

## ARTÍCULO ORIGINAL

# ARTRÓPODOS CHUPADORES DE SAVIA Y MECANISMOS PARA SU ADAPTACIÓN A NICHOS DEFICIENTES EN NUTRIENTES

Magnolia del Pilar Cano Ortiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Profesora Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Candidata a Doctorado en Agroecología.

### Introducción

La sanidad vegetal es un reflejo de las características del medio en el que se establecen los cultivos agrícolas, ya que dada la condición del continuum suelo - planta se desarrollan nichos que favorecen la formación de una trama biológica más o menos diversa dependiendo de muchos factores naturales o inducidos. Se debe entender entonces que los problemas fitosanitarios se presentan e intensifican cuando confluyen condiciones agroambientales en hospedantes susceptibles bajo un manejo agronómico dado, que facilita su proliferación. Por esto, el manejo se debe orientar hacia la identificación de las causas que generan el desbalance del sistema para restablecerlo y minimizar así la aplicación de medidas paliativas.

Particularmente para un grupo de artrópodos chupadores, incluyendo los ácaros e insectos (Hemiptera: Sternorrhyncha) se ha encontrado que una de las causas que induce el incremento de las poblaciones es el desbalance nutricional en el que se establece la planta, que altera su fisiología. Este fenómeno conocido como “trofobiosis” se refiere al incremento de aminoácidos libres y carbohidratos simples en la savia, debido a la incorporación de moléculas solubles al sistema vascular que altera su equilibrio dinámico.

Es necesario entonces, profundizar en la comprensión de los procesos nutricionales involucrados en la relación suelo - planta - insecto - complejo simbiote bacteriano, para entender una de las causas que inciden en el incremento poblacional de artrópodos chupadores de savia; ya que el desconocer la causa del problema lleva al agricultor a la aplicación de medidas paliativas, con consecuencias económicas, sociales y ambientales.

Generalmente los estudios se han centrado en entender la relación planta - insecto, sin embargo, la trama es más compleja porque se requiere incluir la interacción con el endosimbiote y el efecto de la nutrición de la planta en cuanto a fuentes, dosis y proporción de nutrimentos y relacionarlos con el potencial biótico.

### **Relación entre la nutrición y fisiología de la planta y los artrópodos chupadores de savia**

El término “*trofobiosis*” para definir una dependencia nutricional entre dos organismos; donde las interacciones de las especies desarrollan un proceso de coevolución descrito como “*asociación simbiótica*”; está representada principalmente en la relación hormiga - áfido. En ese sentido Delabie y Fernández (2003) hacen una revisión minuciosa sobre el tema.

Sin embargo, el científico Francis Chaboussou relacionó las observaciones que varios autores reportaban entre la incorporación de moléculas solubles a la planta y los incrementos poblacionales de organismos fitófagos; donde moléculas muy solubles en el sistema vascular

alteraban los procesos bioquímicos de la planta; que finalmente lo llevó a enunciar la teoría de la “Trofobiosis”; según este postulado enunciado en 1969 “*una planta nutricionalmente equilibrada produce suficientes moléculas complejas como almidón y proteínas que le confieren firmeza y capacidad para mantener un metabolismo armónico donde síntesis (anabolismo) y lisis (catabolismo) mantienen un equilibrio dinámico*” (Chaboussou 1999).

Según Wagner (2006) hay dos reservorios de aminoácidos, uno como precursor de moléculas proteicas (síntesis) y otro que contiene aminoácidos que provienen de la reconversión de proteínas (lisis). Además de ser precursores de proteínas también son intermediarios en la síntesis de otros constituyentes celulares y sufren una intensa reconversión durante el desarrollo fenológico de la planta, lo que hace que ciertos estados fenológicos sean más susceptibles a la acción de los parásitos. Durante la germinación, las proteínas de reserva de la semilla proporcionan carbono y nitrógeno para la síntesis de los aminoácidos y las proteínas celulares necesarias para el desarrollo de las plántulas. Del mismo modo durante la maduración cuando las semillas pasan a formar las proteínas de reserva presentan una composición de aminoácidos diferente. Esto también sucede durante la producción de brotes y floración. Durante la senescencia los carbohidratos simples, el nitrógeno libre y los aminoácidos se acumulan nuevamente en la savia, dando condiciones adecuadas para el establecimiento de los organismos descomponedores.

Para los artrópodos chupadores de savia en condiciones de un balance nutricional equilibrado, la planta puede sinteti-

zar moléculas complejas como almidón, lignina y celulosa, brindando defensas naturales; aunque naturalmente hay fases en el proceso de desarrollo de la planta donde se presentan desbalances fisiológicos como en la germinación, floración, maduración etc., lo que implican una redistribución de nutrientes, que hacen a la planta más susceptible a la acción de parásitos.

Sin embargo, muchas acciones antrópicas pueden incidir en la susceptibilidad de las plantas debido a la aplicación de moléculas altamente solubles que se incorporan al metabolismo y afectan su fisiología, incluyendo los componentes de productos de síntesis química como insecticidas, nematicidas, fungicidas, herbicidas, fitohormonas y fertilizantes solubles, que incrementa en los fluidos de la planta moléculas como aminoácidos libres en vez de moléculas complejas como proteínas o carbohidratos simples como la glucosa en lugar de azúcares más complejos como polímeros de glucosa, almidones y otros polisacáridos que crean un entorno atractivo para los ácaros e insectos de hábito chupador (Chaboussou 1997, Paull 2007).

Este efecto, además de los ácaros en general, también se reporta en insectos de las superfamilias: Aleyrodoidea, Aphidoidea, Coccoidea, Phylloidea, como en psílidos (Hemiptera: Psyllidae), cicadélidos (Hemiptera: Cicadellidae), cóccidos (Hemiptera: Coccidae) y áfidos (Hemiptera: Aphididae), (Marschner 1995).

Se ha encontrado que tanto las fuentes, dosis y proporción de nutrimentos suministrados e incorporados al sistema vascular de la planta y los desbalances que se generan principalmente entre las

formas de nitrógeno ureico ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , nítrico ( $\text{N}\text{-NO}_3^-$ ) y amoniacal ( $\text{N}\text{-NH}_4^+$ ) y su interacción con iones como potasio (K), fósforo (P), calcio (Ca) y azufre (S) se manifiestan en aspectos de la planta como alteración del patrón de crecimiento, senectud, grosor de las células epidérmicas, grado de lignificación así como la concentración de azúcares simples y aminoácidos libres de la savia, pero también afecta la síntesis de metabolitos secundarios que perturban los mecanismos de resistencia de la planta, haciéndola más propensas a los parásitos (Marschner 1995).

En los insectos chupadores de savia los desbalances nutricionales del hospedante pueden inducir alteración del potencial biótico, número de posturas por hembra, aceleración del ciclo de vida y mayor longevidad, ocasionando en la población un crecimiento desmesurado. Esto se evidencia principalmente en artrópodos oportunistas o con estrategia "R" pero particularmente en insectos Hemiptera: Sternorrhyncha que se alimentan de la savia del floema, que establecen relaciones obligadas con organismos endosimbióticos, los que les elaboran y suministran los aminoácidos esenciales, que para el caso de los áfidos son bacterias del género *Buchnnera*. Se ha encontrado que ésta es una de las razones del éxito, lo que permite al áfido adaptarse a un nicho poco asequible como la savia del floema.

#### **La savia del floema, sustrato nutricional para algunos artrópodos**

Según Douglas (2006), la savia elaborada es un fluido muy concentrado, el 90% corresponde a carbohidratos simples principalmente sacarosa y en

menor proporción glucosa y fructosa, pero también contiene aminoácidos, amidas, nucleótidos, ácidos orgánicos e inorgánicos aunque en concentraciones más bajas. Según varios estudios el insecto alcanza a aprovechar el 10% del total de savia que ingiere; el excedente es expulsado en forma de gotas de melaza, que además contienen gomas y dextrinas.

Para superar las limitaciones de los bajos contenidos nutricionales, los artrópodos chupadores de savia tienden a consumir altos volúmenes del fluido y lo procesan en su interior por medio de la asociación con endosimbiontes obligados, que en el caso de los áfidos, es la bacteria del género *Buchnera*, lo que les permite adaptarse a un nicho especializado (Moran et al. 2005).

Douglas (2006) considera que los áfidos deben superar dos barreras en su proceso de alimentación, la del nitrógeno y la del azúcar. En el primer caso los insectos están limitados por el nitrógeno en dos formas, la cantidad de nitrógeno disponible en la savia y su calidad o composición. El problema de la calidad surge porque los artrópodos carecen de la capacidad de sintetizar diez de los veinte aminoácidos que forman las proteínas, lo que hace que la tasa de crecimiento y desarrollo de los áfidos sea insuficiente, pero la asociación con la bacteria *B. aphidicola* les permite superar la barrera de déficit de nitrógeno. Según la misma autora, en la barrera del azúcar, debido a su alta concentración en la savia del floema, se genera una presión osmótica entre 2 y 5 veces mayor que en los fluidos del cuerpo del insecto, pero los áfidos superan la barrera del azúcar por osmorregulación, esto se evidencia

en la menor presión osmótica de la miel de rocío y en la hemolinfa del insecto en relación a la savia del floema; y la forma como se supera esta barrera es transformando carbohidratos simples en oligosacáridos para reducir la presión del contenido intestinal.

Cole (1997) considera que el contenido de aminoácidos de la planta puede influir en el crecimiento y reproducción de los áfidos. Hay dos tipos de aminoácidos, los esenciales que sintetiza el organismo a partir de diferentes productos del metabolismo intermedio, principalmente a partir de lípidos y glucósidos existentes. En áfidos se han identificado como aminoácidos no esenciales alanina, asparagina, ácido aspártico, cistina, ácido glutámico, glutamina, glicina, prolina, serina y tirosina (Strong y Sakamoto 1963; Mittler 1971) y los esenciales son los que el organismo sintetiza a partir de la dieta; en los áfidos el complejo endosimbiótico los sintetiza a partir de la savia ingerida por el insecto. (Strong y Sakamoto 1963, Mittler 1971).

### **Los carbohidratos de la savia, la hemolinfa y la miel de rocío**

Los compuestos dominantes en la savia de floema son azúcares derivados de fijación de carbono fotosintético. En muchas plantas la mayor parte de los carbohidratos están en forma de sacarosa, disacárido químicamente estable y de baja viscosidad (Douglas 2006). Las concentraciones varían entre 10 y 25% (Jacques y Auclar 1963; Douglas 2006), mientras que la hemolinfa de los áfidos está conformada principalmente por trehalosa y de pequeñas trazas de glucosa, sacarosa y fructosa, lo que sugiere que los monosacáridos tomados de la

savia son convertidos inmediatamente a trehalosa (Moriwaki et al. 2003), y la composición de la miel de rocío es una solución concentrada de sustancias azucaradas generadas al interior del insecto chupador por la acción conjunta de los organismos simbioses que procesan la savia elaborada obtenida de la planta hospedante y excretada por órganos adecuados, en el caso de los áfidos por el ano (Douglas 2006).

Así mismo se han identificado 12 compuestos entre los aminoácidos y amidas que se encuentran en la miel de rocío con mayor frecuencia, alanina, asparagina, ácido aspártico, glutamina, ácido glutámico, leucina, fenilalanina, prolina, serina, treonina y valina; que también se presentan libres en la savia del floema de muchas plantas. Además se reportan otros compuestos de la miel de rocío como ácido cítrico y citrato de disodio, ácidos cítrico, málico, succínico, fumárico, isocítrico y carboxílico, pirrolidona, fosfato, cloruro de nitrato, azufre y amoníaco (Jacques y Auclar 1963).

Según Adams y Douglas (1997), la composición de aminoácidos de la miel de rocío es más equilibrada que la savia del floema, porque los áfidos sintetizan los aminoácidos no esenciales, el simbionte *B. aphidicola* suministra los aminoácidos esenciales y sólo dos de los aminoácidos no esenciales serina y ácido aspártico, son enriquecidos proporcionalmente en la miel de rocío en comparación con la savia del floema, aunque esta afirmación no se puede generalizar.

**Asociación entre áfidos (Hemiptera: Aphididae) y el complejo endosimbionte bacteriano como mecanismo para superar las barreras nutricionales**

La interacción afido - complejo endosimbionte bacteriano, bacteriocito, bacterioma, bacteria, es compleja e interdependiente; el áfido obtiene de la savia del floema la materia prima para que la bacteria endosimbionte *B. aphidicola* elabore parte de los aminoácidos esenciales, pero además en la interface entre la pared celular de la bacteria endosimbiótica y el bacteriocito se metabolizan algunos aminoácidos que cumple con otras funciones como transporte intra o intercelular, actividad antibacteriana y median en el intercambio de los diferentes metabolitos y sustratos (Hansen y Moran 2011).

Aunque el genoma de *B. aphidicola* tiene mecanismos para codificar la mayoría de genes para la biosíntesis de aminoácidos esenciales, faltan varios genes para la producción de aminoácidos no esenciales. Esto se ha resuelto al complementar la dieta con el suministro de nitrógeno para la biosíntesis de aminoácidos de reciclaje de residuos de amoníaco (Hansen y Moran 2011).

El bacteriocito regula dos genes, glutamina sintetasa y glutamato sintetasa, que potencialmente trabajan juntos en la incorporación de nitrógeno (amonio) en el ciclo de glutamato (GOGAT) para asimilar el amoníaco; por lo tanto, la capacidad de expresión del gen del simbionte y del hospedante están estrechamente integrados dentro del bacteriocito y funcionan como órganos especializados en la producción de aminoácidos. El ciclo del glutamato puede ser una fuente clave de nitrógeno que alimenta el metabolismo de aminoácidos de la relación áfido - *B. aphidicola* (Baumann et al. 1995, Hansen y Moran 2011).

En síntesis, es necesario entender que los problemas fitosanitarios son indicadores de las condiciones del medio en el que se establecen los cultivos y más que pensar en aplicar medidas paliativas lo que debemos hacer es comprender en forma holística las causas que originan el desbalance para orientar el manejo hacia la recomposición del sistema, por esta razón, se hace necesaria una visión más integradora, que permita el estudio científico de los procesos que influyen e inciden en la distribución y abundancia de los organismos para brindar soluciones que sean económicamente viables, ambientalmente sanas y socialmente justas.

## Bibliografía

- Adams D, Douglas AE. 1997. How symbiotic bacteria influence plant utilisation by the polyphagous aphid, *Aphis fabae*. *Oecologica*. 110: 528-532.
- Baumann P, Baumann L, Lai C-Y, Rouhbakhsh D, Moran NA, Clark MA. 1995. Genetics, physiology and evolutionary relationships of the genus *Buchnera*: Intracellular symbionts of aphids. *Annual Review of Microbiology*. 49: 55-94.
- Chaboussou F. 1999. Plantas Doentes pelo uso de Agrotóxicos (A Teoria da Trofobiose). 2ª. ed., Porto Alegre: L&PM. 272p.
- Chaboussou F. 1997. La teoría de la trofobiosis, nuevos caminos para una agricultura sana. GAIA medio ambiente y desarrollo S.A.C.; Centro de Agricultura Ecológica C.A.E., Instituto de dSarrolo del Medio Ambiente
- IDMA. 31 p. Consultado febrero de 2011 [en línea]. Disponible en <http://www.bvcooperacion.pe/biblioteca/bitstream/123456789/7004/3/BVCI0006390.pdf>.
- Cole RA. 1997. The relative importance of glucosinolates and amino acids to the development of two aphid pests *Brevicoryne brassicae* and *Myzus persicae* on wild and cultivated brassica species. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 85: 121-133.
- Delabie JHC, Fernández F. 2003. Relaciones entre hormigas y homópteros (Hemiptera: Sternorrhyncha y Auchenorrhyncha) Cap.11 pag. 181-197. En: Introducción a las hormigas de la region Neotropical. F. Fernandez (ed) Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá Colombia. 398 p.
- Douglas AE. 2006. Phloem-sap feeding by animals: problems and solutions. *Journal of Experimental Botany*. 57(4): 747-754.
- Hansen AK, Moran NA. 2011. Aphid genome expression reveals host-symbiont cooperation in the production of amino acids. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 108 (7): 2849-2854.
- Jacques BY, Auclar L. 1963. Aphid feeding and nutrition. *Annual Review of Entomology*. 8: 439-490.
- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Academic Press. Pp. 889.
- Mittler TE. 1971. Dietary amino acid requirements of the aphid *Myzus*

*persicae* affected by antibiotic uptake. Journal of Nutrition. 101: 1023-1028.

Moran NA, Tran P, Gerardo NM. 2005. Symbiosis and insect diversification: an ancient symbiont of sap-feeding insects from the bacterial phylum Bacteroidetes. Applied and Environmental Microbiology. 71(12): 8802-10.

Moriwaki N, Matsushita K, Nishina., Kono Y. 2003. High concentrations of trehalose in aphid hemolymph. Applied Entomology and Zoology 38 (2): 241-248.

Paull J. 2007. Trophobiosis theory: A pest starves on a healthy plant. Elementals - Journal of Bio-Dynamics Tasmania. 88: 20-24.

Strong FE, Sakamoto SS. 1963. Some amino acid requirements of the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer), determined with Glucose-U-C14. Journal of Insect Physiology. 9: 875-879.

Wagner LP. 2006. The trofobiose theory and organic agriculture: the active mobilization of nutrients and the use of rock powder as a tool for sustainability. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 78(4): 765-779.

