

Manejo de la fertilidad de suelos e insectos plaga: armonizando la salud del suelo y la salud de las plantas en los agroecosistemas

Clara I. Nicholls¹
Miguel Altieri¹

RESUMEN. Los métodos agronómicos como la fertilización de los cultivos pueden afectar la susceptibilidad de las plantas a los insectos plaga a través de la alteración de los niveles de nutrientes en los tejidos. La investigación muestra que la habilidad de un cultivo para resistir o tolerar plagas de insectos o enfermedades está ligada a las propiedades físicas, químicas y principalmente biológicas de los suelos. Los suelos con un contenido alto de materia orgánica y biológicamente activos suelen exhibir una buena fertilidad del suelo. Los cultivos sembrados en tales suelos generalmente presentan poca abundancia de varios insectos herbívoros, reducciones que pueden ser atribuidas a un bajo contenido de nitrógeno en los cultivos en las fincas orgánicas. Por otro lado, el uso de fertilizantes inorgánicos puede causar desbalances nutricionales y disminuir la resistencia de los cultivos a los insectos plaga. Se requieren más estudios de investigación que comparen las poblaciones de insectos plaga en plantas tratadas con fertilizantes sintéticos frente a fertilizantes orgánicos. El entendimiento de los factores que explican por qué la fertilización orgánica mejora la salud de las plantas puede ayudar a orientar el diseño de programas que vinculen el manejo integrado de plagas con el manejo integrado de la fertilidad del suelo.

Palabras clave: fertilidad de suelos, manejo de plagas, agricultura orgánica, nutrición de cultivos.

ABSTRACT. Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. Cultural methods such as crop fertilization can affect plant susceptibility to insect pests via altering plant tissue nutrient levels. Research shows that the ability of a crop plant to resist or tolerate insect pests and diseases is tied to optimal physical, chemical and mainly biological properties of soils. Soils with high organic matter content and active soil biological activity generally exhibit good soil fertility. Crops grown in such soils show lower abundance of several insect herbivores, a reduction that may be attributed to a lower nitrogen content in organically farmed crops. On the other hand, farming practices such as excessive use of inorganic fertilizers, can cause nutrient imbalances and lower pest resistance. More studies comparing pest populations on plants treated with synthetic versus organic fertilizers are needed. Understanding the underlying effects of why organic fertilization appears to improve plant health may lead us to new and better integrated pest management and integrated soil fertility management designs.

Keywords: soil fertility, crop nutrition, pest attack, insect populations, pest management, organic farming.

Introducción

Los agroecosistemas se pueden optimizar a través del manejo de dos pilares: la manipulación del hábitat mediante la diversificación de cultivos, y el mejoramiento de la fertilidad del suelo (Nicholls y Altieri 2005). Este artículo enfatiza el segundo pilar, el mejoramiento de la calidad del suelo a través del incremento de la materia orgánica y la conservación de la biodiversidad del suelo. Tradicionalmente, los componentes de la biodiversidad

por encima y debajo del suelo se han considerado aislados uno del otro; sin embargo, hoy en día se reconoce que están íntimamente relacionados (Wardle et ál. 2004). En efecto, la vegetación parece funcionar como un integrador de los componentes del agroecosistema encima y debajo del suelo, los cuales a pesar de estar espacialmente separados están conectados biológicamente por las plantas. Este reconocimiento de los vínculos entre la biología encima y debajo del suelo constituye un paso clave para diseñar

¹ Department of Environmental Science, Policy and Management. Division of Insect Biology. University of California, Berkeley. 137 Mulford Hall-3114. Berkeley, CA 94720-3114. E.U.A. nicholls@berkeley.edu, agroeco3@nature.berkeley.edu

una estrategia innovadora de manejo ecológico de plagas (MEP).

El MEP considera que los manejos del hábitat encima del suelo y debajo del mismo son estrategias igualmente importantes, pues al fomentar interacciones ecológicas positivas entre suelo y plagas se puede diseñar una manera robusta y sostenible de optimizar la función total del agroecosistema (Figura 1). La integridad del agroecosistema depende de las sinergias entre la diversidad de plantas y el funcionamiento continuo de la comunidad microbiana del suelo sustentada por un suelo rico en materia orgánica (Altieri y Nicholls 1999). A pesar de los vínculos potenciales entre la fertilidad del suelo y la protección de los cultivos, la evolución de los conceptos de manejo integrado de plagas (MIP) y manejo integrado de la fertilidad de los suelos (MIFS) han procedido separadamente (Altieri y Nicholls 2003). Puesto que ya se conoce que muchas prácticas de manejo del suelo influyen en el manejo de plagas, no tiene sentido ecológico continuar con enfoques reduccionistas.

Nuevas investigaciones demuestran que la habilidad de un cultivo de resistir o tolerar el ataque de insectos plagas y enfermedades está ligada a las propiedades físicas, químicas y particularmente biológicas del suelo (Van der Putten et ál. 2001, Kumar et ál. 2004, Blouin et ál. 2005). Los suelos con alto contenido de materia orgánica y una gran actividad biológica por lo general exhiben buena fertilidad, así como cadenas tróficas complejas y organismos

benéficos abundantes que previenen la infección. Por otro lado, las practicas agrícolas que causan desbalances nutricionales disminuyen la resistencia de las plantas a plagas (Magdoff y Van Es, 2000). Además, estudios recientes han demostrado cómo las interacciones bióticas en el suelo pueden regular la estructura y el funcionamiento de las comunidades de plantas encima de este (Wardle et ál. 2004). Así, los componentes de un agroecosistema debajo del suelo pueden ser manejados a través de una serie de prácticas usadas en la agricultura orgánica, ejerciendo un impacto sustancial en la dinámica de las plagas (Altieri y Nicholls 2003). A pesar de que la presión de las plagas es menor en los sistemas orgánicos como resultado del uso de rotaciones y la conservación de la fauna benéfica, dado que no usan pesticidas (Lampkin 1990), hay nuevas evidencias que sugieren que las poblaciones de plagas se pueden reducir aún más al mejorar la biología y la fertilidad de los suelos.

Suelos saludables-plantas saludables

Una forma en la cual el manejo de la fertilidad del suelo puede reducir directamente la susceptibilidad de las plantas a las plagas es a través de su influencia sobre la salud de aquellas (Phelan et ál. 1995). Muchos investigadores y también agricultores han observado que las prácticas de fertilidad que incrementan y mantienen altos contenidos de materia orgánica y que incrementan los niveles de diversidad de la macro y microfauna del suelo proveen

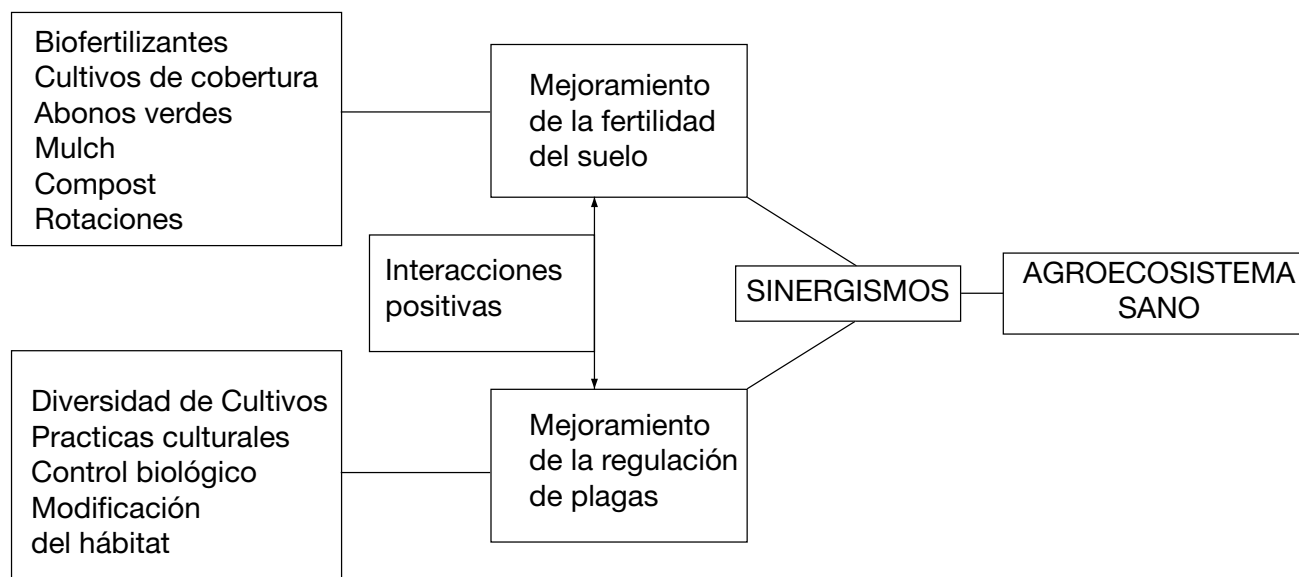


Figura 1. Sinergismos potenciales entre la fertilidad de suelos y el manejo ecológico de plagas.

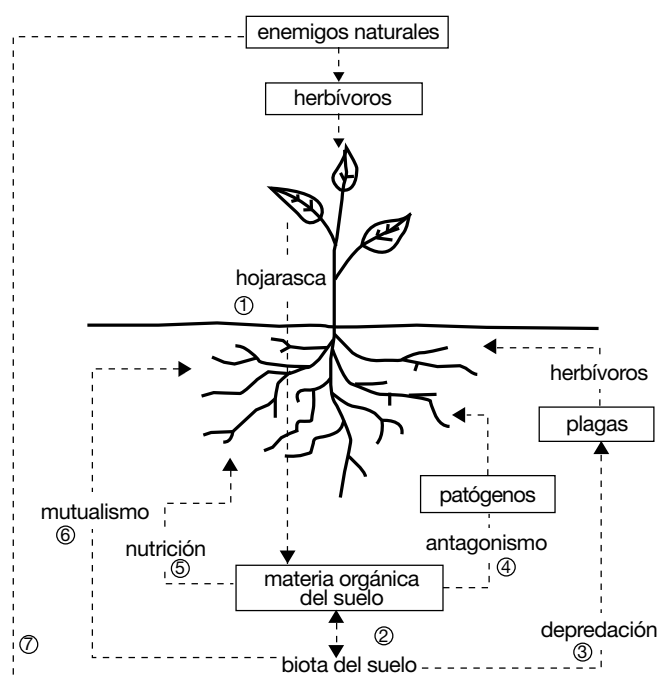


Figura 2. Vías complejas en las cuales la biodiversidad sobre y bajo el suelo interactúa en el agroecosistema: (1) residuos del cultivo incrementan el contenido de materia orgánica (SOM); (2) el SOM provee el sustrato para la micro, meso y macro fauna del suelo; (3) los depredadores edáficos reducen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

un ambiente que, a través de varios procesos, mejora la salud de la planta (McGuinness 1993). Como se discutió anteriormente, la resistencia o tolerancia de las plantas a enfermedades e insectos plagas parece estar estrechamente relacionada a varias propiedades del suelo.

Gran parte de lo que hoy en día conocemos acerca de la relación entre la nutrición de las plantas y la incidencia de plagas proviene de estudios comparativos de los efectos de las prácticas de la agricultura orgánica y los métodos usados en la agricultura convencional sobre poblaciones de plagas específicas (Altieri y Nicholls 2003). Las prácticas para mejorar la fertilidad de los suelos pueden impactar directamente la susceptibilidad fisiológica del cultivo a los insectos plaga, ya sea afectando la resistencia al ataque de las plantas individuales o al alterando la susceptibilidad de algunas plantas hacia ciertos herbívoros (Barker 1975; Scriber 1984). Algunos estudios han mostrado que el cambio de un manejo orgánico del suelo hacia el uso de fertilizantes químicos ha incrementado el potencial de

ciertos insectos plaga y enfermedades. Un hallazgo clave que ha contribuido a construir una base científica para un mejor entendimiento de las relaciones entre la salud de la planta y la fertilidad del suelo fue encontrado en un estudio realizado por científicos del USDA Beltsville Agricultural Research Center (Kumar et ál. 2004), quienes mostraron una base molecular que explica el retardo de la senescencia de las hojas y el incremento de la tolerancia a enfermedades en plantas de tomate bajo una cobertura de *mulch* de una leguminosa (*Vicia* sp.) como sistema de cultivo alternativo, cuando se comparaba con el mismo cultivo convencional bajo una cobertura de polietileno negro. Probablemente dada la liberación de metabolitos de carbono y N de *Vicia* y su descomposición lenta, las plantas bajo la cobertura mostraron una expresión diferente de genes selectos, los cuales promovieron una mayor utilización y movilización del C y el N, promoviendo de esta forma una mayor defensa contra enfermedades y mejorando la longevidad del cultivo. Estos resultados confirman que en la producción de tomate intensivo convencional, el uso de leguminosas como cultivo de cobertura ofrece mayores ventajas como alternativa biológica a los fertilizantes comerciales, además de minimizar la erosión y la pérdida de nutrientes, mejorar la infiltración del agua, reducir la escorrentía y crear una mayor relación “natural” entre depredador y presa.

Interacciones entre la biodiversidad por encima y debajo del suelo

Las plantas funcionan en un ambiente complejo multitrófico y nutritivo. Sin embargo, como discutieron Van der Putten et ál. (2001), la mayoría de los estudios multitróficos se concentran casi exclusivamente en las interacciones encima del suelo, olvidando que la biota edáfica y los organismos que se encuentran encima del suelo (cultivos, insectos, etc.) interactúan en redes tróficas complejas (Figura 2). Varios estudios demuestran que la interdependencia entre la dinámica de la población de herbívoros encima y debajo del suelo y sus enemigos naturales asociados está mediada por respuestas de defensa de diferentes compartimentos de las plantas (encima y debajo del suelo) (Altieri et ál. 2005). Debido a que las defensas químicas de las plantas pueden interactuar de diferentes formas contra los herbívoros y patógenos, un herbívoro de las raíces, por ejemplo, puede inducir la producción de compuestos de defensa en las hojas (Wardle et ál. 2004). No obstante, como argumentan también Van der Putten et ál. (2001), las interacciones entre los compartimentos por debajo y por encima del suelo son aun más complejas. De hecho, la producción de defensas por parte de las plantas —tanto directas como

indirectas— depende de los nutrientes disponibles para las raíces. La evidencia de la existencia de estas interacciones es cada vez mayor.

Un estudio reciente sugiere que la actividad de los organismos por debajo del suelo puede afectar el fenotipo de la planta, induciendo la tolerancia a herbívoros y patógenos (Blouin et ál. 2005). Este estudio demostró una disminución del 82% en la infección por nematodos cuando hubo presencia de lombrices de tierra. Aunque estas no ejercían un efecto directo sobre la población de nematodos, la biomasa de las raíces no fue afectada por nematodos y no ocurrió la esperada inhibición de la fotosíntesis. Aparentemente, la presencia de lombrices en la rizosfera induce cambios sistémicos en la expresión de ciertos genes de la planta, lo cual conduce a un incremento en la actividad fotosintética y a una mayor concentración de clorofila en las hojas (Blouin et ál. 2005). Este estudio sugiere posibilidades interesantes, pero obviamente se requiere investigar mucho más acerca del tema para poder afirmar que la presencia de organismos en el suelo puede inducir mecanismos de defensa contra plagas en las plantas.

Las comunidades por encima del suelo son afectadas directa e indirectamente por interacciones con los organismos de la red trófica del suelo (Wardle et ál. 2004). Las actividades alimenticias de los detritívoros en la red trófica estimulan el movimiento de nutrientes, la adición de nutrientes por las plantas, y el funcionamiento de estas, y es así como influyen indirectamente sobre los insectos que se alimentan de cultivos. Estudios en arroz irrigado en Asia mostraron que la adición de materia orgánica en parcelas experimentales incrementó las poblaciones de detritívoros, los cuales a su vez fomentaban la abundancia de depredadores generalistas encima del suelo (Settle et ál. 1996). En varios cultivos, los insectos del suelo, como *Collembola*, pueden servir como presa alternativa para depredadores como los carabidos cuando los insectos plaga en estos cultivos son escasos (Bilde et ál. 2000).

Por otro lado, la biología del suelo ejerce un efecto directo en las plantas, cuando al alimentarse a través de las raíces estas establecen relaciones mutualistas o antagonicas con organismos del suelo, como las micorrizas. Estas interacciones directas con plantas influyen no solo en el comportamiento de las plantas hospederas, sino también en el de los herbívoros y sus depredadores potenciales. Vestergard et ál. (2004) encontraron que las interacciones entre áfidos y los organismos de la rizosfera estaban influenciadas por el desarrollo de la planta y el estatus de los nutrientes en el suelo. Este es uno de los pocos estudios agrícolas que reportan que las biotas por encima y debajo

del suelo son capaces de influenciarse mutuamente con la planta como ente mediador.

Fertilidad de los suelos y resistencia de las plantas a los insectos plaga

La resistencia de las plantas a los ataques de insectos plaga varía con la edad o el estado de crecimiento de la planta (Slansky 1990), lo cual sugiere que la resistencia está directamente ligada a la fisiología de la planta. Por ello, cualquier factor que afecte la fisiología de la planta (p. ej., la fertilización) puede en potencia cambiar su resistencia a los insectos plaga. Se ha demostrado que la fertilización afecta las tres categorías de resistencia propuestas por Painter (1951): preferencia, antibiosis y tolerancia. Además, las respuestas morfológicas obvias 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, también pueden influir indirectamente en el éxito de los insectos plaga. Por ejemplo, Adkisson (1958) reportó aproximadamente tres veces más larvas de *Anthonomus grandis* en algodón que recibió dosis altas de fertilizantes comparado con sistemas sin fertilización. Klostermeyer (1950) observó que la fertilización nitrogenada incrementó el grosor de la mazorca en maíz dulce, lo cual redujo las infestaciones por *Heliothis zea*. Hagen y Anderson (1967) observaron que la deficiencia de Zn redujo la pubescencia en las hojas del maíz, lo cual permitió un incremento de la alimentación del crisomélido *Diabrotica virgifera*.

Los efectos de las prácticas de fertilización sobre la resistencia de las plantas al ataque de insectos pueden estar mediados por cambios en los contenidos nutricionales de los cultivos (ver también la sección siguiente). Aplicando cantidades equivalentes de N (100 y 200 mg/maceta), Baker (1975) encontró que la concentración de nitratos en las hojas de espinaca fue mayor cuando las plantas recibían nitrato de amonio que las plantas tratadas con cinco diferentes tipos de fertilizantes orgánicos. En un estudio comparativo de fincas orgánicas y convencionales en el mediooeste de los Estados Unidos, Lockeretz et ál. (1981) encontraron que el maíz orgánico tenía niveles más bajos de todos los aminoácidos (excepto metionina) que el maíz de fincas convencionales. Eggert y Kahrmann (1984) también demostraron que los frijoles de fincas convencionales presentaban más proteínas que los de fincas orgánicas. Se encontró que los frijoles convencionales exhibían altos niveles de N en el tejido del pecíolo. Los niveles de potasio y fósforo, sin embargo, eran más altos en los pecíolos de los frijoles orgánicos que en los

convencionales. 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 savoy), Schuphan (1974) encontró que, en comparación con cultivos convencionales, las hortalizas orgánicas contenían niveles bajos de nitratos y niveles altos de potasio, fósforo y hierro.

La investigación demuestra que la fertilidad del suelo puede influir en la habilidad de un cultivo para contrarrestar el ataque de plagas usando diferentes vías. Aunque algunos estudios parecen indicar ausencia de respuesta por insectos picadores o masticadores a la aplicación de fertilizantes (Jansson y Smilowitz 1985), otros (Meyer 2000) sugieren que la disponibilidad de nutrientes en el suelo no solo afecta la cantidad de daño causado por herbívoros, sino también la habilidad de las plantas para recuperarse de la defoliación. El estudio de Meyer (2000) describió los efectos de la fertilidad del suelo sobre el grado de defoliación, así como la compensación de las plantas de *Brassica nigra* como respuesta al daño causado por las larvas de *Pieris rapae*. En este estudio, el porcentaje de defoliación fue dos veces mayor en plantas en suelos con baja fertilización que con alta. Tanto a niveles altos como bajos de fertilidad, el número total de semillas y el promedio de producción de semillas en plantas dañadas fue equivalente a aquellas que no presentaron daño.

Efectos indirectos del N del suelo sobre el daño causado por artrópodos

El N total ha sido considerado un factor nutricional crítico que media la abundancia y el comportamiento de los insectos (Mattson 1980, Scriber 1984, Slansky y Rodriguez 1987). La mayoría de los estudios reportan incrementos dramáticos en el número de áfidos y ácaros en respuesta al incremento de las tasas de fertilización nitrogenada. De acuerdo con Van Emden (1966), el incremento en las tasas de fecundidad y desarrollo del áfido verde de *Myzus persicae* estaba altamente relacionado con el incremento en los niveles de N soluble en los tejidos de la hoja. Varios otros autores también han indicado el incremento de las poblaciones de áfidos y ácaros con la fertilización nitrogenada (Scriber 1984, Luna 1988). Los insectos herbívoros asociados a cultivos del género *Brassica* exhiben un incremento en sus poblaciones como respuesta a los incrementos en los niveles de N en el suelo (Letourneau 1988). En dos años de estudio, Brodbeck et al. (2001) encontraron que las poblaciones de *Frankliniella occidentalis* fueron significativamente más grandes en tomates que recibieron altas tasas de fertilización nitrogenada. Otras poblaciones de insectos que exhiben los mismos patrones

de incremento con la fertilización nitrogenada incluyen *Spodoptera frugiperda* y *Ostrinia nubilalis* en maíz, *H. zea* en algodón, *Pseudococcus comstocki* en manzano, y *Psylla pyricola* en pera (Luna 1988).

Como las plantas son un recurso alimenticio para los insectos herbívoros, un incremento en el contenido de nutrientes de la planta puede tornarlas más apetecibles como recurso alimenticio para las poblaciones de plagas. Las variaciones en la respuesta de los herbívoros a los nutrimentos pueden estar explicadas por diferencias en su comportamiento alimenticio (Pimentel y Warneke 1980). Por ejemplo, con el aumento de las concentraciones de N en plantas de *Larrea tridentata* se encontró un incremento de los insectos chupadores, sin embargo el número de insectos masticadores decreció. Es posible que con altos niveles de fertilización nitrogenada aumente la cantidad de compuestos secundarios que pueden afectar selectivamente a los diferentes herbívoros, en particular, inhibidores de la digestión de proteínas que tienden a acumularse en las vacuolas celulares pueden afectar negativamente a insectos herbívoros masticadores (Mattson 1980).

Tras revisar 50 años de investigación que relaciona la nutrición de los cultivos con el ataque de insectos, Scriber (1984) encontró 135 casos que mostraban un incremento en el daño y/o el crecimiento poblacional de insectos masticadores de hoja o ácaros en sistemas de cultivos fertilizados con N, y menos de 50 casos donde el daño por herbívoros se redujo. Estos estudios sugieren una hipótesis con implicaciones para el patrón de uso de fertilizantes en agricultura: las dosis altas de N pueden resultar en niveles elevados de daño por herbívoros en los cultivos. Como corolario, podría esperarse que los cultivos bajo fertilización orgánica sean menos propensos a los insectos plagas y enfermedades, dadas las menores concentraciones de N en sus tejidos. Por su parte, Letourneau (1988) preguntó si esta hipótesis "N-daño" basada en la revisión de Scriber puede extrapolarse para ser advertencia general acerca de la fertilización asociada al ataque de insectos plaga en los agroecosistemas. Letourneau revisó 100 estudios de artrópodos y encontró que dos tercios (67 de 100) de ellos reportaron un incremento en el desarrollo, supervivencia, tasa reproductiva, densidades de población o niveles de daño de las plagas como respuesta al incremento del fertilizante nitrogenado. El tercio restante de los estudios mostraron una disminución en el daño con la fertilización nitrogenada o no mostraron un cambio significativo. La autora nota también que los diseños experimentales pudieron haber afectado el tipo de respuestas observadas.

Encuestas llevadas a cabo en Patzun, Guatemala, revelaron que los agricultores indígenas entrevistados no

reconocieron los insectos herbívoros como un problema en sus milpas de maíz intercalado con frijol, habas (*Vicia fava*) y/o calabaza (*Cucurbita maxima*, *Cucurbita pepo*) (Morales et ál. 2001). Los agricultores atribuyeron esta ausencia de plagas a las medidas preventivas incorporadas dentro de las prácticas agrícolas, incluyendo las técnicas de manejo orgánico del suelo. Los agricultores de Patzun mezclan las cenizas, los desechos de la cocina, los residuos de cosecha, las malezas y el estiércol para producir compost. Sin embargo, desde 1960 en adelante, los fertilizantes sintéticos fueron introducidos en la región y fueron rápidamente adoptados en el área. Hoy en día, la mayoría de los agricultores han reemplazado los fertilizantes orgánicos con urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$), a pesar de que algunos reconocen las consecuencias negativas del cambio —mayores costos de producción y dependencia de insumos externos— y han observado un incremento de las plagas en sus milpas desde la introducción de los fertilizantes sintéticos.

En ese mismo estudio en Guatemala, Morales et ál. (2001) encontraron que los campos tratados con fertilizantes orgánicos (aplicados por dos años) presentaban menos áfidos (*Rhopalosiphum maidis*) que el maíz tratado con fertilizantes sintéticos. Esta diferencia fue atribuida a una alta concentración de N foliar en los campos de maíz con fertilización sintética, aunque la población de *Spodoptera frugiperda* mostró una correlación negativa débil con el incremento en los niveles de N.

Dinámica de los insectos herbívoros en sistemas con fertilización orgánica

La menor abundancia de varios insectos herbívoros en sistemas manejados con pocos insumos ha sido atribuida al bajo contenido de N de las plantas bajo manejo orgánico (Lampkin 1990). Además, los métodos agrícolas que utilizan fertilización orgánica del suelo promueven la conservación de especies de artrópodos de todos los grupos funcionales, e incrementan la abundancia de enemigos naturales en comparación con las prácticas convencionales (Moreby et ál. 1994, Basedow 1995, Drinkwater et ál. 1995, Pfiffner y Niggli 1996, Berry et ál. 2002, Hole et ál. 2005). Esto sugiere que la reducción de las poblaciones de plagas en sistemas orgánicos es una consecuencia tanto de los cambios nutricionales inducidos en el cultivo por la fertilización orgánica como del incremento de los controles naturales de plagas. Cualquiera que sea la causa, existen muchos ejemplos en los cuales se han documentado poblaciones reducidas de insectos herbívoros en sistemas de bajos insumos, con una variedad de mecanismos posibles.

En Japón, la densidad del cicadélido *Sogatella furcifera* en campos de arroz fue significativamente menor, y la tasa reproductiva de las hembras adultas y la tasa de supervivencia de los estados inmaduros fue generalmente menor en sistemas orgánicos que en sistemas convencionales. En consecuencia, la densidad de ninfas y adultos del cicadélido de las generaciones siguientes era menor en los campos de arroz orgánico (Kajimura 1995). En Inglaterra, sistemas de trigo convencional presentaron altas infestaciones del áfido *Metopolophium dirhodum* comparados con sistemas de trigo orgánico. Los sistemas de trigo con fertilización convencional también presentaron altos niveles de aminoácidos libres en las hojas durante el mes de junio, lo cual fue atribuido a la aplicación de N temprano en la estación (abril). Sin embargo, la diferencia en las infestaciones de áfidos entre los dos tipos de sistemas fue atribuida a la respuesta de aquellos a las proporciones relativas de ciertas sustancias no proteicas vs. proteicas presentes en las hojas en el momento de la colonización por los áfidos (Kowalski y Visser 1979). Los autores concluyeron que la fertilización química tornó el trigo más atractivo que su contraparte cultivada orgánicamente.

En experimentos bajo invernadero que comparaban maíz cultivado en suelos orgánicos con maíz cultivado en suelo fertilizado con químicos, se observó que cuando se liberaban las hembras del barrenador del tallo del maíz *Ostrinia nubilalis* para que ovipositaran, colocaban más huevos en las plantas fertilizadas químicamente que en las cultivadas en suelo orgánico (Phelan et ál. 1995). Empero, esta variación se manifestó solamente cuando el maíz crecía en recipientes con suelos recolectados de fincas manejadas convencionalmente. En contraste, la postura de huevos fue uniformemente baja en plantas que crecían en recipientes con suelos recolectados de fincas bajo manejo orgánico. Los resultados obtenidos en las fincas mostraron que la postura de huevos fue aproximadamente 18 veces mayor en 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 et ál. (1998) condujeron una serie de experimentos comparativos durante varias estaciones de crecimiento, en los cuales el cultivo de brócoli fue sujeto a varios regímenes de fertilización (convencional versus orgánica). El objetivo fue observar los efectos de diferentes fuentes de N sobre la abundancia de las plagas *Brevicoryne brassicae* y *Phyllotreta cruciferae*. Los sistemas de monocultivo fertilizados convencionalmente desarrollaron mayores infestaciones de *P. cruciferae* y del

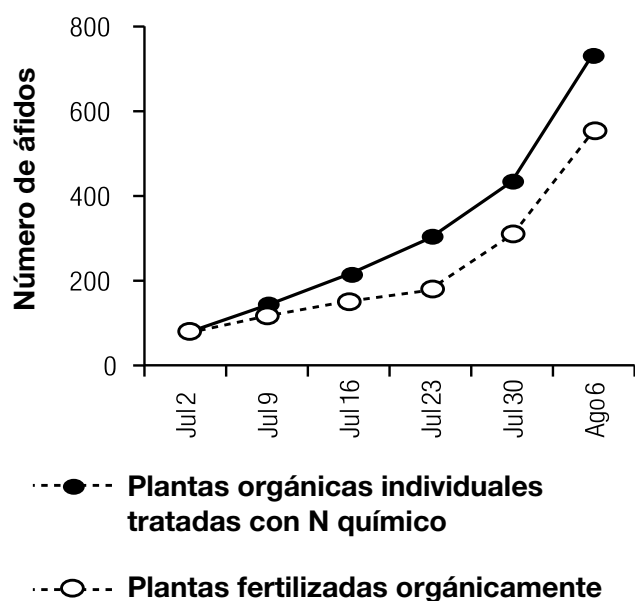


Figura 3. Respuesta de la población de áfidos al tratamiento de plantas individuales de brócoli con fertilizantes nitrogenado en un campo manejado orgánicamente en Albany, California. (Altieri, datos inéditos).

áfido de las coles que los sistemas de brócoli fertilizados orgánicamente. La reducción en las infestaciones de áfidos y de *P. cruciferae* en los sistemas fertilizados orgánicamente fue atribuida a los bajos niveles de N libre en el follaje de estas plantas. Las aplicaciones de N 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 3). El hecho de que estos insectos sean capaces de discriminar unas pocas plantas fertilizadas químicamente en un campo orgánico apoyan la idea de que la preferencia de los insectos plaga puede ser modificada por las alteraciones en el tipo y cantidad de fertilizante usado.

En contraste, un estudio que comparó la respuesta de las plagas de *Brassica* a la fertilización orgánica con la fertilización sintética encontró altas poblaciones de *Phyllotreta* sp. en sistemas de *Brassica oleracea* fertilizados con compost al inicio de la época de siembra en comparación con sistemas con fertilización mineral o sin fertilización (Cullinery and Pimentel 1986). Sin embargo, más adelante en la estación, en los mismos lotes, los niveles poblacionales de *Phyllotreta* sp., áfidos y lepidópteros fueron menores en los lotes orgánicos. Esto sugiere que el efecto del tipo de fertilización varía con el estado de crecimiento de la planta, y que el fertilizante orgánico no necesariamente disminuye las poblaciones de plagas a lo largo de toda la estación. Por ejemplo, en una

evaluación de productores de tomate en California, a pesar de las diferencias pronunciadas en la calidad de la planta determinada por contenidos diferenciales de N en las hojas y el tallo, Letourneau et ál. (1996) no encontraron relación entre altos niveles de concentración de N en los tejidos del tomate y altos niveles de daño en el momento de la cosecha.

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 niveles subsecuentes de daño por herbívoros. La aplicación de enmiendas minerales en los cultivos puede influir en la oviposición, tasas de crecimiento, supervivencia y reproducción de insectos que usan estas plantas como hospederas (Jones 1976). Aunque se requiere de más investigación, las evidencias preliminares sugieren que las prácticas de fertilización pueden afectar la resistencia relativa de los cultivos agrícolas a los insectos plaga. El incremento de los niveles de N soluble en el tejido de las plantas puede reducir la resistencia a las plagas, aunque es posible que este no sea un fenómeno universal (Phelan et ál. 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, así como una liberación gradual de nutrientes a la planta, permitiendo en teoría que las plantas deriven una nutrición más balanceada. Así, aunque la cantidad de N inmediatamente disponible para el cultivo puede ser menor bajo fertilización orgánica, el estado total de la nutrición del cultivo puede ser mejor. Las prácticas de fertilización orgánica pueden también proporcionar microelementos en ocasiones ausentes de las fincas convencionales, que dependen principalmente de fuentes artificiales de N, P y K. Una fertilización óptima, que provea un balance de elementos, puede estimular la resistencia al ataque de insectos (Luna 1988). Las fuentes orgánicas de N pueden permitir una mayor tolerancia al daño vegetativo porque la liberación de este elemento es más lenta, a lo largo de varios años.

Phelan et ál. (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 la preferencia de oviposición de los insectos defoliadores

puede estar mediada por diferencias en el manejo de la fertilidad del suelo. Por lo tanto, los bajos niveles de la plaga ampliamente reportados en los sistemas orgánicos pueden deberse 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. Estos resultados proveen 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 es corroborada por investigaciones recientes sobre la relación entre los componentes del ecosistema por encima y debajo del suelo que sugieren que la actividad biológica del suelo es probablemente más importante de lo que se suele creer para determinar la respuesta de plantas individuales a factores de estrés como la presión por plagas (Blouin et ál. 2005), y que esta respuesta al estrés está mediada por una serie de interacciones (Figura 2). Estos hallazgos están mejorando nuestro entendimiento del rol de la biodiversidad en la agricultura y de las relaciones ecológicas entre los componentes biológicos que se encuentran por encima 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.

Literatura citada

- Adkisson, PL. 1958. The influence of fertilizer applications on population of *Heliothis zea* and certain insect predators. *Journal of Economic Entomology* 51:757-759.
- Altieri, MA; Nicholls, CI. 1999. Biodiversity, ecosystem function and insect pest management in agricultural systems *In* Biodiversity in Agroecosystems. Collins, WW; Qualset, CO. eds. Boca Raton, US, CRC Press. p. 69-84.
- Altieri, MA; Nicholls, CI. 2003. Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil and Tillage Research* 72:203.
- Altieri, MA; Schmidt, LL; Montalba, R. 1998. Assessing the effects of agroecological soil management practices on broccoli insect pest populations. *Biodynamics* 23-26.
- Altieri, MA; Ponti, L; Nicholls, CI. 2005. Enhanced pest management through soil health: toward a belowground habitat management strategy. *Biodynamics* 253:33-40.
- Barker, A. 1975. Organic vs. inorganic nutrition and horticultural crop quality. *HortScience* 12-15.
- Basedow, T. 1995. Insect pests: their antagonists and diversity of the arthropod fauna in fields of farms managed at different intensities over a long term - a comparative survey. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie* 10:565-572.
- Berry, NA; Wratten, SD; McErlich, A; Frampton, C. 1996. Abundance and diversity of beneficial arthropods in conventional and organic carrot crops in New Zealand. *New Zealand Journal of Crops and Horticultural Sciences* 24:307-313.
- Bilde, T; Axelsen, JA; Toft, S. 2000. The value of Collembola from agricultural soils as food for a generalist predator. *Journal of Applied Ecology* 37:672-683.
- 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 8:202-208.
- Brodbeck, B; Stavisky, J; Funderburk, J; Andersen, P; Olson, S. 2001. Flower nitrogen status and populations of *Frankliniella occidentalis* feeding on *Lycopersicon esculentum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 99:165-172.
- Culliney, T; Pimentel, D. 1986. Ecological effects of organic agricultural practices in insect populations. *Agric. Ecosyst. Environ.* 253-256.
- Drinkwater, LE; Letourneau, DK; Workneh, F; van Bruggen, AHC. 1995. Fundamental differences between conventional and organic tomato agro-ecosystems in California. *Ecological Applications* 5:1098-1112.
- Eggert, FP; Kahrman, CL. 1984. Responses of three vegetable crops to organic and inorganic nutrient sources *In* Organic farming: current technology and its role in sustainable agriculture. Madison, US, American Society of Agronomy. Pub. No. 46. p. 79-86.
- Hagen, AF; Anderson, FN. 1967. Nutrient imbalance and leaf pubescence in corn as factors influencing leaf injury by the adult western corn rootworm. *Journal of Economic Entomology* 60:1071-77.
- Hole, DG; Perkins, AJ; Wilson, JD; Alexander, IH; Grice, PV; Evans, AD. 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122:113-130.
- Jansson, RK; Smilowitz, Z. 1985. Influence of nitrogen on population parameters of potato insects: Abundance, development and damage of the Colorado potato beetle *Leptinotarsa decemlineata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology* 14:500-506.
- Jones, FGW. 1976. Pests, resistance, and fertilizers. *In* Fertilizer use and plant health. Colloquium of the International Potash Institute (12, 1976, Bern, Suiza). Proceedings. p. 121-129.
- 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.
- Klostermeyer, EC. 1950. Effect of soil fertility on corn earworm damage. *Journal of Economic Entomology* 43:427-429.
- Kowalski, R; Visser, PE. 1979. Nitrogen in a crop-pest interaction: cereal aphids *In* Lee, JA. ed. Nitrogen as an ecological parameter. Oxford, UK, Blackwell Scientific Pub. p. 67-74.
- Kumar, V; Mills, DJ; Anderson, JD; Mattoo, AK. 2004. An alternative agriculture system is defined by a distinct expression profile of select gene transcripts and proteins. *PNAS* 101:10535-10540.
- Lampkin, N. 1990. Organic Farming. Ipswich, UK, Farming Press Books. . 300-302.
- Letourneau, DK. 1988. Soil management and pest control: a critical appraisal of the concepts. *In* Global perspectives on agroecology and sustainable agricultural systems. International Science Conference of IFOAM (6, Santa Cruz, CA, US). Proceedings. p. 581-587.
- Letourneau, DK; Drinkwater, LE; Shennon, C. 1996. Effects of soil management on crop nitrogen and insect damage in organic versus conventional tomato fields. *Agric. Ecosyst. Environ.* 57:174-187.
- Letourneau, DK; Goldstein, BP. 2001. Pest damage and arthropod community structure in organic vs. conventional tomato production in California. *Journal of Applied Ecology* 38:557-

450.

- Lockeretz, W; Shearer, G; Kohl, DH. 1981. Organic farming in the corn belt. *Science* 211:540-547.
- Luna, JM. 1988. Influence of soil fertility practices on agricultural pests. *In* Global perspectives on agroecology and sustainable agricultural systems. International Science Conference of IFOAM (6, Santa Cruz, CA, US). Proceedings. p. 589-600.
- Mäder, P; Fließbach, A; Dubois, D; Gunst, L; Fried, P; Niggli, U. 2002. Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science* 296:1694-1697.
- Magdoff, F; van Es, H. 2000. Building soils for better crops. Washington, DC, US, SARE. p. 63-77.
- Mattson, WJ. Jr. 1980. Herbivory in relation to plant nitrogen content. *Annual Review of Ecology and Systematics* 11:119-161.
- McGuinness, H. 1993. Living soils: sustainable alternatives to chemical fertilizers for developing countries. New York, US, Consumers Policy Institute. p. 88-107.
- Meyer, GA. 2000. Interactive effects of soil fertility and herbivory on *Brassica nigra*. *Oikos* 22:433-441.
- Morales, H; Perfecto, I; Ferguson, B. 2001. Traditional fertilization and its effect on corn insect populations in the Guatemalan highlands. *Agric. Ecosyst. Environ.* 84:145-155.
- Moreby, SJ; Aebischer, NJ; Southway, SE; Sotherton, NW. 1994. A comparison of flora and arthropod fauna of organically and conventionally grown winter wheat in southern England. *Annals of Applied Biology* 12:13-27.
- Nicholls, CI; Altieri, MA. 2005. Designing and implementing a habitat management strategy to enhance biological pest control in agroecosystems. *Biodynamics* 25:26-36.
- Painter, RH. 1951. Insect resistance in crop plants. Lawrence, KS, University of Kansas Press. p. 123-165.
- Pfiffner, L; Niggli, U. 1996. Effects of biodynamic, organic and conventional farming on ground beetles (Coleoptera: Carabidae) and other epigeic arthropods in winter wheat. *Biological Agriculture and Horticulture* 12:353-364.
- Phelan, PL; Mason, JF; Stinner, BR. 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.
- Pimentel, D; Warneke, A. 1989. Ecological effects of manure, sewage sludge and other organic wastes on arthropod populations. *Agricultural Zoology Reviews* 3:1-30.
- 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, JM. 1984. Nitrogen nutrition of plants and insect invasion *In* Hauck, RD. ed. Nitrogen in crop production. Madison, WI, US, American Society of Agronomy. p. 134-142.
- Settle, WH; Ariawan, H; Astuti, ET; Cahyana, W; Hakim, AL; Hindayana, D; Lestari, AS. 1996. Managing Tropical Rice Pests Through Conservation of Generalist Natural Enemies and Alternative Prey. *Ecology* 77:1975-1988.
- Slansky, F. 1990. Insect nutritional ecology as a basis for studying host plant resistance. *Florida Entomologist* 73:354-378.
- Slansky, F; Rodriguez, JG. 1987. Nutritional ecology of insects, mites, spiders and related invertebrates. New York, US, Wiley. p. 204-209.
- Van der Putten, WH; Vet, LEM; Harvey, JA; Wackers, FL. 2001. Linking above- and belowground multitrophic interactions of plants, herbivores, pathogens, and their antagonists. *Trends in Ecology & Evolution* 16:547-554.
- Van Emden, HF. 1966. Studies on the relations of insect and host plant. III. A comparison of the reproduction of *Brevicoryne brassicae* and *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) on brussels sprout plants supplied with different rates of nitrogen and potassium. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 9:444-460.
- Vestergard, M; Bjornlund, L; Christensen, S. 2004. Aphid effects on rhizosphere microorganisms and microfauna depend more on barley growth phase than on soil fertilization. *Oecologia* 141:84.
- Wardle, DA; Bardgett, RD; Klironomos, JN; Setälä, H; van der Putten, WH; Wall, DH. 2004. Ecological linkages between