exotoxinas para reaccionar con ATP	Sin determinar
HONGOS ENTOMOPATOGENOS	Solubilización de proteínas cuticulares Competencia de nutrientes Toxinas alteran procesos bioquímicos diversos por competencia con receptores proteicos	"

CUADRO N° 2

VARIACION DE LA RESISTENCIA DE *H. virescens* A
M. PARATHION 1970 - 1988 EN EL ESPINAL, TOLIMA (1)

AÑO	DL50 mg/g	VARIACION DE LA RESISENCIA SR *	NIVEL DE RESISTENCIA
1970	0.0140	-	SUSCEPTIBLE
1976	0.0811	5.79	BAJA
1977	0.2238	15.98	MEDIA
1980	0.1483	10.59	BAJA
1988	0.075	5.4	BAJA
1988	0.098	7	BAJA

* DL50 DL50
AÑO SUSCEPTIBLE

(1) Adaptado de Rendón et. al. El Algodonero 1988

CUADRO N° 3

VALORES DE RESISTENCIA RELATIVA DE *H. virescens*
A PIRETROIDES * 1991-A (L)

PIRETROIDES	PERIODO	NORTE TOLIMA RR	CENTRO TOLIMA RR	SUR TOLIMA RR	HUILA RR
CIPERMETRINA	I	45	161	28	38
	II	94	226	87	40
	III	193	227	200	215
FENVALERATO	I	28	24	9	8
	II	22	69	23	6
	III	52	69	64	64

* RESISTENCIA RELATIVA RR = LD50 MUESTRA/LD50 SUSCEPTIBLE L
(1) RESULTADOS DE MONITOREO GIMP, 1991 SIN PUBLICAR

CUADRO Nº 4

EVOLUCION DE LA RESISTENCIA DE *H. virescens* *
1988 - 1991 (1)

INSECTICIDAS		TOLIMA	COSTA NORTE		
		RR	BOSCONIA	VALLEDUPAR	CODAZZI
CIPERMETRINA	1988	29	94	80	67
	1989	58	102	-	39
	1990	20	170	-	-
	1991	226	86	50	29
FENVALERATO	1988	21	-	17	-
	1989	23	10	-	-
	1990	8	18	-	-
	1991	69	30	25	10
METIL PARATHION	1988	3	-	8	-
	1989	4	7	-	4
	1990	4	3	-	-
	1991	3	5	3	3

* RESISTENCIA RELATIVA RR = LD50 MUESTRA/LD50 SUSCEPTIBLE (L)
(1) RESULTADOS DE MONITOREO GIMP, 1991 SIN PUBLICAR

CUADRO Nº 5

SUSCEPTIBILIDAD MEDIA DE CINCO POBLACIONES
DE *Tetranychus cinnabarinus* A TRES ACARICIDAS

POBLACIONES	OMETOATO		DIENOCHLOR		CYHEXATIN	
	CL50 (% i.a.)	SR*	CL50 (% i.a.)	SR*	CL50 (% i.a.)	SR*
IT		2.19		1.3		6.7
FR		2.97		1.5		6.2
FA		2.23		2.5		5.8
AO		3.7		2.3		5.8
FT	0.226		201		0.0079	

* SUSCEPTIBILIDAD RELATIVA = CL50 muestra
(MURILLO, MOSQUERA 1985) CL50 susceptible (FT)

En el Cuadro 5 aparece la evaluación de susceptibilidad de tres acaricidas: Ometoato, Dienochlor y Cyhexatin si bien la variación entre poblaciones tomadas de Inversiones Targa, Flores del Río, Flores Achalay, Agrícola de Occidente no fueron grandes con respecto a la más susceptible Flores Toyu, probablemente esto puede ser debido a que no pudo compararse con una población aislada de zonas aplicadas

con acaricida. El factor de resistencia mayor fue de 6.7 X para Cyhexatin.

Recientemente se han desarrollado algunos trabajos para evaluación de resistencia a mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* en frijol, los resultados indican valores desde 3X a 68X con grupos de fosforados, carbamatos y piretroides (3).

CUADRO N° 6

NIVELES DE RESISTENCIA DE MOSCA BLANCA *Trialeurodes vaporariorum* A INSECTICIDAS UTILIZADOS EN FRIJOL (1)

RAZA	MONO		METAMIDOFOS		PROFENOFOS		METOMIL		CIPER-METRINA		DELTA-METRINA	
	1*	2**	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
FUSAGASUGA	0.148	9.2	0.493	41	1.102	3.7	0.169	19.4	1.9	29.4	-	-
RIONEGRO	0.313	19.5	0.125	10.4	1.016	3.4	0.194	22.2	1.5	22.7	5.408	4.7
TENERIFE	0.417	26	0.179	14.9	0.494	1.6	0.042	4.8	0.089	1.3	0.079	<1
TOCOTA	0.532	33.2	0.309	25.7	6.894	3	0.169	19.4	1.713	25.9	5.414	47
OTOÑO	0.343	21.4	0.161	13.4	0.881	3	0.203	23.3	-	-	-	-
CALI	0.016	-	0.012	-	0.293	-	0.087	-	0.066	-	0.115	-

1* CL50 (cc/L)

2** RR = $\frac{CL50 \text{ raza resistente}}{CL50 \text{ raza susceptible}}$

(1) Adaptado de Buitrago N, 1992 (3)

7. ESTRATEGIAS PARA MANEJO DE LA RESISTENCIA

Teniendo en cuenta que el fenómeno de la resistencia es un proceso que está bajo la influencia de factores genéticos, fisiológicos y ecológicos, los cuales varían con la especie, la población y ubicación de los insectos puede esperarse una evolución rápida en algunos casos, lenta en otros y seguramente no se desarrollará en algunas especies (9).

Dentro de los factores que influyen en la evolución de la resistencia algunos están bajo el control del hombre (operacionales) tales como:

dosis, frecuencia, momento de aplicación, cubrimiento parcial o total entre otros (7), también puede incluirse la selección de la alternativa a utilizar.

Cuando se han conformado poblaciones resistentes, es difícil restaurar la efectividad de los insecticidas afectados. Sin embargo, en muchos casos variando el manejo de la plaga la reutilización del insecticida es factible, lo cual está en función de la estabilidad de la resistencia como factor fundamental.

En Colombia se ha encontrado por ejemplo que en *H. virescens* la resistencia a piretroides tiene

cierto grado de inestabilidad; alcanza los mayores valores al final de la temporada, pero presenta valores más bajos al comienzo de la temporada siguiente. En *Tetranychus cinnabarinus* resistente a Cyhexatin, después de 15 generaciones de endocría pasó del factor X 8.4 a X 3.2 en ausencia de aplicaciones del acaricida (15).

Estos dos ejemplos pueden corroborar lo encontrado por varios autores quienes plantean que en ausencia del insecticida, las razas resistentes, tienden a restaurar los genotipos originales. Esto ocurre porque en muchos casos los individuos de las razas resistentes también han incorporado genes con características desfavorables, lo cual puede causar baja competitividad o adaptación frente a poblaciones susceptibles.

La hibridación en poblaciones a campo abierto es un factor determinante para la dilución de la resistencia por cruzamiento de razas resistentes y susceptibles provenientes de zonas sin tratar. Esto es menos importante en cultivos bajo invernadero en donde se presenta un alto grado de endocría. La estabilidad de la resistencia en estas condiciones es más preocupante.

A pesar de la dilución de la resistencia por los factores anteriormente anotados, cuando se han alcanzado altos niveles, la reutilización de un compuesto afectado en la práctica es bajo. Por esta razón, las estrategias de manejo deben ponerse en práctica desde el momento que una nueva alternativa es entregada al mercado.

MANEJO POR SATURACION

Una de las acciones que no se deben hacer cuando se presenta la resistencia a una sustancia es el incremento de dosis, esta nueva dosis funciona por poco tiempo, pero debido a la mayor presión de selección el nivel de resistencia se incrementa (8).

USO DE SINERGIZANTES

La incorporación de sustancias sinérgicas tiene como objetivo bloquear la detoxificación enzimática sobre el plaguicida, de esta manera se deja libre al compuesto para que alcance el sitio de acción. Esta alternativa puede ser útil en casos donde la resistencia es causada por metabolismo aumentado.

CUADRO Nº 7

SUSTANCIAS POTENCIALES COMO SINERGICOS DE ALGUNOS INSECTICIDAS - ACARICIDAS

SUSTANCIA SINERGICA	COMPUESTOS	DETOXIFICACION ALTERADA
DEF	CHLORPIRIFOS METIL PARATHION METIL PARAOXON	ESTERASAS " "
ACEITE DE AJONJOLI (Sesamex)	DIAZOKON M. PARAOXON PIRETROIDES	OXIDASAS HIDROLASAS-OXIDASAS
SULFOXIDO	PIRETRINA	OXIDASAS
PROPIL ISOME	PIRETRINA	"
TROPITAL	PIRETRINA	"
BUTOXIDO DE PIPERONILO	PIRETRINA	"
SKF - 525A (ALKILAMINA)	VARIOS	"
M G K 264	VARIOS	"

Adaptado de A. Rockefeller Foundation Conference (2)

MANEJO POR MULTIPLE ATAQUE

Para Tabasnik, 1989 el resultado de modelos teóricos sugieren que bajo ciertas condiciones las mezclas pueden ser especialmente efectivas para el manejo de resistencia. Desafortunadamente su aplicación práctica en sistemas de manejo integrado es poco útil debido a la interferencia con el control biológico. También puede promoverse la resistencia en plagas secundarias y la intensa selección para resistencia cruzada. Por tal razón todavía no se tienen suficientes argumentos para recomendar este método en forma generalizada (20).

En donde el control biológico o MIP no se ha desarrollado un manejo apropiado de mezclas, sin embargo, puede ser de mucha utilidad buscando en este caso un mayor espectro sobre diferentes estados de la población más que para contrarrestar poblaciones resistentes. Es el caso de manejo de ácaros bajo condiciones de invernadero.

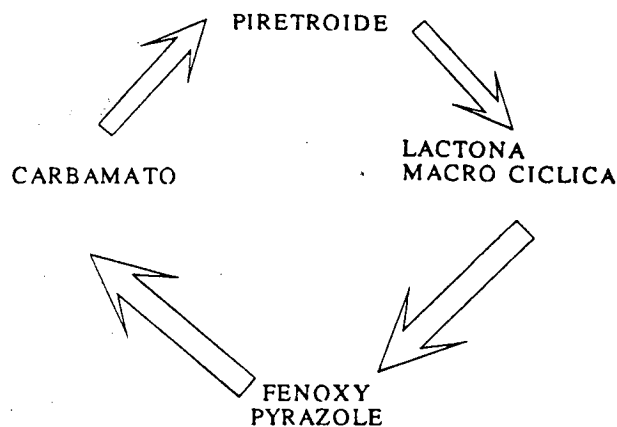
MANEJO ROTACIONAL

La secuencia rotativa de varios recursos es una alternativa para el manejo de resistencia. Se basa en el uso de 2, 3 ó 4 productos químicos en forma rotacional (A, B, C, D) o el empleo de uno para un pequeño número de generaciones seguido del segundo, tercero, etc. y luego volver al primero. Para la ejecución de una rotación apropiada existen tres requisitos:

- a. Las sustancias utilizadas deben ser degradadas por vías de detoxificación disímiles.
- b. Deben tener formas de acción disímiles.
- c. No deben traslaparse los residuos letales.

El principio del sistema de productos en rotación está fundamentado como ya se discutió en la marcada tendencia de la resistencia a disminuir cuando la presión de selección es suspendida.

Un modelo teórico para manejo de *Tetranychus* spp. puede ser:



El uso rotacional sin embargo puede sorprender, por esta razón un manejo técnico incluiría evaluaciones previas de laboratorio con los productos candidatos y preferiblemente en el campo antes de implementar su uso generalizado.

MANEJO POR MODERACION

Cuando existen alternativas que pueden incorporarse en forma armónica dentro del concepto de manejo integrado, la frecuencia de utilización del agente químico es menos exigente, por consiguiente estos sistemas (MIP) se constituyen como los más importantes para prevenir o manejar los problemas de resistencia cuando ya se han presentado.

No en todos los casos es posible adelantar sistemas de manejo integrado, debido a que no están todos sus componentes desarrollados, en muchos casos el control biológico es ausente o los umbrales para aplicación prácticamente no existen porque se exige presencia "cero" de la plaga como ocurre en flores de exportación. En estos casos el uso reordenado de las sustancias disponibles es una alternativa para manejar el problema con la menor presión de selección posible.

En Australia se ha practicado el sistema de las 3 ventanas para el manejo de *Heliiothis armigera* en el algodón, el cual es resistente a piretroides. El método se basa en la utilización de productos por etapas para disminuir la presión de selección, en cada etapa se aplican sustancias con mecanismos de acción o de resistencia diferentes a los de las otras etapas (6).

Ante el creciente desarrollo de resistencia en las áreas hortícolas de China, la cual se ha extendido a piretroides recientes, juvenoides, inhibidores de quitina, *Bacillus thuringiensis* y *Streptomyces avermitilis*, se han planteado las siguientes medidas:

1. Selección de insecticidas con potencial para el reemplazo y mejoramiento del uso de métodos.
2. Limitar el potencial insecticida a áreas/estaciones. Cuando el umbral para control se ha alcanzado, con dosis altas para asegurar el control de heterocigotos.
3. Uso de sinergistas.
4. Uso de mezclas de insecticidas en rotación, en un mosaico de rotación.

En Colombia el uso reordenado de insecticidas para el control de *Trialeurodes vaporariorum* en fríjol, con niveles de resistencia a carbamatos, fosforados y piretroides, ha permitido hasta la fecha beneficios en el manejo de la plaga en zonas donde se ha adoptado por las nuevas recomendaciones. Es el caso de la región del Sumapaz (Fusagasugá) en donde el problema de *T. vaporariorum* en habichuela requería hasta 12 aplicaciones por cosecha, se han logrado reducir a 3 ó 4.

El sistema de manejo desarrollado por ICA - CIAT se fundamenta en la aplicación de un insecticida sistémico carbamato (Furadan) a la siembra, el cual ejerce control y protege del daño hasta 40 días después de la siembra, posteriormente se requieren de 2 a 3 aplicaciones al follaje solamente (4). Es de esperar que en un futuro el número de aplicaciones al follaje se reduzcan cuando el control biológico se establezca y cuando nuevos insecticidas selectivos puedan incorporarse al sistema. La ventaja de la aplicación del insecticida sistémico al suelo es

la selectividad de tipo ecológico (por posición), la cual puede facilitar el establecimiento del control biológico.

El grupo GIMP (Grupo Integrado para el Manejo de Plagas) ha promovido una estrategia para el manejo de *H. virescens* resistente a piretroides y organofosforados en las diferentes zonas algodóneras afectadas por el problema. La estrategia incluye acciones para un manejo racional de las plagas del cultivo bajo el concepto MIP, incluye:

1. Destrucción oportuna de socas y residuos de cosechas.
2. Respeto a las épocas de veda establecidas.
3. Acatamiento de los períodos cortos de siembra establecidos.
4. Integración de los diferentes métodos de control disponible.
5. Un sistema de asistencia técnica encargado de las decisiones de control químico basadas en recuentos periódicos, niveles de daño y épocas oportunas de aplicación.
6. Escogencia correcta de los insecticidas según las épocas, dosis, estado de la plaga susceptible y eficacia.
7. Control de factores operacionales como correcta aplicación, calibración, estado de equipos y calidad de las aguas utilizadas.

El manejo estratégico de los insecticidas de acuerdo a las épocas aparece en la figura 2.

De acuerdo a los trabajos de lotes demostrativos adelantados en 1992-B Costa Atlántica y 1993-A Tolima se han encontrado resultados favorables con reducción en el número de aplicaciones y manejo poblacional.

FIGURA N° 2

ESQUEMA GENERAL DE MIP CON ENFASIS EN *Heliothis virescens* EN ALGODON (1)

NO CONTROL DE *H. virescens*
CON INSECTICIDAS

PRACTICAS CULTURALES

CONTROL BIOLÓGICO (*Trichogramma*)

INSECTICIDAS SELECTIVOS

NO PIRETROIDES

ACCION REGULADORA DE INSECTOS
BENEFICOS

MAS DE 60 DIAS

CONTROL CON NIVELES DEL 15 - 20%
I. TERMINALES

COMENZAR LOS TRATAMIENTOS CON
DIFERENTES ALTERNATIVAS A PIRETROIDES,
INSECTICIDAS SELECTIVOS

PIRETROIDES SOLOS O EN MEZCLA AL FINAL
DEL PERIODO (SI ES NECESARIO)

30 ó 35 DIAS

CONTROL CON NIVELES DEL 15-20%
I. TERMINALES

COMENZAR LOS TRATAMIENTOS CON
DIFERENTES ALTERNATIVAS A PIRETROIDES,
INSECTICIDAS SELECTIVOS

PIRETROIDES SOLOS O EN MEZCLA AL FINAL
DEL PERIODO (SI ES NECESARIO)

30 ó 35 DIAS

(1) GRUPO GIMP, 1992

 **Corpoica**
Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria

Centro de Documentación

BIBLIOGRAFIA

1. AYALA, J. F. 1982. Mecanismos de la evolución. En: Ciencia y Tecnología (España) Vol. 1 p. 18-32
2. A. ROCKEFELLER FOUNDATION CONFERENCE, 1974. The future for insecticides, Needs and Prospects, Bellegio Italy, p. 200-216
3. BUITRAGO, G. D. 1992. Niveles de Resistencia a Insecticidas en *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) Plaga en frijol común. Tesis pregrado, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá, p. 88.
4. CARDONA, C., PRADA, P., et al, 1991. Bases para establecer un programa de manejo integrado de plagas de habichuela en la Provincia del Sumapaz, (Colombia). Informe de progreso Creced ICA Sumapaz y Sección Entomología de frijol CIAT. Documento de Trabajo N° 86, p. 78.
5. DIBETA. Insecticida acaricida, boletín técnico, Chemical and Agricultural Products Division Abbott Laboratories, 1988.
6. FORRESTER, N. H. and CAHILL, M. 1987. Management of insecticide resistance in *Heliothis armigera* in Australia in combating Resistance in Xenobiotics: Biological and Chemical Approaches (M. Ford et als, eds) pp. 127-137 Ellis Horwood, Chichester, England.
7. GEORGHIOU, G. P. and C:E: Taylor 1977. Genetic and biological influences in the evolution of insecticide resistance, Econ. Entomol., 70. pp. 319-323.
8. GEORGHIOU, G., El manejo y supresión de la resistencia a los plaguicidas, En: Seminario Regional sobre manejo de plaguicidas en Centro América, ICAITI.
9. GEORGHIOU, P. 1980. La resistencia a los plaguicidas, University of California, Riverside 92521, Xeroxopia, pp. 12.
10. GEORGHIOU, P. 1972. The evolution of resistance to pesticides, Department of Entomology, University of California, Riverside, California N° 4039, pp. 134-168.
11. MARNIX, P. *Bacillus thuringiensis* in Crop Protection, Agroindustry H: Tech. Plant Genetics Systems Gent Belgium. pp. 5-9.
12. Mc ENROE, W. D. 1968. The Coadaptative process in an organophosphorus - resistant strain of the two spotted spider mite *Tetranychus urticae*, Ann. Entomol. Soc. Am. 61: pp. 1055-59.
13. MUIRHEAD, T. R. 1960. The significance of irritability behaviouristic avoidance and allied phenomenen in Malaria eradication Bull WHO 22 : pp. 721-34.
14. MULLET, J. CH. Mecanismo de desintoxicación de los insectos, Departamento de Biología, U. del Valle, Xeroxopia, p. 16.
15. MURILLO, L. A. 1986. Variación del carácter resistente a Cyhexatin en una población de *Tetranychus cinnabarinus* criada sobre el clavel *Diantus caryophyllus*. Sociedad Colombiana de Entomología, Vol. 12.

16. MURILLO, L. A., MOSQUERA, F. 1985. Evaluación de resistencia a tres acaricidas utilizados en el control de *Tetranychus cinnabarinus* en cultivos de clavel para exportación, p. 19.
17. PADAN Insecticide, Technical Bulletin, Takeda Chemical Industries Ltd. Agricultural Chemicals División, Tokyo, Japón, p. 53.
18. ROUSH, T. R. 1987. Ecological Genetics of Insecticide and Acaricide Resistance, Ann. Rev. Entomol., Vol. 32, pp. 361-380.
19. SATELLE, D. B. 1988. Molecular targets of Pyrethroid insecticides Advances in insect physiology, Vol. 20. pp. 148-182.
20. TABASHNIK, E., B., 1989. Managing Resistance with multiple Resistance. Tactics: Theory, Evidence and Recommendations.
21. WEBER B. OTTO, D. 1992. Insecticides Mechanism of Action and Resistance, Intercept, England, pp. 499.