

# Manejo de insectos plaga mediante sustancias semioquímicas de origen vegetal

Graciela Mareggiani<sup>1</sup>

**RESUMEN.** Los problemas causados por el uso excesivo de insecticidas sintéticos obligan a buscar nuevas alternativas de manejo de insectos plagas. Una de estas alternativas es el uso de sustancias semioquímicas derivadas del metabolismo secundario de las plantas, que tienen la capacidad de intervenir en la comunicación química entre organismos. El control de insectos con el uso de varias plantas, como el nim (*Azadirachta indica*, Meliaceae), incrementó el interés en el uso de estos metabolitos secundarios. Esta revisión incluye aspectos relevantes de estas sustancias y su posibilidad real o potencial de uso en programas de manejo integrado de plagas. Se describe brevemente la contribución fitoquímica de cinco plantas utilizadas desde la antigüedad para el control de plagas y que actualmente son producidas a nivel comercial: el nim, el piretro (*Tanacetum* spp., Asteraceae), el timbó (*Derris* sp., Fabaceae), *Lonchocarpus* sp. (Fabaceae) y el tabaco (*Nicotiana tabacum*, Solanaceae).

**Palabras clave:** Semioquímicos, Alomonas, Kairomonas, Insecticidas botánicos

**ABSTRACT.** Management of insect pests with semiochemical substances originating from plants. The problems caused by the excessive use of synthetic insecticides mean that new management alternatives for insect pests should be looked for. One of these alternatives is the use of semiochemical substances derived from the secondary metabolism of plants, that have the capacity to intervene in chemical communication between organisms. The control of insects with various plants, such as neem (*Azadirachta indica*, Meliaceae), has increased the interest in utilizing these secondary metabolites. This review includes relevant aspects of these substances and their possibilities real or potential for use in integrated pest management programmes. The contribution of the plant chemistry of five plants utilized since long ago for the control of pests and that are currently produced on a commercial scale is briefly discussed: neem, piretro (*Tanacetum* spp., Asteraceae), Derris (*Derris* sp., Fabaceae), *Lonchocarpus* sp. (Fabaceae) and tobacco (*Nicotiana tabacum*, Solanaceae).

**Key words:** Semiochemicals, Allomones, Kairomones, Botanical insecticides.

---

## Introducción

El uso indiscriminado de plaguicidas sintéticos ha ocasionado no sólo la aparición de poblaciones de insectos cada vez más resistentes a estos productos, sino también un impacto ambiental negativo, afectando a los enemigos naturales, contaminando las napas freáticas y el aire (Dietz *et al.* 1991).

Por estas razones se han considerado las plantas como un campo apropiado para la búsqueda de nuevas estructuras con menor impacto ambiental y con potencial para el control de plagas agrícolas, dando origen a nuevas e interesantes líneas de investigación en los países de América Latina (Kumul 1983, Lagu-

nes *et al.* 1984, Mancebo *et al.* 2000, Rodríguez Hernández, 1982 y 1986, Rodríguez Hernández *et al.* 1982).

La revalorización de la planta como fuente de sustancias con propiedades insecticidas data de los últimos 35 años. Sin embargo, en los años 30 se registraron algunas investigaciones sobre el tema. Metzger y Grant (1932) evaluaron la actividad de 390 plantas como repelentes del coleóptero *Popillia japonica* sobre durazneros y manzanos. Eger (1937) observó la respuesta, cuantificada como diferentes grados de aceptación del alimento, de larvas de nueve familias de le-

<sup>1</sup> Cátedra Zoología Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: mareggia@agro.uba.ar

pidópteros al tratamiento con varias sustancias de origen vegetal.

A partir de los años 60 estos estudios tomaron mayor importancia, particularmente, después de los trabajos de Pradhan quienes descubrieron la actividad del extracto de nim (*Azadirachta indica*, Meliaceae) (Fig. 1) para el control de las langostas (Ascher 1969). Cuando Slama y Williams (1965) observaron que individuos de *Pyrrhocoris apterus* (Hemiptera:Pyrrhocoridae) criados sobre papel fabricado a partir del tronco de la Gimnosperma (*Abies balsamea*) experimentaban alteraciones en su desarrollo, y que se identificara la estructura química del compuesto responsable por Bowers *et al.* (1966), se reveló una nueva forma de defensa vegetal mediante imitadores de las propias hormonas de insectos. Posteriormente, el descubrimiento de las propiedades del juvocrineme II en la albahaca, *Ocimum basilicum* (Bowers y Nishida 1980) condujo, en el decenio siguiente, a la síntesis de una segunda generación de productos hormonales comerciales como el piriproxifen y el fenoxicarb (Bowers 1993).

El interés creado por estos descubrimientos, unido al avance de técnicas como la cromatografía, la resonancia magnética nuclear y la espectroscopía de masas que permiten detectar nuevas estructuras presentes en las plantas, aún en cantidades mínimas, condujo a que a finales del siglo XX nuevos grupos de investigación se incorporaran al estudio de estos compuestos y de su ecología química (Cremlin 1995).

En la actualidad, en Argentina, se han iniciado estudios de las propiedades insecticidas y nematocidas de diversos compuestos de origen vegetal, tales como extractos de *Melia azedarach*, Meliaceae (Mareggiani *et al.* 1998, Valladares *et al.* 1997) de lactonas sesquiterpénicas de algunas Asteraceae (Sosa *et al.* 1995) de flavonoides naturales (Sosa *et al.* 1998) de extractos de *Tagetes patula*, Asteraceae (Mareggiani y Caffarini 1995, Mareggiani *et al.* 1996) y de un grupo de lactonas esteroidales aisladas de las Solánaceas, los salpicrólidos, cuya actividad para el control de herbívoros era hasta el momento desconocida (Mareggiani *et al.* 2000).

Estos antecedentes, unidos al hecho de que es el conocimiento adecuado de la interrelación planta-herbívoro y de sus componentes el que permite el manejo integrado de una plaga, condujeron a realizar una revisión sobre los aspectos más relevantes de las sustancias semioquímicas de origen vegetal, y la posibilidad real o potencial de su uso como una alternativa en el control de plagas agrícolas (Andrews y Quezada 1989).

### Las sustancias semioquímicas y su clasificación

Las sustancias semioquímicas intervienen en la comunicación química entre organismos (Law y Regnier 1971). El término semioquímico proviene del griego *semion* que significa marca o señal, asumiendo que el compuesto químico es emitido con un propósito definido hacia el receptor, con lo que se generaría una verdadera comunicación. Sin embargo, en la comunicación química el “propósito” de la emisión del compuesto no existe como tal, aunque el receptor sí utiliza la información que le llega mediante el compuesto químico. Por tanto, algunos autores prefieren el término infoquímico en lugar de semioquímico para caracterizar a estos compuestos (Dicke y Sabelis 1988).



Figura 1. Arbol de nim. (Foto: Programa Regional CATIE-MIP/AF (NORAD)).

Las sustancias semioquímicas que intervienen en interacciones dentro de una misma especie reciben el nombre de feromonas (Karlson y Lüscher 1959). Las sustancias semioquímicas cuya emisión es significativa para un organismo de una especie diferente a la emisora se denominan aleloquímicos (Whittaker 1970).

La clasificación de Nordlung y Lewis (1976), basada en un análisis de costo-beneficio, agrupa a las sustancias aleloquímicos en cuatro categorías: alomonas, kairomonas, sinomonas y apneumonas. Recientemente, la clasificación se ha restringido a las tres primeras categorías (Dicke y Sabbelis 1988). Las alomonas son sustancias producidas o adquiridas por un organismo, que en un contexto natural, y en contacto con un individuo de otra especie producen en el receptor una reacción de comportamiento o fisiológica favorable al emisor. Las kairomonas son compuestos que, en contacto con individuos de otra especie, producen en el receptor una respuesta favorable a este último. Las sinomonas producen en el receptor una respuesta adaptativa favorable, tanto para el emisor como para el receptor (Nordlung 1981).

Las sustancias aleloquímicas emitidas por la planta que tienen mayor importancia en la selección del alimento por parte de una plaga son las kairomonas y las alomonas (Blum 1981, Mareggiani 1996). La emisión de kairomonas por la planta favorece al insecto porque lo orienta hacia ella, o induce su alimentación u oviposición, entre otros beneficios. Cuando el aleloquímico emitido es una alomona, resulta favorecida la planta pues disminuye la posibilidad de que un herbívoro generalista o polífago pueda utilizar esa planta como fuente de alimento, ya que lo repele, disuade la alimentación o la oviposición, e interrumpe su desarrollo, entre otros efectos, por el cual las alomonas actúan como defensas químicas naturales contra los herbívoros (Beck 1965, Dethier *et al.* 1960, Bernays 2000).

#### **Desarrollo de defensas químicas durante la coevolución**

La selección de una planta como fuente de alimento por un insecto herbívoro es un proceso complejo, influido por aspectos referidos tanto a la planta como al insecto (Quarashi 1977). En este proceso intervienen distintos fenómenos que se pueden diferenciar en varias etapas, como la búsqueda del hábitat del hospedante, la localización del mismo, su reconocimiento adecuado y su aceptación (Dethier 1982, Metcalf y Luckmann 1994). Todos estos pasos están condicionados por características de la plaga y del propio cultivo. Con respecto a la plaga, son importantes los aspectos

morfológicos y fisiológicos, especialmente aquellos relacionados con la presencia de los quimiorreceptores adecuados, y los aspectos bioquímicos vinculados con la capacidad de excretar, de biodegradar y de secuestrar metabolitos tóxicos destinados a evitar el ataque de depredadores (Dethier 1970 y 1980, Metcalf y Metcalf 1992).

Con referencia al cultivo y como consecuencia de los 400 millones de años de coevolución entre herbívoros y plantas, en los integrantes del primer nivel de la cadena trófica ocurrió un proceso de selección durante el cual se han desarrollado “defensas” químicas que funcionan como barreras contra los herbívoros, dificultando el consumo de las plantas por los insectos (Futuyma y Keese 1992, Thompson 1988). De acuerdo con algunos autores, esto configuraría la “defensa pasiva de las plantas contra los herbívoros”, por tanto las que poseen propiedades que las tornan menos adecuadas para el consumo, están en ventaja con respecto a las que no tienen estas propiedades (Rhoades 1985).

Frazier y Chyb (1995) señalaron un mecanismo de coevolución a través de mutaciones al azar, por las cuales el genoma vegetal condujo, en algún momento del proceso evolutivo, a la síntesis de sustancias semioquímicas que impedían al insecto alimentarse de la planta. Las plantas que de ese modo se transformaron en resistentes a la plaga, se multiplicaron tornándose más abundantes. De acuerdo con este mecanismo de coevolución, en una etapa posterior, bajo la fuerte presión selectiva ejercida por las sustancias semioquímicas vegetales, los insectos desarrollaron uno o más mecanismos destinados a detoxificarlos, o bien, comenzaron a utilizarlos en su propio beneficio, transformándolos en claves para reconocer al hospedante, o secuestrándolos con fines defensivos. Este proceso condujo a que ciertos herbívoros polífagos o generalistas (que se alimentan de especies de distintas familias) se adaptaran convirtiéndose en especialistas, en unos casos oligófagos (cuando se alimentan de especies de una misma familia) y en otros monófagos (cuando se alimentan de especies de un mismo género). Esto es lo que ocurre con las cucurbitacinas, fitoquímicos terpenoides presentes en la familia Cucurbitaceae, que actúan como alomonas para la mayoría de los insectos, pero que son atrayentes, actuando como kairomonas para las especies de *Diabrotica* (Coleoptera: Chrysomelidae) (Frazier y Chyb 1995).

El rol de los fitoquímicos en la interacción insecto-planta es variado y puede involucrar respuestas favorables o desfavorables para la planta, todas ellas in-

teracciones de alta especificidad que se han desarrollado a través del proceso de coevolución (Bernays 2000).

### **Rol del metabolismo secundario en los mecanismos defensivos de las plantas**

Los semioquímicos son sustancias derivadas del metabolismo secundario de la planta. La expresión de metabolismo secundario no refleja su verdadera importancia en la planta, pudiendo causar la impresión errónea de que los compuestos secundarios tienen menor importancia que los primarios, o como se consideró por mucho tiempo, que son de desecho. Sin embargo, muchos de estos compuestos tienen un rol importante en los mecanismos defensivos contra los herbívoros. Por esta razón, suele preferirse la denominación de metabolitos especiales para estos compuestos (Schoonhoven 1981, Schoonhoven *et al.* 1998).

El término metabolito secundario fue creado hace aproximadamente 100 años, para definir compuestos cuya distribución varía ampliamente dentro de las especies vegetales, a diferencia de los metabolitos primarios que están presentes en todas las células vegetales capaces de dividirse; algunos metabolitos secundarios sólo se dan en alguna especie vegetal o en unas pocas íntimamente relacionadas entre sí, llegando a permitir su caracterización quimiotaxonómica (Rhodes 1994, Bennet y Wallsgrove 1994).

Se han recopilado cerca de 3000 metabolitos secundarios de origen vegetal con actividad biológica sobre distintos organismos (Harborne 1993a). Estos compuestos fitoquímicos comprenden una amplia variedad de estructuras químicas, entre las cuales pueden mencionarse a los terpenoides, los alcaloides, los compuestos fenólicos, los azufrados, los iridoides, los esteroides, entre otros (Harborne 1993b, Rosenthal y Berenbaum 1991).

La investigación básica sobre la ecología química de los insectos ha demostrado que la actividad de los metabolitos secundarios es variada y que muchos de ellos poseen actividad biológica sobre los insectos, alterando su alimentación, desarrollo, reproducción o comportamiento (Schoonhoven 1982). Sin embargo, sólo el 10% de las plantas terrestres han sido evaluadas como fuente de aleloquímicos para el control de insectos (Bowers 1993).

### **Contribución fitoquímica al manejo de plagas**

Tradicionalmente, el hombre ha explotado en beneficio propio la capacidad defensiva desarrollada por las plantas a través de la evolución, utilizando partes de éstas en la protección de cultivos (Flores 1993,

Gomero Osorio 1994, Hernández *et al.* 1983, Hernández 1985, Leskinen *et al.* 1984, Polonsky 1975, Rodríguez Hernández 1996). Es lo que ocurre con el nim, el piretro (*Tanacetum (Chrysanthemum = Pyrethrum) cinerariaefolium* Asteraceae), el timbó (*Derris* sp.) y *Lonchocarpus* sp. ambas de la familia Fabaceae y el tabaco (*Nicotiana tabacum* Solanaceae), entre otras (Hernández Escalona *et al.* 1999, Stoll 1986). Estas plantas contienen azadirachtina, piretrinas, rotenona y nicotina, respectivamente y aunque el conocimiento de cuáles son las estructuras químicas de las sustancias que las hacen insecticidas es nuevo, su utilización data desde la antigüedad, y actualmente se las produce a nivel comercial, por lo cual se analizan a continuación:

#### **Nim**

En India y Pakistán, las hojas secas del nim son aún usadas por los campesinos para evitar el ataque de plagas, colocándolas mezcladas con el grano en las bolsas estibadas (Ahmed *et al.* 1983).

Los componentes activos del árbol del nim están en la corteza, las hojas y frutos (Fig.1) pero especialmente, en las semillas de esta especie. Esta especie contiene 64 triterpenoides además de alcaloides (Addor 1995). Los componentes más importantes son azadirachtina, un triterpenoide, salanina y melianrol (Schmutterer 1990).

La actividad biológica de estos compuestos es variada, incluyendo efectos tales como fagodisuasión, regulación del crecimiento, inhibición de la oviposición y esterilización. El principal componente activo del nim, la azadirachtina, posee excelente actividad como insecticida y nematocida, (Arpaia y van Loon 1993, Blaney *et al.* 1994, Isman 1993, Mark Lee *et al.* 1991) ya que, entre otras propiedades, es antagonista de la ecdisona (Tomlin 1997). Es efectivo tanto contra insectos con aparato bucal masticador, por ejemplo las larvas de *Liriomyza* sp. (Diptera, Agromyzidae) (Larew *et al.* 1985) y contra especies con aparato bucal picador, por ejemplo los áfidos (Lowery *et al.* 1993). En el caso de los cicadélidos y delfácidos, vectores de virus en plantas, al disminuir su alimentación, se reduce la posibilidad de transmisión de virus persistentes y semipersistentes (Saxena *et al.* 1987). Al evaluar su actividad sobre los polinizadores, se ha determinado que los insecticidas a base de nim en dosis utilizadas para controlar insectos herbívoros no afecta a los polinizadores (Naumann *et al.* 1994).

Actualmente, los componentes activos del nim se comercializan bajo diferentes nombres, tanto como extractos naturales como en formulaciones con azadirachtina natural, ya que debido a la complejidad de su

estructura química, aún no se ha logrado la síntesis total del compuesto para su utilización como insecticida. Es ventajoso por su baja toxicidad, siendo la  $DL_{50}$  en ratas de 5000 mg/kg (Tomlin 1997).

### **Piretro**

De las flores y hojas de ésta y otras especies del género *Tanacetum* se extraen las piretrinas, ésteres mono-terpénicos del ácido crisantémico (piretrinas, cinerinas y jasmolinas), todas con acción insecticida (Pascual-Villalobos 1996). Estas sustancias son neurotoxinas cuyo sitio de acción primario son proteínas receptoras de los canales de sodio de la membrana nerviosa. Al inducir actividad repetitiva en los nervios, en lugar de impulsos simples, las piretrinas alteran todo el sistema nervioso, causando incoordinación, hiperexcitación y parálisis (Lagunes -Tejeda y Villanueva-Jiménez 1994).

El polvo de las flores secas se conocía con el nombre de Polvo Insecticida de Persia y a inicios del siglo XIX se introdujo en Francia, Estados Unidos y Japón. A partir de 1930 comenzó a cultivarse en África del Este, en 1950 en Ecuador y Papúa, Nueva Guinea, y desde 1980 en Australia. Se lo comercializó bajo diferentes nombres, formulado junto con butóxido de piperonilo para inhibir su detoxificación por el insecto (Tomlin 1997).

El piretro controla una gran variedad de insectos, tanto domésticos como de importancia agrícola, masticadores y picadores. Debido a su baja toxicidad para mamíferos, porque se degrada rápidamente en el estómago ( $DL_{50}$  en ratas machos: 2370 mg/kg y en rata hembra 1030 mg/kg) y a su baja persistencia en el ambiente porque se degrada rápidamente por la luz, se utiliza en producción orgánica a pesar de su costo de producción (Tomlin 1997).

El conocimiento de la actividad insecticida de estas piretrinas naturales permitió el desarrollo de los insecticidas piretroides sintéticos, los cuales se comenzaron a utilizar a finales de los años 40, pero cobraron gran importancia a partir de los 70's, con la aparición de los compuestos fotoestables, desplazando en gran parte a las piretrinas naturales (Bowers 1993).

### **Timbó y *Lochocarpus***

Estas especies contienen rotenona, un compuesto fenólico de tipo flavonoide que inhibe el transporte de electrones en la cadena respiratoria de las mitocondrias, bloqueando la fosforilación oxidativa del ADP que conduce al ATP. Los insectos envenenados por rotenoides tienen síntomas diferentes de los ocasionados por los productos que actúan sobre el sistema nervio-

so. La rotenona produce en los insectos disminución en el consumo de oxígeno, depresión en la respiración y en el ritmo cardíaco con subsecuente parálisis y muerte (Lagunes -Tejeda y Villanueva -Jiménez 1994).

Las plantas que contienen rotenona fueron utilizadas originalmente por los indígenas para narcotizar los peces, sumergiendo sus ramas en los lagos, para pescarlos más fácilmente. Posteriormente, se las incorporó al uso popular como insecticidas. En China se emplea desde hace mucho tiempo un cocimiento de timbó para el combate de insectos en coles y en los árboles de nuez moscada (Benner 1993).

En 1946, en Estados Unidos se importaban las raíces secas de especies de *Derris* y de *Lonchocarpus* para el control de garrapatas, las cuales se usaban para el baño del ganado ovino y bovino. Estos productos han sido desplazados actualmente por los insecticidas sintéticos (Lagunes -Tejeda y Villanueva -Jiménez 1994).

La rotenona puede extraerse de las raíces de *Derris elliptica* y *D. malaccencia*, especies cultivadas en Malasia, Filipinas e India, así como de *Lonchocarpus micou* y *L. utilis*, cultivadas en Perú, Brasil y Venezuela. La extracción se efectúa mediante solventes orgánicos, obteniéndose un sólido cristalino, la rotenona, cuya estructura se determinó en 1932 (Bowers 1993). Debido a que no posee una toxicidad aguda para mamíferos ( $DL_{50}$  oral aguda en ratas: 135-1500 mg/kg) y a que es fácilmente degradado por la luz y el aire, se lo considera un insecticida seguro. Este es comercializado bajo diferentes nombres para el control de áfidos, gusanos, mosca sierra y ácaros en jardines y huertas (Tomlin 1997).

### **Tabaco**

La nicotina, principio activo del tabaco, fue aislada en 1828, pero su estructura se describió en 1893 y su síntesis se realizó en 1904. Este compuesto fue aislado de quince especies de *Nicotiana*, incluyendo a *N. tabacum* (Lagunes-Tejeda y Villanueva-Jiménez 1994). Del tabaco se extraen 12 alcaloides, entre los cuales figuran la anabasina, 1-nornicotina, nicotinina, y especialmente (S)-(-)-nicotina (Tomlin 1997).

La hoja de tabaco contiene nicotina en concentraciones que oscilan entre 0,5 y 3,0%, pudiendo en algunos cultivares llegar a 10%, los extractos de sus hojas han sido utilizados desde la antigüedad en pulverizaciones para controlar distintos insectos. En pequeñas huertas, por ejemplo, se efectuó el control de pulgones, psílidos, minadores y trips en una amplia variedad de cultivos, remojando hojas de tabaco o restos de cigarrillos junto con jabón (INTA 1993).

La nicotina no está libre en la planta, sino combinada con algunos ácidos originando malatos y citratos. Por ello, para su utilización, se la prepara como sulfato de nicotina 40%, evitándose así su volatilización y disminuyendo la toxicidad hacia el hombre, debido a su toxicidad en mamíferos ( $DL_{50}$  oral en ratas: 50 mg/kg) (Rosenthal y Berenbaum 1991).

Este es un insecticida no sistémico con acción predominantemente respiratoria que actúa mimetizando a la acetilcolina al unirse con el receptor de ésta en la membrana postsináptica de la unión neuromuscular. Se generan entonces impulsos que provocan contracciones espasmódicas, convulsiones y finalmente la muerte (Lagunes-Tejeda y Villanueva-Jiménez 1994).

El uso de este producto fue parcialmente desplazado del mercado por los productos organosintéticos debido a su toxicidad hacia los mamíferos y a que es poco efectivo en climas fríos, pero en producciones orgánicas se utilizan tanto preparados artesanales como productos que se comercializan bajo diferentes nombres (Tomlin 1997).

#### **Papel real y potencial de las sustancias semioquímicas de origen vegetal en MIP**

La utilización de estas sustancias en MIP es variada. El sólo hecho de que una misma sustancia pueda actuar como fagoestimulante para una especie y repeler a otras abre nuevas e interesantes posibilidades (Blum 1981).

En las cucurbitácinas, por ejemplo, terpenoides antes mencionados atraen, actuando como kairomonas, a 41 especies del género *Diabrotica*, mientras que muchos otros insectos las evitan por su toxicidad (Metcalf y Metcalf 1992). Esta propiedad se aprovecha para el control de *Diabrotica*, utilizando la mezcla de carbaril con el polvo de la raíz de *Cucurbita foetidissima* que es atrayente de modo que se requiere una dosis de compuesto tóxico menor a la habitual para su control (Avé 1995, Brust y Foster 1995).

En general, los atrayentes alimentarios no son tan específicos como los sexuales, pero son muy útiles en estudios preliminares debido a su menor costo. Al monitorear la población de la plaga es posible efectuar la aplicación del insecticida cuando ésta alcanza el umbral de daño económico, con lo cual se aumenta el potencial del producto (Cremllyn 1995).

Las kairomonas volátiles pueden utilizarse en MIP como atrayentes de alimentación o de oviposición de parasitoides, tanto para monitorear sus poblaciones como para atraerlos hacia aquellos sitios donde su presencia favorezca el control biológico de una plaga (Hall y Menn 1999). Algunos sistemas de

monitoreo de coleópteros plagas de granos también utilizan kairomonas como cebo atrayente (Obeng-Ofori 1993), así como en sistemas de control y monitoreo de coleópteros que son plagas forestales, basados en el uso de feromonas de agregación combinadas con metabolitos secundarios de origen vegetal que aumentan la acción de la feromona (Ross y Daterman 1995).

Otra aplicación importante de los atrayentes alimentarios es mediante su incorporación en formulaciones con bacterias y virus entomopatógenos que no actúan por contacto, de manera que la presencia del estimulante alimentario favorezca la ingestión del plaguicida biológico y su efecto posterior (Avé 1995).

La identificación química de las kairomonas vegetales que atraen a insectos plaga también puede ser aprovechada para obtener, mediante mejoramiento genético convencional o ingeniería genética, plantas con bajos niveles de estos compuestos, y en consecuencia, con menor atractivo a la plaga (Hall y Menn 1999).

Por otra parte, cuando se trabaja en cultivos donde es importante la producción de semillas y por ende la acción de los polinizadores, se ha visto que atrayentes como el E y el Z citral pulverizados sobre el cultivo pueden aumentar, casi al doble las poblaciones de himenópteros polinizadores. Por el contrario, si previamente a la aplicación de plaguicidas se pulveriza el cultivo con aceite de colza (Brassicaceae) como atrayentes, mezclada con la feromona de alarma de la abeja se conseguirá alejarlas del campo evitando que los insecticidas las afecten (Cremllyn 1995).

También son útiles en el MIP las alomonas, por sus diferentes modos de acción: repelente, fagodisuasivo, disuasivo de oviposición y regulador de crecimiento, entre otros (Warthen y Morgan 1990).

Dentro de los repelentes, las cumarinas, el piperonal, el piperitone y el linalool, compuestos que inducen a la plaga a alejarse de la planta (Frazier y Chyb 1995) son muy efectivos en manejo de hormigas; no obstante, su limitación es la volatilidad (Bowers 1993). Sin embargo, esta dificultad podría solucionarse a través de las tecnologías modernas de formulación de liberación controlada que podrían aumentar su persistencia (Hall y Menn 1999).

En los últimos veinte años, las investigaciones sobre alomonas se han concentrado, especialmente, en el estudio de los fagodisuasivos, compuestos que actúan sobre los receptores gustativos, cancelando la señal en el insecto de iniciar la alimentación, llegando a

ocasionarle la muerte por inanición, aunque permanezca sobre la planta (Frazier y Chyb 1995).

Los fagodisuasivos, al igual que otras alomonas vegetales, tienen la limitante de no encontrarse en su fuente natural en las cantidades económicamente requeridas. Esta situación podría superarse, paulatinamente, mediante la obtención de sustancias análogas sintéticas, que los haga económicamente rentables. Algunos compuestos naturales como la azadirachtina, con propiedades fagodisuasivas y de regulación de crecimiento, tienen moléculas muy complejas, por lo que a pesar del trabajo continuo para desarrollar sintéticamente una estructura química con propiedades semejantes, se la sigue utilizando en forma natural bajo diferentes nombres comerciales. En otros casos, como el del (-) polygodial, metabolito con actividad afidicida, aislado de *Polygonium hydropiper* (Polygonaceae), se ha avanzado en la obtención del isómero (+), que tiene actividad afidicida pero tiene la desventaja de ser fitotóxico. Este ejemplo demuestra que a pesar de sus dificultades, la síntesis de imitadores de alomonas puede permitir la producción de un compuesto eficaz y económico (Cremlyn 1995).

El uso masivo de las sustancias semioquímicas de origen vegetal puede lograrse, principalmente mediante: a) la búsqueda de nuevas formulaciones con microencapsulados que aumentan la persistencia del

compuesto natural y que controlen el grado de liberación del insecticida y b) la ingeniería genética o biotecnología, incorporando genes a la planta. Actualmente, se utilizan plantas transgénicas que contienen genes que codifican la producción de sustancias insecticidas, como la toxina Bt de *Bacillus thuringiensis* en maíz, los inhibidores de proteasa en caupí (CpTi) y hormonas vegetales de tipo citoquinina en *Nicotiana* (Cremlyn 1995, Smigocki *et al.* 1993).

Probablemente, en pocos años existirá la posibilidad de aislar los genes involucrados en la síntesis de metabolitos secundarios producidos por las plantas ante situaciones del estrés causados por herbívoros. La transferencia de genes de las especies vegetales dotadas de estas propiedades, a especies de interés económico que carezcan de ella, permitiría a los cultivos de importancia económica sintetizar y acumular sustancias semioquímicas que ofrezcan protección contra los insectos (Hallahan *et al.* 1992).

En cualquier situación, es indudable que los avances químicos y genéticos abren nuevas posibilidades que ampliarán el papel que las sustancias semioquímicas tienen en el manejo integrado de plagas.

## Agradecimientos

A los Drs. A. Bachmann (FCEN; Univ. Bs. As., Argentina), M. I. Picollo y E. Zerba (CIPEIN, Argentina) por la supervisión y corrección de este trabajo.

## Literatura citada

- Addor, RW. 1995. Insecticides. In Godfrey, CRA. Ed. Agrochemicals from natural products. New York, Marcel Decker. p. 1-62.
- Ahmed, S; Grainge, M; Hylin, JW; Mitchel, WC; Litsinger, JA. 1983. Some promising plant species for use as pest control agents under traditional farming systems. In Intern. Nim Conference (2, 1983, Ravischholzhausen) Proceedings. p. 565-580.
- Andrews, K; Quezada, J. 1989. Manejo de plagas insectiles. Honduras, Esc. Agr. El Zamorano. 623 p.
- Arpaia, S; van Loon, JJA. 1993. Effects of azadirachtin after systemic uptake into *Brassica oleracea* on larvae of *Pieris brassicae*. Entomol. Exp. Appl. 66:39-45.
- Ascher, KRS. 1969. Insect pest control by chemosterilization and other advanced methods (antifeedants, microbial pesticides, etc.). In Act. Congr. Intern. Antiparasitaires. Milan. 22 p.
- Avé, DA. 1995. Stimulation of feeding: insect control agents. In Regulatory mechanisms in insect feeding. New York, Chapman & Hall.
- Beck, SD. 1965. Resistance of plants to insects. Annu. Rev. Entomol. 10:207-232
- Benner, JP. 1993. Pesticidal compounds from higher plants. Pestic. Sci. 39:95-102.
- Bennet, RN; Wallsgrove, RM. 1994. Secondary metabolites in plant defence mechanisms. New Phytol. 127:617-633.
- Bernays, EA. 2000. Plant-insect interactions- A synthesis. Abstr. Book I. XXI Int. Congr. Entom. Brazil. Plenary Lectures VIII-XIII.
- Blaney, WM; Simmonds, MSJ; Ley, SV; Anderson, JC; Smith, SC. Wood, A. 1994. Effect of azadirachtin-derived decalin (perhydronaphtalene) and dihydrofuranacetal (Furo 2,3-b pyran) fragments on the feeding behaviour of *Spodoptera littoralis*. Pestic. Sci. 40:169-173.
- Blum, MS. 1981. Chemical defences of Arthropods. Acad. Press. 562 p.
- Bowers, WS; Fales, HM; Thompson, MJ; Uebel, EC. 1966. Juvenile hormone: identification of an active compound from balsam fir. Science 54:1022.
- Bowers, WS; Nishida, R. 1980. Juvocimenes: potent juvenile hormone mimics from sweet basil. Science 209:1030-1032.
- Bowers, WS. 1993. Phytochemical contributions to pest management. Amer. Chem. Soc. In Lumsden, R; Vaughn, J. Eds. Pest management: Biologically based technologies. Beltsville Symposium XVIII, Agric. Res. Service. U.S. Dep. Agric. Maryland. p. 252-257.
- Brust, GE; Foster, RE. 1995. Semiochemical-based toxic baits for control of striped cucumber beetle

- (Coleoptera:Chrysomelidae) in cantaloupe. *J.Econ.Entom.* 88(1):112-116.
- Cremlyn, RJ. 1995. *Agrochemicals: Preparation and mode of action*:New York, Wiley & Sons. 396 p.
- Dethier, VG. 1970. Chemical interactions between plants and insects. *In* Sondheimer, E; Simeone, JB. Eds. *Chemical ecology*. New York, Academic Press.p.83-102.
- Dethier, VG. 1980. Evolution of receptor sensitivity to secondary plant substances with special reference to deterrents. *Amer.Nat.*115:45-46.
- Dethier, VG. 1982. Mechanism of host plant recognition. *Ent. Exp. Appl.*31:49-56.
- Dethier, VG; Barton Brown, L; Smith, CN. 1960. The designation of chemicals in terms of the responses they elicit from insects.*J.Econ.Entomol.*53:134-136.
- Dicke, M; Sabelis, MW. 1988. Infochemical terminology:based on cost-benefit analysis rather than origin of compounds?. *Functional Ecology* 2:131-139.
- Dietz, FJ; van der Ploeg, F; van der Straaten, J. 1991. Environment policy and the economy. Elsevier. 331 p.
- Eger, H.1937.Ueber den Geschmackssinn von Schmetterlingsraupen.*Biol. Zbl.*57:293-308.
- Flores, E. 1993. El cuidado orgánico de las plantas. *Bibl.Ecología.Planeta Tierra.*144 p.
- Frazier, JL; Chyb, S. 1995. Use of feeding inhibitors in insect control. *In* Regulatory mechanisms in insect feeding. New York,Chapman & Hall. p. 364-381.
- Futuyma, DJ; Keese, MC. 1992. Evolution and coevolution of plants and phytophagous arthropods. *In* Rosenthal Berenbaum, MR. Eds. *Herbivores, their interactions with secondary plant metabolites*. New York,Academy Press.p. 440-47.
- Gomero Osorio, L. Ed. 1994. *Plantas para proteger cultivos; tecnología para controlar plagas y enfermedades*. Lima, Perú, Red de Acción en Alternativas al Uso de Agroquímicos. 239 p.
- Hall, FR;Menn, JJ. 1999. *Biopesticides: Use and delivery*. New Jersey, Human Press. 626 p.
- Hallahan, DL; Picket, JA; Wadhams, IJ; Wallsgorve, RM; Woodcock, C. 1992. Potential of secondary metabolites in genetic engineering of crops for resistance. *In* Plant Genetic manipulation for crop protection. Gatehouse, AMR;Hilder, VA;Boulter,D. Eds. Medisham,Redwood,UK. p.212-248.
- Harborne, JB. 1993a. *Introduction to ecological biochemistry*. London,Acad.Press.
- Harborne, JB. 1993b. *Advances in chemical ecology*. *Nat.Prod. Reports.* 10:327-350.
- Hernández X, E; Insunza M, F; Solano S, CB. 1983. Intentos de control de plagas y enfermedades identificadas en la agricultura tradicional en México.*Revista Chapingo (México)* 40:55-56.
- Hernández X, E. 1985. *Lecturas en Etnobotánica*. México, Colegio de Postgraduados. 188 p.
- Hernández Escalona, M; Fuentes Fiallo, VR; Alfonso Hernández, MM; Avilés Pacheco, R; Perera Aja, ET. 1999. *Plaguicidas naturales de origen botánico*. La Habana, CIDISAV. 105 p.
- INTA. 1993. *Manejo orgánico de la huerta*. Inst. Nac. Tecn.Agrop. y Minist.Salud y Acción Social.Cartilla 6.8 p.
- Isman, MB. 1993. Growth inhibitory and antifeedant effects of azadirachtin on six noctuids of regional economic importance. *Pestic. Sci.*38(1):57-63.
- Karlson, P; Lüscher, M. 1959. Pheromones a new term for a class of biologically active substances. *Nature* 183:155-156.
- Kumul,DE.1983.Búsqueda de plantas silvestres del Estado de Veracruz con propiedades tóxicas contra gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* J.E.Smith y mosquito casero *Culex quinquefasciatus* Say. Tesis. México, Universidad Autónoma de Chapingo. 76 p.
- Lagunes T, A; Arenas L, C; Rodríguez H, C. 1984. Extractos acuosos y polvos vegetales con propiedades insecticidas. México, Colegio de Postgraduados. 203 p.
- Lagunes-Tejeda,A; Villanueva-Jiménez, JA.1994. Toxicología y manejo de insecticidas, México, Col. Postgraduados. 264 p.
- Larew, HG; Knodel-Montz, JJ. Webb, RE; Warthen, JD Jr. 1985. *Liriomyza trifolii* (Burgess) (Diptera,Agromyzidae) control on chrysanthemum by *nim* seed extract applied to soil. *J.Econ.Entom.*78:80-84.
- Law, JH; Regnier, FE. 1971. Pheromones. *Annual Rev. Biochem.*40:533-548.
- Leskinen, V; Polonsky, J; Bhatnagar, S. 1984. Antifeedant activity of quassinoids.*J.Chem.Ecol.*10 (10):1497-1507.
- Lowery, DT; Isman, MB. 1993. Antifeedant activity of extracts from *nim*, *Azadirachta indica*, to strawberry aphid *Chaetosiphon fragaefolii*. *J.Chem.Ecol.*19 (8):1761-1773.
- Mancebo, F; Hilje, L; Mora, GA; Salazar, R. 2000. Efecto de extractos vegetales sobre larvas de *Hypsipyla grandella*. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 55 (1):1-5
- Mareggiani, G. 1996. Semiochemicals: the role of allomones and kairomones in natural crop protection. *Biocontrol* 2 (1):65-70.
- Mareggiani, G; Caffarini, P. 1995. *Tagetes patula* y materia orgánica en el control del nematode agallador en ornamentales. *Gaceta Agronómica* 84:101-105.
- Mareggiani, G; Pelicano, A; Frascina,A; Bilotti, G; Gorosito, N; Zipeto, G. 1996. Actividad in vitro de productos naturales de origen vegetal sobre larvas de *Meloidogyne incognita* (Nematoda,Meloidogynidae).*Revta. Fac. Agron. (Argentina)* 16 (3):141-145.
- Mareggiani G;Leikach,S;Laner,P. 1998. Toxicidad de extractos que contienen metabolitos secundarios de distintos órganos de *Melia azedarach* al nematodo del nudo de la raíz.*Revta. Asoc. Latinoam. Fitopat.*33 (2):122-126.
- Mareggiani, G; Picollo, MI; Zerba, E; Burton, G; Tettamanzi, MC; Benedetti-Doctorovich, MOV; Veleiro, AS. 2000. Antifeedant activity of withanolides from *Salpichroa organifolia* on *Musca domestica*. *Journal Nat.Prod.* 63 (8):1113-1116.
- Mark Lee, S; Klocke, JA; Barnby, MA; Yamasaki, RB; Balandrin, MF. 1991. Insecticidal constituents of *Azadirachta indica* and *Melia azedarach* (Meliaceae). *In* Hendin PA. Ed. *Naturally occurring pest bioregulators* Washington, Am.Chem.Soc.p. 293-304
- Metcalf, RL; Metcalf, ER. 1992. *Plant kairomones in insect ecology and control*.London,Chapman & Hall.168 p.
- Metcalf, RL; Luckmann,WH.1994. *Introducción al manejo de plagas de insectos*. Mexico, Noriega.710 p.
- Metzger, FW; Grant, DH. 1932. Repellency to the Japanese beetle of extracts made from plants immune to attack. *USDA Tech.Bull.*299.
- Naumann, K; Currie, RW; Isman, MB. 1994. Evaluation of the repellent effects of a *nim* insecticide on foraging bees and other pollinators. *Canad.Entom.*126 (2):225-230.
- Nordlung, DA. 1981. Semiochemicals: a review of the



- terminology. *In* Semiochemicals: their role in pest controls. Nordlung, DA; Jones, RL; Lewis, WJ. Ed. London, Wiley. p.13-28.
- Nordlung, DA; Lewis, WJ. 1976. Terminology of chemical releasing stimuli in intraspecific and interspecific interactions. *J.Chem.Ecol.*2:211-220.
- Obeng-Ofori, D. 1993. Behavioural responses of three stored product Coleoptera species to extract of carob (Locust bean), *Ceratonia siliqua*. *Entom.Exp.Appl.*68:9-13.
- Pascual-Villalobos, MJ. 1996. Plaguicidas naturales de origen vegetal: estado actual de la investigación. Madrid. 35 p.
- Polonsky, J. 1975. Quassinoid bitter principles. *Fortyschritte der Chemie Organischer Naturstoffe* 30:101-150.
- Quaraishi, MS. 1977. Biochemical insect control. Its impact on economy, environment and natural selection. New York, Wiley & Sons. 280 p.
- Rhoades, DF. 1985. Offensive-defensive interactions between herbivores and plants: their relevance in herbivore population dynamics and ecological theory. *Amer.Naturalist* 125 (2):205-238.
- Rhodes, MJC. 1994. Physiological roles for secondary metabolites in plants: some progress, many outstanding problems. *Plant Molec. Biol.*24:1- 20.
- Rodríguez Hernández, C. 1982. Búsqueda de plantas nativas del Estado de México con propiedades tóxicas contra gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* J.E.Smith y mosquito casero *Culex quinquefasciatus* Say. Tesis. México, Univ. Autónoma de Chapingo.
- Rodríguez Hernández, C.; Lagunes T, A.; Domínguez R, R. 1982. Búsqueda de plantas nativas del estado de México con propiedades tóxicas contra gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* J.E.Smith, y mosquito casero *Culex quinquefasciatus* Say. *Revista Chapingo (México)* 7 (37-38): 35-39.
- Rodríguez Hernández, C. 1986. Actividad tóxica de *Cestrum* spp. (Solanaceae) en larvas de mosquito casero *Culex quinquefasciatus* Say. (Diptera: Culicidae). Tesis MSc. Chapingo, Mexico, Colegio de Postgraduados. 83 p.
- Rodríguez Hernández, C. 1996. Las propiedades plaguicidas del ajo. *Bol. Fundac. Mexic. para la Educación ambiental. FUNDEA.*1 (3): 7-8.
- Rosenthal, GA; Berenbaum, MR. 1991. Herbivores. Their interactions with secondary plant metabolites. *Acad. Press* 468 p.
- Ross, DW; Daterman, GE. 1995. Response of *Dendroctonus pseudotsugae* (Coleoptera: Scolytidae) and *Thanasimus undalutus* (Coleoptera: Cleridae) to traps with different semiochemicals. *Journ.Econ.Entom.*88 (1):106-111.
- Saxena, RC; Khan, ZR; Bajet, NB. 1987. Reduction of Tungro virus transmission by *Nephotettix virescens* (Homoptera: Cicadellidae) in nim cake-treated rice seedlings. *J.Econ.Entom.*80:1079-1082.
- Schmutterer, H. 1990. Properties and potential of natural pesticides from the nim tree, *Azadirachta indica*. *Annu. Rev. Entom.*35:271-97.
- Schoonhoven, LM. 1981. Chemical mediators between plants and phytophagous insects. *In* Semiochemicals: their role in pest control. Nordlung, DA; Jones, RL; Lewis, WJ. Eds. London, Wiley, p.31-50.
- Schoonhoven, LM. 1982. Biological aspect of antifeedants. *Entom.Exp.Appl.*31:57-69.
- Schoonhoven, LM; Jermy, T; Van Loon, JAA. 1998. *Insect-Plant Biology*. London, Chapman & Hall.
- Slama, K; Williams, CM. 1965. Juvenile hormone activity for the bug. *Proc.Natl.Acad.Sci. U.S.A.*54:411-414.
- Smigocki, AC; Neal, JW; Mc.Canna, IJ. 1993. Plant hormone-mediated insect resistance in transgenic Nicotiana. *In* Pest management biologically based technologies. Lumsden, R; Vaughn, J.L. *Procc. Beltsville Symp. XVIII. Maryland. USA.* p. 378-380.
- Sosa, ME; Tonn, CE; Guerreiro, E; Giordano, OS. 1995. Toxicidad de lactonas sesquiterpénicas sobre larvas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Revista. Soc.Entom.Arg.* 54 (1-4): 83-88.
- Sosa, ME; Guerreiro, E; Giordano, OS; Tonn, CE. 1998. Bioactividad de flavonoides sobre larvas de *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae). *Resúm. IV Cong. Arg.Entom.* p. 253.
- Stoll, G. 1986. Natural crop protection, based on local farm resources in the tropics and subtropics. V.J. Margraf. 186 p.
- Thompson, JN. 1988. Coevolution and alternative hypotheses on insect/plant interactions. *Ecology* 69 (4):893-895.
- Tomlin, CDS. Ed. 1997. *The pesticide manual. A world compendium*. British Crop Protection Council. U.K. 1606 p.
- Valladares, G; Defago, MT; Palacios, S; Carpinella, MC. 1997. Laboratory evaluation of *Melia azedarach* (Meliaceae) extracts against the elm leaf beetle (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journ.Econ.Entom.*90 (3):747-750.
- Warthen, JD; Morgan, ED. 1990. Insect feeding deterrents. *In* Morgan, ED; Mandava, NV. Eds. *CRC Handbook of natural pesticides. Insect attractants and repellents*. Florida, CRC Press. p. 23-134.
- Whittaker, RH. 1970. The biochemical ecology of higher plants. *In* Chemical Ecology. Sondheimer, E; Simeone, JB. Ed. New York, Acad. Press. p. 43-70.