

# Suelos saludables, plantas saludables: la evidencia agroecológica

Clara I. Nicholls y Miguel A. Altieri

En este artículo se sostiene que las prácticas para mejorar la fertilidad de suelos pueden impactar directamente la susceptibilidad fisiológica del cultivo a los insectos plaga, ya sea al afectar la resistencia al ataque de las plantas individuales o al alterar la aceptabilidad de algunas plantas hacia ciertos herbívoros (Altieri y Nicholls, 2003). Varias investigaciones demuestran que la capacidad de un cultivo de resistir o tolerar el ataque de insectos plaga y enfermedades está ligada a las propiedades físicas, químicas y particularmente biológicas del suelo. Suelos con alto contenido de materia orgánica y una alta actividad biológica generalmente exhiben buena fertilidad, así como cadenas tróficas complejas y organismos benéficos abundantes que previenen la infección. Por otro lado, las prácticas agrícolas que causan desbalances nutricionales, como la aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados sintéticos, bajan la resistencia de las plantas a las plagas.

## Fertilidad de suelos y susceptibilidad de cultivos a los insectos plaga

Cualquier factor que afecte la fisiología de la planta (por ejemplo, la fertilización) puede potencialmente cambiar la resistencia a insectos plaga. Las respuestas de los cultivos a los fertilizantes, tales como cambios en las tasas de crecimiento, madurez acelerada o retardada, tamaño de algunas partes de la planta y dureza o debilidad de la cutícula, pueden también influir indirectamente en el éxito de los insectos plaga para utilizar las plantas hospederas. Los efectos de las prácticas de fertilización sobre la resistencia de plantas al ataque de insectos pueden estar mediados por cambios en los contenidos nutricionales de los cultivos. En un estudio comparativo de largo plazo de los efectos de la fertilización orgánica y sintética en el contenido nutricional de cuatro hortalizas: espinaca, papa, zanahoria y col de Milán o repollo crespo (*Brassica oleracea* var. *sabauda*), Schuphan (1974) encontró que, comparadas con cultivos convencionales, las hortalizas orgánicas contenían, consistentemente, bajos niveles de nitratos y altos niveles de potasio, fósforo y hierro, lo que se relacionaba con una menor incidencia de plagas.

La mayoría de los estudios reportan incrementos dramáticos en el número de áfidos (pulgones) y ácaros en respuesta al incremento de las tasas de fertilización nitrogenada. Casi sin excepción, todos los insectos herbívoros asociados a cultivos del género *Brassica* exhiben un incremento en sus poblaciones como respuesta a los incrementos en los niveles de nitrógeno en el suelo (Altieri y otros 1998). En dos años de estudio, Brodbeck y otros (2001) encontraron que las poblaciones de tisanópteros (*Frankliniella occidentalis*), comúnmente también llamados *trips*, fueron significativamente mayores en los tomates que recibieron altas tasas de fertilización nitrogenada.

Revisando 50 años de trabajos de investigación sobre la relación entre nutrición de cultivos y el ataque de insectos, Scriber (1984) encontró 135 estudios que mostraban un incremento en el daño, así como en el crecimiento poblacional de insectos masticadores de hoja o ácaros en sistemas de cultivos fertilizados con nitrógeno, y menos de 50 estudios en los cuales el daño de herbívoros se redujo. Estos estudios sugieren una hipótesis con implicaciones para el patrón de uso de fertilizantes en agricultura: altas dosis de nitrógeno pueden resultar en altos niveles de daño por herbívoros en los cultivos. Como corolario, podría esperarse que cultivos bajo fertilización orgánica serían menos propensos a los insectos plaga y enfermedades dada las menores concentraciones de nitrógeno en el tejido de estas plantas.

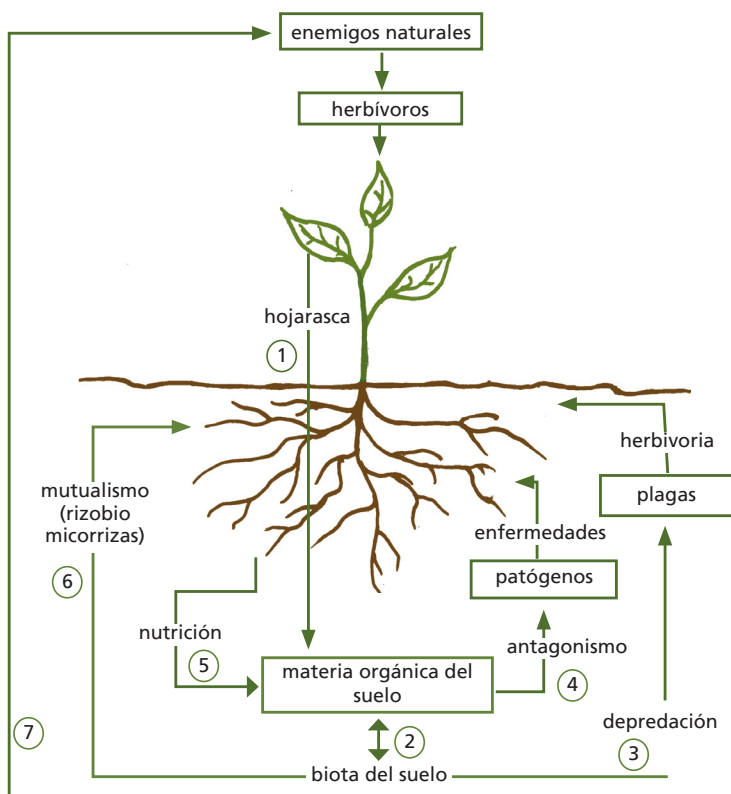


Figura 1. Vías complejas en las cuales la biodiversidad sobre el suelo interactúa en el agroecosistema: (1) residuos del cultivo incrementan el contenido de materia orgánica (SOM); (2) SOM provee el sustrato para la micro, meso y macro fauna del suelo; (3) predadores edáficos reducen las plagas del suelo; (4) SOM incrementa los antagonistas que suprimen patógenos del suelo; (5) mineralización lenta de C y N que activa los genes que promueven la tolerancia de cultivos a enfermedades; (6) mutualistas incrementan la fijación de N, toma de P, eficiencia del uso del agua, etc; (7) ciertos invertebrados (colémbolos y detritívoros) sirven de alimento alternativo a enemigos naturales en épocas de menor incidencia de plagas.

## Dinámica de los insectos plaga en sistemas fertilizados orgánicamente

La menor abundancia de varios insectos herbívoros en sistemas de cultivo orgánico ha sido particularmente atribuida al bajo contenido de nitrógeno de las plantas bajo manejo orgánico. Lo que sugiere que la reducción de las poblaciones de plagas en sistemas orgánicos es, en parte, una consecuencia de los cambios nutricionales inducidos en el cultivo por la fertilización orgánica. Existen muchos ejemplos en los cuales se han registrado bajas poblaciones de insectos herbívoros en sistemas de bajos insumos, con una variedad de propuestas de mecanismos posibles. En Japón, la densidad del cicadélido *Sogatella furcifera* en campos de arroz, la tasa reproductiva de las hembras adultas y la tasa de supervivencia de los estadios inmaduros fueron generalmente menores en sistemas orgánicos que en sistemas convencionales. Consecuentemente la densidad de ninfas y adultos del cicadélido de las generaciones siguientes era menor en los campos de arroz orgánico (Kajimura, 1995). En Inglaterra, los sistemas de trigo convencional presentaron altas infestaciones del áfido *Metopolophium dirhodum*, en comparación con sistemas de trigo orgánico. Los sistemas de trigo fertilizados convencionalmente también presentaron altos niveles de aminoácidos libres en las hojas durante junio, lo que se atribuyó a la aplicación muy temprana de nitrógeno (en abril, al inicio de la estación). Sin embargo, la diferencia en las infestaciones de áfidos o pulgones entre los dos tipos de sistemas fue atribuida a la respuesta de los áfidos a las proporciones relativas de ciertas sustancias no proteicas versus proteicas, presentes en las hojas en el momento de la colonización de áfidos (Kowalski y Visser, 1979). Los autores concluyeron que la fertilización química hizo al trigo más palatable, por lo que se presentaban altos niveles de infestación.

En experimentos bajo invernadero, comparando maíz cultivado en suelos orgánicos con maíz cultivado en suelo fertilizado químicamente se observó que, cuando en el invernadero se liberaban las hembras del barrenador del tallo del maíz (*Ostrinia nubilalis*) para depositar sus huevos, colocaban significativamente más huevos en las plantas fertilizadas químicamente que en aquellas en suelo orgánico (Phelan y otros, 1995). Pero esta variación significativa en la postura de huevos entre los tratamientos fertilizados química y orgánicamente se manifestó solamente cuando el maíz crecía en potes con suelos recolectados de fincas manejadas convencionalmente. En contraste, la postura de huevos fue uniformemente baja en plantas que crecían en potes con suelos colectados de fincas manejadas orgánicamente. Los resultados obtenidos en las fincas mostraron que la varianza en la postura de huevos fue aproximadamente 18 veces mayor entre las plantas bajo suelo manejado convencionalmente que entre las plantas bajo un régimen orgánico. Los autores sugieren que esta diferencia es evidencia de una característica biológica amortiguante que se manifiesta más comúnmente en suelos manejados orgánicamente.

Altieri y otros (1998) encontraron que monocultivos de brócoli fertilizados convencionalmente desarrollaron mayores infestaciones de la pulguilla *Phyllotreta cruciferae* y del áfido *Brevicoryne brassicae* que los sistemas

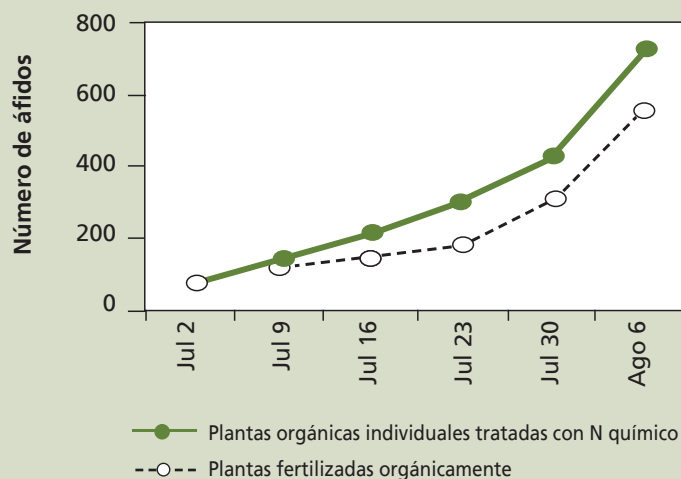


Figura 2. Respuesta de la población de áfidos al tratamiento de plantas individuales de brócoli con fertilizante nitrogenado en un campo manejado orgánicamente en Albany, California (Altieri, datos inéditos)

de brócoli fertilizados orgánicamente. Esta reducción en las infestaciones se atribuyó a los bajos niveles de nitrógeno libre en el follaje de estas plantas. Aplicaciones de nitrógeno químico a plantas individuales de brócoli seleccionadas al azar en un campo orgánico incrementaron las poblaciones de áfidos en estas plantas pero no en las plantas vecinas que habían sido fertilizadas orgánicamente (figura 2). El hecho de que estos insectos sean capaces de discriminar unas pocas plantas fertilizadas químicamente en un campo orgánico apoya la idea de que la preferencia de los insectos plaga puede ser modificada por las alteraciones en el tipo y cantidad de fertilizante usado que, a su vez, altera el balance nutricional de las plantas.

## Interacciones entre la biodiversidad de arriba y abajo del suelo

Las plantas funcionan en un ambiente complejo multitrófico, donde generalmente la flora y fauna del suelo y los organismos de arriba del suelo (cultivos, insectos, etc.) interactúan en redes tróficas complejas, con una serie de interacciones que pueden favorecer o desfavorecer la menor incidencia de plagas (figura 1). Las comunidades arriba del suelo se ven afectadas directa e indirectamente por interacciones con los organismos de la red trófica del suelo (Wardle y otros, 2004). Las actividades de alimentación de los descomponedores o detritívoros (básicamente bacterias y hongos) en la red trófica estimulan el movimiento de nutrientes, la adición de nutrientes por las plantas, y el funcionamiento de las plantas, y es así como indirectamente influyen sobre los insectos que se alimentan de cultivos. Estudios en arroz de regadío en Asia mostraron que la adición de materia orgánica incrementó las poblaciones de detritívoros, los cuales a su vez fomentaban la abundancia de predadores generalistas arriba del suelo (Settle y otros, 1996). Ciertos insectos del suelo como los colémbolos (*Collembola*) son conocidos como presa alternativa para carábidos o escarabajos depredadores cuando las plagas son escasas.

Otros estudios sugieren que la presencia de organismos en el suelo puede inducir mecanismos de defensa contra plagas en las plantas. Por ejemplo, se ha demostrado una

disminución del 82% de las plantas infectadas por nematodos cuando estaban presentes las lombrices de tierra. Aunque las lombrices de tierra no tenían un efecto directo sobre la población de nematodos, con su presencia la biomasa de raíces no se vio afectada por nematodos y la esperada inhibición de la fotosíntesis no ocurrió. Esta es la primera vez que se observa cómo la presencia de lombrices de tierra puede reducir la infestación de nematodos en plantas. Aparentemente, la presencia de lombrices en la rizósfera induce cambios sistémicos en la expresión de ciertos genes de la planta, conllevando a un incremento en la actividad fotosintética y a una mayor concentración de clorofila en las hojas (Blouin y otros, 2005).

### Conclusiones

El manejo de la fertilidad del suelo puede influenciar la calidad de las plantas, la cual a su vez, puede afectar la abundancia de insectos plaga y los consiguientes niveles de daño por herbívoros.

La aplicación de enmiendas minerales u orgánicas en cultivos puede influir de diferente forma sobre la colocación de huevos, las tasas de crecimiento, la supervivencia y la reproducción de insectos que usan estas plantas como hospederas. El incremento de los niveles de nitrógeno soluble en el tejido de las plantas tiende a reducir la resistencia a las plagas, aunque esto puede que no sea un fenómeno universal (Phelan y otros, 1995).

Los fertilizantes químicos pueden influenciar dramáticamente el balance de elementos nutricionales en las plantas, y es probable que su uso excesivo incremente los desbalances nutricionales, lo cual a su vez reduce la resistencia a insectos plaga. En contraste, las prácticas de fertilización orgánica promueven el incremento de la materia orgánica del suelo y la actividad microbiana y una liberación gradual de nutrientes a la planta, permitiendo teóricamente a las plantas derivar una nutrición más balanceada. Así, mientras que la cantidad de nitrógeno inmediatamente disponible para el cultivo pueda ser menor bajo fertilización orgánica, el estado total de la nutrición del cultivo puede que sea mejor.

Phelan y otros (1995) enfatizan la necesidad de considerar otros mecanismos cuando se examinan los vínculos entre el manejo de la fertilidad y la susceptibilidad de los cultivos a los insectos plaga. Sus estudios demuestran que las preferencias en la postura de huevos de los insectos desfoliadores pueden estar influenciadas por las diferencias en el manejo de la fertilidad del suelo. Por lo tanto, los bajos niveles de plaga reportados extensamente en los sistemas orgánicos se deben en parte a la resistencia de las plantas a las plagas, mediada por diferencias bioquímicas o de nutrientes minerales en los cultivos bajo tales prácticas de manejo. En efecto, estos resultados proporcionan una evidencia interesante para apoyar la idea de que el manejo prolongado de la materia orgánica del suelo puede inducir una mayor resistencia de las plantas a los insectos plaga.

Esta visión está corroborada por investigaciones recientes sobre la relación entre los componentes del ecosistema arriba y abajo del suelo, que sugieren que la actividad biológica del suelo es probablemente más importante de lo que hasta ahora se ha reconocido en determinar la respuesta de plantas individuales al estrés (Blouin y otros, 2005), y que esta respuesta al estrés está mediada por una serie de interacciones descritas en la figura 1. Estos hallazgos están mejorando nuestro entendimiento del papel de la biodiversidad en la agricultura, y las relaciones ecológicas entre componentes biológicos arriba y abajo del suelo. Tal entendimiento constituye un paso clave hacia la construcción de una estrategia innovadora de manejo ecológico de plagas que combine la diversificación de cultivos y el manejo orgánico del suelo. ■

### Clara I. Nicholls y Miguel A. Altieri

Department of Environmental Science, Policy and Management. Division of Insect Biology. University of California, Berkeley. 137 Mulford Hall-3114. Berkeley, CA 94720-3114. USA. Correos electrónicos: nicholls@berkeley.edu, agroeco3@nature.berkeley.edu

### Referencias

- Altieri, M.A., Nicholls, C.I., 2003. **Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems.** *Soil and Tillage Research*, 72, 203.
- Altieri, M.A., Schmidt, L.L., Montalba, R., 1998. **Assessing the effects of agroecological soil management practices on broccoli insect pest populations.** *Biodynamics*, 23-26.
- Blouin, M., Zuily-Fodil, Y., Pham-Thi, A.-T., Laffray, D., Reversat, G., Pando, A., Tondoh, J., Lavelle, P., 2005. **Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerance to parasites.** *Ecology Letters*, 8, 202-208.
- Kajimura, T., 1995. **Effect of organic rice farming on planthoppers: Reproduction of white backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae).** *Res. Popul. Ecol.*, 37, 219-224.
- Kowalski, R., Visser, P.E., 1979. **Nitrogen in a crop-pest interaction: cereal aphids.** En: J.A. Lee (ed.). **Nitrogen as an ecological parameter.** Blackwell Scientific Pub., Oxford, Reino Unido.
- Kumar, V., Mills, D.J., Anderson, J.D., Mattoo, A.K., (2004). **An alternative agriculture system is defined by a distinct expression profile of select gene transcripts and proteins.** *PNAS*, 101:1, 10535-10540.
- Phelan, P.L., Mason, J.F., Stinner, B.R., 1995. **Soil fertility management and host preference by European corn borer, *Ostrinia nubilalis*, on *Zea mays*: a comparison of organic and conventional chemical farming.** *Agric. Ecosyst. and Env.*, 56: 1-8.
- Schuphan, W., 1974. **Nutritional value of crops as influenced by organic and inorganic fertilizer treatments: results of 12 years' experiments with vegetables (1960-1972).** *Qual. Plant Plant Foods Human Nutr.*, 23: 333-358.
- Scriber, J.M., 1984. **Nitrogen nutrition of plants and insect invasion.** En: R. D. Hauck (ed.). **Nitrogen in crop production.** American Society of Agronomy, Madison, WI.
- Settle, W.H., Ariawan, H., Astuti, E.T., Cahyana, W., Hakim, A.L., Hindayana, D., Lestari, A.S., 1996. **Managing Tropical Rice Pests Through Conservation of Generalist Natural Enemies and Alternative Prey.** *Ecology*, 77: 1975-1988.
- Wardle, D.A., Bardgett, R.D., Klironomos, J.N., Setälä, H., van der Putten, W.H., Wall, D.H., 2004. **Ecological linkages between aboveground and belowground biota.** *Science*, 304: 1629-33.

Suelos con alto contenido de materia orgánica y una alta actividad biológica generalmente exhiben buena fertilidad