

OPTIMIZANDO EL MANEJO AGROECOLÓGICO DE PLAGAS A TRAVÉS DE LA SALUD DEL SUELO

Miguel A Altieri, Clara Nicholls

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

Resumen

Métodos culturales de manejo de suelos tales como la fertilización afectan la susceptibilidad de plantas al ataque de insectos plaga vía alteraciones de los niveles de nutrientes en los tejidos. Investigaciones revelan que la habilidad de una planta a tolerar la incidencia de plagas o enfermedades está ligada a las condiciones óptimas del suelo, en particular las propiedades biológicas. Cultivos que crecen en suelos con un alto contenido de materia orgánica y con alta actividad biológica exhiben por lo general menor incidencia de plagas. Estas reducciones parecen atribuirse a niveles menores de nitratos libres en el follaje. Por el contrario, prácticas agrícolas como el uso excesivo de fertilizantes que crean imbalances nutricionales tienden a reducir la defensa de las plantas. Hay varios estudios comparativos que reportan menor incidencia en cultivos orgánicos que aquellos en sistemas convencionales. Entender los mecanismos claves que explican porque la fertilización orgánica parece mejorar la salud de los cultivos, es una área activa de investigación que puede conllevar a mejorar los diseños agroecológicos al permitir armonizar el manejo de suelos y el manejo de plagas.

Palabras clave: Fertilidad y salud del suelo, nutrición de cultivos, insectos plaga, manejo de plagas

Summary

Optimizing agroecological pest management through soil health

Cultural methods such as crop fertilization can affect susceptibility of plants 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 and active soil biological activity generally exhibit good soil fertility. Crops grown in such soils exhibit lower abundance of several insect herbivores, reductions 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.

Introducción

Los agroecosistemas pueden ser optimizados a través del manejo de dos pilares: la manipulación del hábitat vía de la diversificación de cultivos y el mejoramiento de la fertilidad del suelo (Nicholls & 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 arriba y abajo del suelo se han considerado aislados uno del otro, sin embargo, hoy en día se reconoce que están íntimamente

relacionados (Wardle *et al.* 2004). En efecto, la vegetación parece funcionar como un integrador de los componentes del agroecosistema arriba y abajo del suelo, los cuales a pesar de estar espacialmente separados, están conectados biológicamente por las plantas. Este reconocimiento de los vínculos entre la biología arriba y abajo del suelo constituye un paso clave sobre el cual se basa una estrategia innovativa de Manejo Ecológico de Plagas (MEP).

El MEP considera que el manejo del hábitat arriba y abajo del suelo, son estrategias igualmente importantes, puesto que al fomentar interacciones ecológicas positivas entre suelo y plagas, se puede diseñar una manera

robusta y sustentable para optimizar la función total del agroecosistema (Fig. 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 & Nicholls 1999). A pesar de los vínculos potenciales entre la fertilidad del suelo y la protección de cultivos, la evolución de los conceptos de Manejo Integrado de Plagas (MIP) y Manejo Integrado de la Fertilidad de Suelos (MIFS) han procedido separadamente (Altieri & Nicholls 2003). Puesto que ya se conoce que muchas prácticas de manejo de suelo influyen en el manejo de plagas, no tiene sentido ecológico continuar con enfoques reduccionistas.

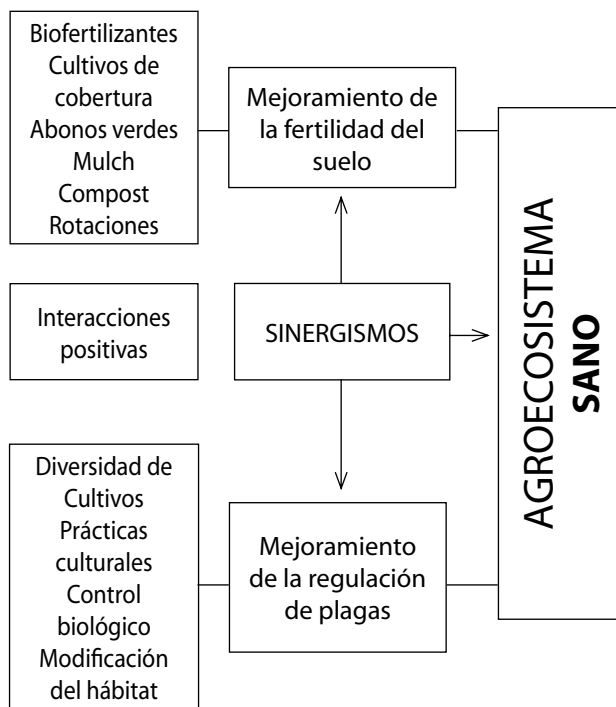


Figura 1. Sinergismos potenciales entre la fertilidad de suelos y el manejo ecológico de plagas.

Nuevas investigaciones demuestran que la habilidad de un cultivo de resistir o tolerar el ataque de insectos plagas y enfermedades, está ligado 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 bajan la resistencia de las plantas a plagas (Magdoff & Van Es 2000). Además, estudios recientes han demostrado como las interacciones bióticas en el suelo pueden regular la estructura y el funcionamiento de las comunidades de plantas sobre el suelo (Wardle *et al.* 2004). Así, es obvio que los componentes de un agroecosistema abajo del suelo pueden ser manejados a través de una serie de prácticas usadas en la agricultura orgánica ejerciendo un

impacto substancial en la dinámica de plagas (Altieri & Nicholls 2003). A pesar de que la presión de 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), nueva evidencia sugiere que las poblaciones de plagas se pueden reducir además al mejorar la biología y la fertilidad de los suelos.

Suelos Saludables—Plantas Saludables

Una forma como 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 las plantas (Phelan *et al.* 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 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 relacionada muy cercanamente a varias propiedades del suelo.

Mucho de lo que conocemos hoy día acerca de la relación entre la nutrición de plantas y la incidencia de plagas proviene de estudios comparativas de los efectos de las prácticas de la agricultura orgánica y los métodos usados en la agricultura convencional sobre poblaciones de plagas específicas (Altieri & Nicholls 2003). 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 (Barker 1975, Scriber 1984). Algunos estudios han mostrado como 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, ha sido el estudio realizado por científicos del USDA Beltsville Agricultural Research Center (Kumar *et al.* 2004). Estos científicos 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 Nitrógeno de *Vicia* y su descomposición lenta, las plantas bajo la cobertura mostraron una expresión diferente de genes selectos, los cuales promovieron una mejor 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

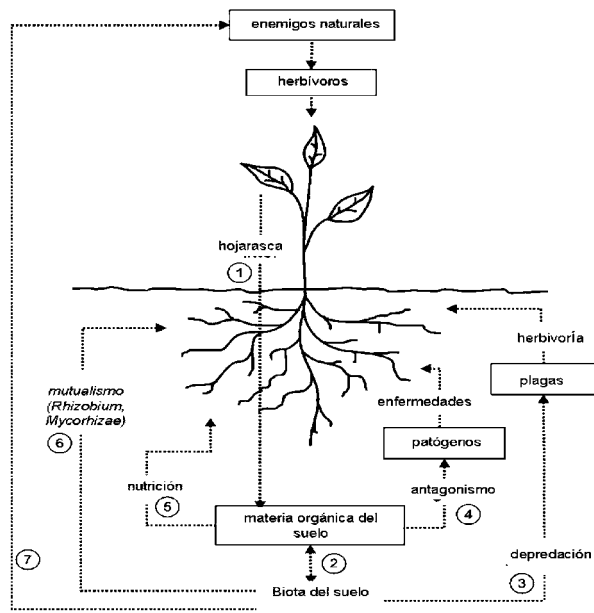


Figura 2. Vías complejas en las cuales la biodiversidad sobre el suelo interactúan en el agroecosistema: (1) residuos del cultivo incrementan el contenido de materia orgánica (SOM); (2) SOM provee el sustrato para la micro, meso y macro fauna del suelo; (3) predadores edáficos reducen las plagas del suelo; (4) SOM incrementa los antagonistas que suprimen patógenos del suelo; (5) mineralización lenta de C y N que activa genes los cuales 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 (*Collembola* y detritívoros) sirven de alimento alternativo a enemigos naturales en épocas de escasez de plagas.

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” predador-presa.

Interacciones entre la biodiversidad arriba y abajo del suelo

Las plantas funcionan en un ambiente complejo multitrófico y nutritivo. Sin embargo, como es discutido en un artículo reciente (Van der Putten *et al.* 2001) la mayoría de los estudios multitróficos son casi exclusivamente localizados en las interacciones arriba del suelo, generalmente olvidando que los organismos abajo y arriba del suelo interactúan en redes complejas (Fig. 2). Varios estudios demuestran que la interdependencia de la dinámica de población de herbívoros arriba y abajo del suelo y de sus enemigos naturales asociados esta mediada a través de respuestas de defensa por diferentes compartimientos de las plantas (arriba y abajo del suelo). 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. Pero se

argumenta también en el artículo mencionado anteriormente que las interacciones entre los compartimientos por debajo y por encima del suelo son aún más complejas, debido a los mecanismos mencionados (nutrición y defensa de las plantas) que están íntimamente relacionadas. En efecto, la producción de defensas de las plantas tanto directas como indirectas dependen de los nutrientes disponibles por las raíces. La evidencia de la existencia de estas interacciones aumenta cada vez más.

Un estudio reciente demostró que la actividad de los organismos por debajo del suelo puede afectar el fenotipo de la planta, induciendo la tolerancia de plantas a herbívoros y patógenos (Blouin *et al.* 2005). Este estudio demostró 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 fue afectada por nematodos y la esperada inhibición de la fotosíntesis no ocurrió. Esta es la primera vez que se observa como la presencia de lombrices de tierra pueden reducir la ingestación de nematodos en plantas. Aparentemente, la presencia de lombrices en la rizosfera 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 *et al.* 2005).

Las comunidades arriba del suelo son afectadas directa e indirectamente por interacciones con los organismos de la red trófica del suelo (Wardle *et al.* 2004). Las actividades de alimentación de los detritívoros en la red trófica estimulan el movimiento de nutrientes, la adquisición 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 irrigado en Asia mostraron que la adición de materia orgánica en lotes experimentales, incremento las poblaciones de detritívoros los cuales a su vez fomentaban la abundancia de predadores generalistas arriba del suelo (Settle *et al.* 1996). Los insectos del suelo como *Collembola* son conocidos como presa alternativa para predadores como carábidos cuando las plagas son escasas (Bilde *et al.* 2000).

Por otro lado, la biología del suelo tiene un efecto directo en las plantas, cuando estas al alimentarse a través de las raíces, establecen relaciones mutualistas o antagonísticas con plantas hospederas (ej. micorrizas). Estas interacciones directas con plantas influyen no sólo en el comportamiento de las plantas hospederas, sino también en el de los herbívoros y sus predadores potenciales. Vestergard *et al.* (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 por primera vez reporta que la biota arriba y abajo del suelo es capaz de influenciarse mutuamente con la planta como mediador.

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

La resistencia de plantas a insectos varía con la edad o el estado de crecimiento de la planta (Slansky 1990), sugiriendo que la resistencia esta ligada directamente a la fisiología de la planta. Por lo tanto cualquier factor que afecte la fisiología de la planta (Ej. fertilización) puede potencialmente cambiar la resistencia a insectos plaga. Se ha demostrado que la fertilización afecta las tres categorías de resistencia propuestas por Painter (1951): preferencia, antibiosis y tolerancia. Además, 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, pueden también influir indirectamente en el éxito de los insectos plagas para utilizar las plantas hospederas. Por ejemplo, Adkisson (1958) reportó aproximadamente tres veces más larvas del curculiónido (*Anthonomus grandis*) en algodón que recibió dosis altas de fertilizantes comparados con sistemas sin fertilización. Klostermeyer (1950) observó que la fertilización nitrogenada incremento el grosor de la mazorca en maíz dulce, lo cual redujo las infestaciones del gusano del maíz (*Heliothis zea*). Hagen & 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 plantas al ataque de insectos pueden estar mediados por cambios en los contenidos nutricionales de los cultivos. Aplicando cantidades equivalentes de nitrógeno (100 y 200 mg/maceta), Baker (1975) encontró que la concentración de nitratos-N 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 medio oeste de los Estados Unidos, Lockeretz *et al.* (1981) encontraron que el maíz orgánico tenía niveles más bajos de todos los aminoácidos (excepto metionina) que el maíz de fincas convencionales. Eggert & Kahrmann (1984) también demostraron que frijoles de fincas convencionales presentaban más proteínas que los de fincas orgánicas. Consistentemente se encontró que los frijoles convencionales exhibían altos niveles de N en el tejido del peciolo. Los niveles de potasio y fósforo, sin embargo, eran más altos en los peciolos 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 comparado con cultivos convencionales las hortalizas orgánicas consistentemente contenían niveles bajos de nitratos y altos niveles de potasio, fósforo y hierro.

La investigación demuestra que la fertilidad del suelo puede influir en la habilidad de un cultivo para con-

trarrestar 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 & Smilowitz 1985), otros estudios (Meyer 2000) sugieren que la disponibilidad de nutrientes en el suelo no sólo afecta la cantidad de daño que las plantas reciben de los herbívoros, sino que también la habilidad de las plantas para recuperarse de la defoliación. El estudio de Meyer reportó los efectos de la fertilidad de suelo sobre el grado de defoliación así como también la compensación de las plantas de *Brassica nigra* como respuesta al daño causado por las larvas de *Pieris rapae* (Meyer 2000). En este estudio, el porcentaje de defoliación fue dos veces mayor en plantas en suelos con baja fertilidad que con alta, además las plantas bajo altos niveles de fertilidad perdieron un área superior de hojas. 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 nitrógeno del suelo en el daño causado por artrópodos

Las prácticas de fertilización pueden tener efectos indirectos en la resistencia de plantas a los insectos plaga, al cambiar la composición de nutrientes en el cultivo. El nitrógeno total (N) ha sido considerado un factor nutricional crítico que media la abundancia y el comportamiento de los insectos (Mattson 1980, Scriber 1984, Slansky & Rodríguez 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 del durazno *Myzus persicae*, estaba altamente correlacionado con el incremento en los niveles de nitrógeno 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 (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 nitrógeno en el suelo (Letourneau 1988). En dos años de estudio, Brodbeck *et al.* (2001) encontraron que las poblaciones de thrips *Frankliniella occidentalis* fueron significativamente altas 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* en maíz, *Helicoverpa* (= *Heliothis*) *zea* en algodón, *Ostrinia nubilalis* en maíz, *Pseudococcus comstocki* en manzano, *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 incrementar su aceptabilidad como recurso alimenticio para las poblaciones de

plagas. Variaciones en la respuesta de los herbívoros a nutrimentos puede estar explicado por diferencias en el comportamiento de alimentación de los herbívoros (Pimentel & Warneke 1980). Por ejemplo, con el incremento de las concentraciones de nitrógeno en plantas de *Larrea tridentale*, 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, la cantidad de nutrientes en la planta se incrementa, así como también la cantidad de compuestos secundarios que pueden selectivamente afectar a los diferentes herbívoros (Mattson 1980).

Revisando 50 años de investigación que relaciona la nutrición de cultivos con el ataque de insectos, Scriber (1984) encontró 135 estudios 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 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 puede 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 plagas y enfermedades dada las menores concentraciones de nitrógeno en el tejido de estas plantas. Sin embargo, Letourneau et al (1996) pregunta si esta hipótesis "nitrógeno-daño" basada en la revisión de Scriber, puede ser extrapolada como para dar una advertencia general acerca de la fertilización asociada al ataque de insectos plaga en los agroecosistemas. Letourneau revisó 100 estudios y encontró que dos tercios (67 de 100) de los estudios mostraron un incremento en el desarrollo, supervivencia, tasa reproductiva, densidades de población o niveles de daño de las plagas en plantas como respuesta al incremento del fertilizante nitrogenado. El tercio restante de los estudios de artrópodos mostró una disminución en el daño con la fertilización nitrogenada o no mostró un cambio significativo. La autora también notó que los diseños experimentales pudieron afectar el tipo de respuestas observadas.

Encuestas a agricultores indígenas en Patzun, Guatemala, revelaron que ellos no reconocieron los insectos herbívoros como un problema en sus milpas de maíz intercalado con frijol, habas (*Vicia fava*) y/o calabaza (*Cucurbita maxima*, *C. pepo*) (Morales et al. 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 tradicionalmente 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 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 y han expresado un incremento de las plagas en sus milpas desde la introducción de los fertilizantes sintéticos.

En este estudio en Guatemala, Morales et al. (2001) también 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 nitrógeno 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 nitrógeno.

Dinámica de los insectos herbívoros en sistemas fertilizados orgánicamente

La menor abundancia de varios insectos herbívoros en sistemas manejados con bajos insumos ha sido particularmente atribuida al bajo contenido de nitrógeno 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 comparado con las prácticas convencionales (Moreby et al. 1994; Basedow 1995, Drinkwater et al. 1995, Pfiffner & Niggli 1996, Berry et al. 2002, Hole et al. 2005, Letourneau et al. 2001, Mader et al. 2002). 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 también el incremento de los controles naturales de plagas. Cualquiera que sea la causa, existen muchísimos ejemplos en los cuales bajas poblaciones de insectos herbívoros han sido documentados en sistemas de bajos insumos, con una variedad de mecanismos posibles propuestos.

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. 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, sistemas de trigo convencional presentaron altas infestaciones del áfido *Metopolophium dirhodum* comparado con trigo orgánico. Los sistemas de trigo fertilizados convencionalmente también presentaron altos niveles de aminoácidos libres en las hojas durante junio, lo cual fue atribuido a la aplicación de nitrógeno temprano en la estación (Abril). Sin embargo, la diferencia en las infestaciones de áfidos entre los dos tipos de sistemas fue atribuido 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 & Visser 1979). Los autores concluyeron que la fertilización química tornó al trigo más palata-

ble que su contraparte cultivado orgánicamente, por lo que se presentaban altos niveles de ingestación.

En experimentos bajo invernadero comparando maíz cultivado en suelos orgánicos versus maíz cultivado en suelo fertilizado químicamente, se observó que las hembras del barrenador del tallo del maíz *Ostrinia nubilalis* cuando se les liberaba en el invernadero para depositar sus huevos, ellas colocaban significativamente más huevos en las plantas fertilizadas químicamente que en aquellas en suelo orgánico (Phelan *et al.* 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 colectados 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 a 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 *et al.* (1998) condujeron una serie de experimentos comparativos durante varias estaciones de crecimiento entre 1989-1996 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 nitrógeno en la abundancia de las plagas claves: *Brevicoryne brassicae* y *Phyllotreta cruciferae*. Los sistemas de monocultivo fertilizados convencionalmente desarrollaron mayores infestaciones de *Phyllotreta cruciferae* y del áfido de las coles que los sistemas de brócoli fertilizados orgánicamente. La reducción en las infestaciones de áfidos y de *Phyllotreta cruciferae* en

los sistemas fertilizados orgánicamente fue atribuido 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 (Fig. 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.

Como contraste, un estudio comparando la respuesta de las plagas de *Brassica* a la fertilización orgánica versus la fertilización sintética, se encontró altas poblaciones de *Phyllotreta sp* en sistemas de *Brassica oleracea* fertilizados con compost temprano en la estación comparados con sistemas con fertilización mineral o sin fertilización (Cullinery & Pimentel 1986). Sin embargo, tarde en la estación, en los mismos lotes, los niveles poblacionales de *Phyllotreta sp.*, áfidos y lepidópteros fue menor 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 través 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 nitrógeno en las hojas y el tallo, Letourneau *et al.* (1996) no encontraron relación entre altos niveles de concentración de nitrógeno 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 cultivos puede influir la oviposición, tasas de crecimiento, supervivencia y reproducción de insectos que usan estas plantas como hospederas. 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 nitrógeno soluble en el tejido de plantas puede reducir la resistencia a las plagas, aunque esto puede que no sea un fenómeno universal (Phelan *et al.* 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, teóri-

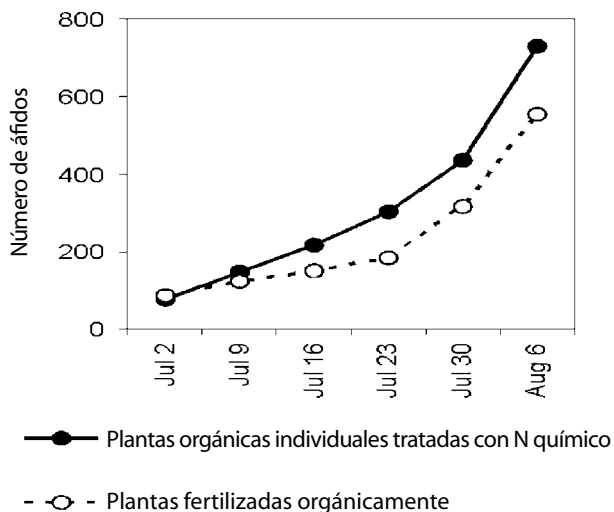


Figura 3. Respuesta de la población de áfidos al tratamiento de plantas individuales de brócoli con fertilizante nitrogenado en un campo manejado orgánicamente en Albany, California (Altieri, datos inéditos).

camente permitiendo 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. Las prácticas de fertilización orgánica pueden también proporcionar microelementos ocasionalmente faltantes en fincas convencionales que dependen principalmente de fuentes artificiales de N, P y K. Además de concentraciones de los nutrientes, una fertilización óptima que provee un balance de elementos, puede estimular la resistencia al ataque de insectos (Luna 1988). Las fuentes orgánicas de nitrógeno pueden permitir una mayor tolerancia al daño vegetativo porque la liberación del nitrógeno es más lenta, a través de varios años.

Phelan *et al.* (1995) enfatizan la necesidad de considerar otros mecanismos cuando se examina los vínculos entre 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 las diferencias en el manejo de la fertilidad del suelo. Por lo tanto, los bajos niveles de plaga reportados extensamente en los sistemas orgánicos pueden en parte deberse 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 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 arriba y abajo del suelo que sugieren que la actividad biológica del suelo es probablemente más importante que lo que hasta ahora se ha reconocido en determinar la respuesta de plantas individuales al stress, como la presión de plagas (Blouin *et al.* 2005), y que esta respuesta al stress esta mediada por una serie de interacciones descritas en la Fig. 2. Estos hallazgos están mejorando nuestro entendimiento del rol 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 innovativa de manejo ecológico de plagas que combine la diversificación de cultivos y el mejoramiento orgánico del suelo.

Referencias

- 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.) CRC Press, Boca Raton, pp. 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.
- 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, McErlach 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, Kahrmann CL. 1984. Responses of three vegetable crops to organic and inorganic nutrient sources. In *Organic farming: current technology and its role in sustainable agriculture*. Pub. No. 46. American Society of Agronomy, Madison, WI.
- 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* (Coleop-

- tera: Chrysomelidae). *Environmental Entomology* 14: 500-506.
- Kajimura T. 1995. Effect of organic rice farming on planthoppers: Reproduction of white backed planthopper, *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae). *Research Population Ecology* 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 *Nitrogen as an ecological parameter*. (Lee JA, ed.). Oxford, UK: Blackwell Scientific Pub., pp. 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. *Protocol Nacional Academy Sciece* 101, 10535-10540.
- Lampkin N. 1990. *Organic Farming*. Ipswich, UK: Farming Press Books.
- Letourneau DK. 1988. In *Global perspectives on agroecology and sustainable agricultural systems*. Sixth Int. Sci. Conference of IFOAM Santa Cruz, CA, pp. 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. *Agriculture Ecosystem Environment* 57: 174-187.
- Lockeretz W, Shearer G, Kohl DH. 1981. Organic farming in the corn belt. *Science* 211: 540-547.
- Luna JM. 1988. In *Global perspectives on agroecology and sustainable agricultural systems*. Proc. Sixth. Int. Sci. Conference of IFOAM Santa Cruz, CA, pp. 589-600.
- Magdoff F, van Es H. 2000. *Building soils for better crops*. SARE, Washington DC.
- 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*. Consumers Policy Institute, New York.
- 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. *Agriculture. Ecosystem. Environment* 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* 251: 26-36.
- Painter RH. 1951. *Insect resistance in crop plants*. University of Kansas Press, Lawrence, KS.
- 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. *Agriculture. Ecosystems. and Environment* 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 Nutrition* 23: 333-358.
- Scriber JM. 1984. Nitrogen nutrition of plants and insect invasion. In *Nitrogen in crop production*. (Hauck RD, ed.) American Society of Agronomy, Madison, WI.
- 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 Entomology* 73: 354-378.
- Slansky F, Rodriguez JG. 1987. *Nutritional ecology of insects, mites, spiders and related invertebrates*. Wiley, New York.
- 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 aboveground and belowground biota. *Science* 304: 1629-33.