



Prof. Dr. Hermann Niemeyer Marich

# **Química Ecológica de las Interacciones entre insectos y plantas**

2003 - Reservados todos los derechos

Permitido el uso sin fines comerciales

**Prof. Dr. Hermann Niemeyer Marich**

# **Química Ecológica de las Interacciones entre insectos y plantas**

En las últimas décadas la dependencia de pesticidas y fertilizantes basados en combustibles fósiles para el control de plagas de los cultivos ha sufrido un dramático incremento. Este aumento en el insumo de agroquímicos no es sustentable en el tiempo, ya que su producción depende de recursos no renovables, contaminan el ambiente, y continuamente surgen razas resistentes de las plagas. Una comprensión más profunda de las relaciones entre una planta hospedera y sus insectos asociados, así como también de los mecanismos de la comunicación intraespecífica en los insectos, puede proveer de alternativas novedosas y de bajo costo para su control.

El Laboratorio de Química Ecológica se ha acercado a este problema a través del estudio de los compuestos químicos involucrados en la interacción entre plantas y áfidos (pulgones), tanto en el ambiente artificial constituido por un cultivo de trigo como en el ambiente natural en el cual los hospederos son especies de plantas nativas, y a través de la búsqueda de nuevos bioinsecticidas en la flora nativa de Chile. Los siguientes están entre los problemas que han sido enfrentados: mecanismos químicos de defensa de plantas contra insectos contra áfidos y factores bióticos y abióticos que los modulan, modificación química de compuestos químicos de plantas y de áfidos para estudiar su modo de acción y para aumentar su actividad, mecanismos de búsqueda del hospedero por parte de los áfidos, mecanismo de la regulación de las poblaciones de áfidos a través de compuestos semioquímicos involucrados en la comunicación intraespecífica, descripción de asociaciones entre áfidos y plantas nativas, estudios fitoquímicos conducentes a insecticidas botánicos. Esta investigación no sólo contribuye a la comprensión fundamental de las relaciones entre insectos y plantas sino que puede generar resultados aplicables en estrategias de control de plagas orientadas hacia una agricultura sustentable.

Las conclusiones principales de nuestro trabajo así como también algunas líneas de investigación a futuro se esbozan más abajo.

**Mecanismos químicos de defensa del trigo contra áfidos : factores bióticos y abióticos que los modulan**

Las plántulas de trigo y de otros cereales contienen ácidos hidroxámicos (Hx), el más abundante de los cuales en trigo es el DIMBOA. Los Hx están presentes en la planta intacta como glucósidos que son hidrolizados por endoglucosidasas cuando el tejido es dañado. Los Hx constituyen un importante mecanismo bioquímico de resistencia del trigo a áfidos, a través de efectos antibiótico y antialimentario. Actualmente, pensamos que la interfaz química entre la planta de trigo y los áfidos es como sigue: los áfidos ingieren principalmente la aglucona de los Hx mientras prueban con sus estiletes a través de las células del mesófilo en búsqueda del floema, y principalmente el glucósido de los Hx cuando se alimentan continuamente del floema. La ingestión de la aglucona aumenta el tiempo que el áfido se demora en llegar hasta el floema (efecto antialimentario). Una vez en el floema, el áfido ingiere glucósidos de Hx. Estos están presente en concentraciones no suficientemente altas como para disuadirlos de alimentarse, pero sí suficientemente altas como para reducir su desempeño (efecto antibiótico).

La mayor parte de los estudios de las interacciones entre áfidos y trigo han sido llevados a cabo usando un sistema bitrófico (planta-herbívoro) bajo condiciones controladas. Sin embargo, los sistemas biológicos naturales involucran interacciones multitróficas que ocurren en condiciones ambientales variables y que dependen de la ontogenia de los organismos en estudio. En consecuencia, hemos re-enfocado los problemas relacionados con los niveles constitutivos e inducidos de Hx tomando en consideración ambientes variables, interacciones multitróficas que incluyen áfidos, predadores, parasitoides y hongos entomopatogénicos, y efectos de la experiencia previa de forrajeo sobre la búsqueda del alimento y el comportamiento alimentario de áfidos.

***Niveles de ácidos hidroxámicos constitutivos e inducidos bajo ambientes variables.*** La herbivoría por insectos puede ocasionar cambios en el metabolismo secundario de una planta (respuestas inducidas) que afecten a los herbívoros. Estos cambios pueden ser localizados o pueden ocurrir en órganos de la planta que no han sido atacados. La mayor parte de los estudios en respuestas inducidas ha considerado escenarios estáticos en los cuales las partes involucradas en las interacciones eran un número fijo de insectos interactuando con una planta o con una parte de una planta en un estado fenológico dado y sujeto a condiciones ambientales fijas. Sin embargo, como ya ha sido mencionado, las interacciones biológicas son fenómenos dinámicos que están sujetos a la modulación por propiedades intrínsecas de los elementos interactuantes y por propiedades del ambiente en el cual ocurren. En vista de esto y dado que ya hemos encontrado que la infestación por áfidos puede aumentar los niveles de Hx en trigo, hemos caracterizado mejor las defensas constitutivas e inducidas bajo diferentes escenarios bióticos y abióticos estimando el efecto de esas respuestas inducidas en el comportamiento y desempeño de áfidos y estimando la relación costo/beneficio de las diferentes estrategias de defensas de una planta de trigo.

***Interacciones multitróficas que involucran a áfidos, predadores, parasitoides y hongos entomopatogénicos.*** La resistencia de una planta hospedera y el control biológico con enemigos naturales de los insectos herbívoros son dos de los componentes principales de las estrategias de control integrado de plagas. La utilización de estos enfoques en diferentes sistemas agrícolas provee evidencias que ellos pueden actuar antagonísticamente y también sinérgicamente. En consecuencia, la implementación de estrategias de control de áfidos basadas en el aumento de la resistencia natural de los cereales a través de un aumento en su

concentración de Hx, debe considerar el efecto de los Hx sobre enemigos naturales de los áfidos. Un estudio del efecto de los Hx sobre el desempeño de un coccinélido depredador concluyó que niveles más altos de Hx en el trigo potenciarían los efectos benéficos del predador. Este fue el primer sistema descrito en el cual ocurría sinergismo entre el metabolismo secundario de la planta y el control biológico. Hemos evaluado también el efecto de los Hx sobre la oviposición por un parasitoide de áfidos y examinado los efectos de los Hx sobre el desarrollo de un hongo entomopatógeno.

***Efecto de la experiencia previa de forrajeo sobre el comportamiento de búsqueda y alimentación de áfidos.*** El condicionamiento a una planta hospedera de insectos fitófagos juega un papel importante en el comportamiento de búsqueda del hospedero, habiéndose demostrado una preferencia aumentada por un hospedero después de que el insecto había sido acondicionado en él. Ya que los olores de la planta hospedera son importantes en el reconocimiento de ellas por un áfido, hemos explorado la relación que puede existir entre el conocimiento por el áfido de una u otra planta hospedera y su preferencia posterior por olores de ellas. Más aún, la aceptación de un hospedero por un áfido se desarrolla durante pruebas que involucran la penetración de sus estiletes dentro de los tejidos de la planta. Estos patrones de alimentación pueden ser descritos a través de gráficos de electropenetración. Hemos probado el efecto de la experiencia en el comportamiento alimentario y el desempeño de áfidos que han sido sujetos a experimentos de transferencia entre plantas hospederas. Finalmente, ya que los compuestos secundarios en plantas pueden cambiar el comportamiento de insectos herbívoros, hemos explorado los cambios que ocurren en diversos parámetros en los gráficos de electropenetración de áfidos en plantas que diferían en contenidos de Hx.

***Modo de acción de los ácidos hidroxámicos. Relaciones estructura-actividad de análogos del DIMBOA.*** Una aproximación al origen de las propiedades antialimentaria y antibiótica de los Hx está dado por su química en solución, en particular su reacción de descomposición y, su reactividad frente a proteínas. El DIMBOA se descompone a través de una serie de etapas que involucran la apertura del anillo heterocíclico a un aldol, su reacción para formar un isocianato y su posterior ciclación para formar una benzoxazolinona. El DIMBOA reacciona con nucleófilos a través de reacciones de reducción y/o adición. Estas reacciones son responsables de la inhibición de la papaína y la quimotripsina, y presumiblemente, están relacionadas con las interacciones del DIMBOA con receptores gustativos de origen proteico y con enzimas metabólicas en áfidos, lo que daría cuenta de sus propiedades antialimentaria y antibiótica.

Se han sintetizado diversas series de análogos del DIMBOA diseñados con el objeto de establecer los sitios de la molécula responsable de sus diversas actividades biológicas sobre áfidos, y están en estudio su actividad biológica y propiedades químicas.

***Mecanismos de búsqueda de su hospedero por áfidos.*** Los estímulos olfativos juegan un papel preponderante en una gama de procesos claves en la ecología del comportamiento de los áfidos. Por ejemplo, se ha demostrado que procesos tales como la atracción de los áfidos hacia una planta, la migración de los áfidos entre hospederos primario y secundarios, la atracción de individuos de diferentes sexos conducentes al apareamiento, las respuestas defensivas de los áfidos frente a ataques de predadores y parasitoides, están regulados por

compuestos volátiles. Nuestra investigación en este campo se ha concentrado en evaluar la participación de compuestos volátiles en la desagregación de colonias de áfidos una vez que éstas han llegado a un umbral de densidad, habiendo identificado los compuestos responsables del fenómeno en plantas de trigo.

***Asociaciones entre áfidos y plantas bajo condiciones naturales.*** Un trabajo de revisión reciente muestra que el número de especies de áfidos de Chile es muy pobre en relación con áreas del hemisferio norte de un tamaño similar. En particular, sólo 115 especies de áfidos han sido informadas para Chile, con tan sólo 29 representantes nativos, muchos de ellos compartidos con Argentina. Con el objeto de aumentar la escasa información disponible sobre áfidos en ambientes no cultivados, hemos emprendido trabajos de campo para buscar áfidos que vivan en plantas hospederas nativas. Además estamos investigando los áfidos nativos asociados a la especie de *Nothofagus* (roble, coigüe, raulí, lenga, etc.) típicas del bosque templado del Sur de Chile, desde el punto de vista de la Ecología Química.

Los áfidos tienden a ser especies monófagas. El reconocimiento de una planta como un posible hospedero por un áfido se lleva a cabo a través de una secuencia de eventos que involucran estímulos visuales que operan a distancias relativamente grandes, estímulos olfativos que operan a distancias cortas, y estímulos de contacto y de gusto que operan una vez que el áfido se ha posado sobre la planta. Además de estos estímulos físicos y químicos que se originan en la planta, un áfido puede encontrar su hospedero a través de señales intraespecíficas, es decir, a través de comunicación química con otros individuos de su misma especie. Hemos analizado por cromatografía de capa fina y por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas los metabolitos secundarios internos extraídos de hojas de especies de *Nothofagus* y los volátiles liberados por los árboles. El análisis cladístico de las especies de *Nothofagus* basado en la presencia o ausencia de metabolitos secundarios y volátiles, en relación con datos de distribución de áfidos en ellas, demostró que ambos tipos de compuestos químicos afectaban a las asociaciones entre los áfidos y sus plantas hospederas.

### **Búsqueda de pesticidas en la flora nativa de Chile**

A pesar de que las defensas internas de una planta pueden conducir a beneficios sustanciales tanto económicos como ambientales, la dependencia de insecticidas externos es improbable que desaparezca. Sin embargo, los mismos metabolitos secundarios de plantas pueden conducir al diseño de pesticidas de uso externo ya que su propia actividad puede ser ya valiosa para su aplicación directa o puede ser optimizada a través de modificaciones estructurales, y la comprensión de su papel como compuestos químicos de defensas de la planta desde donde fueron aislados puede proveer de enfoques nuevos en el control de plagas. Hemos emprendido un estudio de la flora nativa de Chile en búsqueda de bioinsecticidas. Inicialmente, aislamos e identificamos una serie de compuestos nuevos de numerosas especies de plantas; más tarde esta búsqueda se realizó en forma focalizada y bioracional. Focalizada pues los esfuerzos se concentraron en plantas con conocido uso en

control de insectos, plantas cuyas propiedades insecticidas eran sospechadas sobre la base de observaciones de campo, y también plantas usadas en medicina tradicional y que en consecuencia tenían antecedentes de ser no dañinas para los seres humanos. Bioracional pues se desarrollaron bioensayos que fueron utilizados para seguir la actividad de los extractos a medida que eran procesados hasta llegar a los compuestos responsables de la actividad. Más de 250 especies de plantas han sido estudiadas, habiéndose encontrado actividades promisorias en alrededor de 15% de ellas. Por ejemplo, se encontró un grupo de naftoquinonas en la especie *Calceolaria andina* (arbusto nativo de Chile que muestra escasa herbivoría), que presentó actividad contra insectos, particularmente insectos que han adquirido resistencia contra todos los pesticidas disponibles comercialmente hasta ahora y una baja toxicidad hacia mamíferos.

### **Planes para investigaciones futuras**

Los compuestos volátiles involucrados en interacciones entre áfidos (tanto de cereales como nativos) y sus plantas hospederas durante la etapa de colonización de ellas, y también en la comunicación intraespecífica en áfidos, así como los metabolitos secundarios internos de la planta involucrados en la aceptación de la planta por los áfidos, continuarán siendo explorados.

En los últimos años el uso de herramientas moleculares para aproximarse a problemas de ecología conductual, biología de poblaciones, biología evolutiva, relaciones filogenéticas, taxonomía y otras, ha aumentado notoriamente. En nuestro laboratorio hemos montado una serie de técnicas de biología molecular que nos están permitiendo la aproximación a problemas tales como: relaciones filogenéticas entre áfidos y plantas nativas, cuantificación de la diversidad clonal de áfidos en campos de trigo bajo distintas condiciones de prácticas culturales, diversidad clonal dentro y fuera de la región de origen de algunas especies de áfidos, optimización de los métodos de control biológico de los áfidos originada en el conocimiento de distintas malezas o cultivos adyacentes como fuentes de enemigos naturales.

El fraccionamiento de extractos de plantas nativas guiado por bioensayos apropiados será continuado. Los bioensayos montados en el Laboratorio de Química Ecológica ponen el énfasis en la actividad de los extractos hacia insectos. Se espera que estos estudios generen compuestos químicos que no sólo sean interesantes desde el punto de vista de su actividad hacia insectos, sino también como fuente de inspiración para químicos sintéticos y biólogos que deseen entender la relación entre la estructura de los compuestos y su actividad biológica.

Actualmente, nuestro laboratorio está idealmente equipado para realizar investigaciones de naturaleza inter y multidisciplinaria incluyendo estudios químicos (análisis de compuestos volátiles y no volátiles en plantas e insectos, aislamiento e identificación de productos naturales bioactivos, síntesis orgánica, estudio de mecanismos de reacciones), estudios entomológicos (comportamiento alimentario de insectos, bioensayos que involucran insectos), y estudios ecológicos (interacciones multitóxicas, estudios de campo).

## Lecturas adicionales

### **"Aspectos ecológicos y moleculares de la interacción entre áfidos y sus plantas hospederas"**

H.M. Niemeyer

*Revista Chilena de Historia Natural*, 65, 103-114, (1992)

### **"Comparison of the effect of hydroxamic acids from wheat on five species of cereal aphids"**

A. Givovich and H.M. Niemeyer

*Entomologia experimentalis et applicata* 74, 115-119, (1995)

### **"Potential of hydroxamic acids in the control of cereal pests, diseases and weeds"**

H.M. Niemeyer and F.J. Pérez

*En: Allelopathy: Organisms, Processes, and Applications*, Inderjit, Dakshini, K.M.M. y Einhellig, F.A. (Eds.)

*American Chemical Society Symposium Series No. 582*, American Chemical Society, Washington, DC, 260-270, (1995)

### **"Biologically active compounds from Chilean medicinal plants"**

H.M. Niemeyer

*En: Recent Advances in Phytochemistry; Phytochemistry of Medicinal Plants*, Arnason J.T., Matta, R. and J.T. Romeo (Eds.)

*Plenum Press, New York*, 29, 137-160, (1995)

### **"Fármacos naturales: cómo buscarlos y proteger la biodiversidad"**

Eisner and H.M. Niemeyer

*Ciencia Hoy* 6, 33-38, (1996)

---

[Facilitado por la Universidad de Chile](#)

Súmese como [voluntario](#) o [donante](#) , para promover el crecimiento y la difusión de la [Biblioteca Virtual Universal](#).

Si se advierte algún tipo de error, o desea realizar alguna sugerencia le solicitamos visite el siguiente [enlace](#).

