GESTIÓN DE LA FERTILIDAD DEL SUELO PARA INCREMENTAR LA REGULACIÓN DE PLAGAS DE INSECTOS: LA EVIDENCIA AGROECOLÓGICA

Clara I. Nicholls and Miguel A. Altieri*

Department of Environmental Science, Policy and Management, Division of Insect Biology, University of California at Berkeley, Berkeley, CA 94720-3112, USA

*nicholls@berkeley.edu, *agroeco3@nature.berkeley.edu*

1. Introducción

Muchos investigadores han sugerido que el incremento de las plagas de insectos y la presión de enfermedades en agroecosistemas son debidas a los cambios que han ocurrido en las prácticas agrícolas desde la II Guerra Mundial. Por ejemplo, la utilización de fertilizantes y pesticidas se ha incrementado rápidamente durante este período, y la evidencia sugiere que este uso excesivo de agroquímicos, en conjunción con la expansión de monocultivos, ha exacerbado los problemas de plagas [1]. Por otra parte, los autores de métodos agrícolas alternativos afirman que las pérdidas de la cosecha por insectos y enfermedades son reducidas con la agricultura biológica [2; 3]. Aunque esta visión esté extendida, sorprendentemente ha habido pocos intentos para probar su validez. Los escasos estudios dirigidos sugieren que una baja presión de plagas en los sistemas orgánicos podría resultar del mayor uso de rotación de cultivos y/o preservación de insectos beneficiosos en ausencia de insecticidas [4]. Alternativamente, la reducida susceptibilidad a las enfermedades pudiera ser un reflejo de las diferencias en la salud vegetal, según lo mediado en la gestión de la fertilidad del suelo [5]. Varios investigadores, y también agricultores orgánicos, han observado que las prácticas de fertilidad que reponen y mantienen elevada la materia orgánica del suelo y que aumentan el nivel y diversidad de la macro y microbiota del suelo, proporcionan un ambiente que con diversos procesos incrementa la salud de las plantas [6].

A pesar de los vínculos potenciales entre la fertilidad del suelo y la protección de la cosecha, la evolución de la gestión integrada de plagas (IPM, *integrated pest management*) y la gestión integrada de la fertilidad del suelo (ISFM, *integrated soil fertility management*) han avanzado por separado. La integridad del agroecosistema recae en las sinergias de la diversidad vegetal y la función continua de la comunidad microbiana del suelo, y su relación con la materia orgánica [7]. La mayoría de los métodos de gestión de plagas usados por los agricultores pueden ser considerados estrategias de gestión de la fertilidad del suelo y viceversa. Hay interacciones positivas entre suelos y plagas que una vez identificadas pueden aportar pautas para optimizar la función total del agroecosistema (Fig. 1). Cada vez más, las nuevas investigaciones están mostrando que la habilidad de un cultivo para resistir o tolerar las plagas de insectos y las enfermedades está ligada a las propiedades físicas, químicas y principalmente biológicas, óptimas de los suelos. Los suelos con alto contenido en materia orgánica y una biología del suelo activa generalmente muestran una buena fertilidad así como complejas redes de alimento y organismos beneficiosos que previenen la infección. Por otra parte, las prácticas agrícolas que causan los desequilibrios de la nutrición pueden disminuir la resistencia a las plagas [8].

Mucho de lo que hoy sabemos sobre la relación entre la nutrición de los cultivos y la incidencia de plagas viene de estudios comparando los efectos de las prácticas de

agricultura orgánica y los métodos modernos convencionales en poblaciones específicas de plagas. Las prácticas de fertilidad del suelo pueden impactar en la susceptibilidad fisiológica de las plantas cultivadas a las plagas de insectos, bien afectando la resistencia de plantas individuales a los ataques, o bien para alterar la aceptabilidad de la planta para ciertos herbívoros. Algunos estudios también han documentado como el cambio de la gestión orgánica del suelo a fertilizantes químicos ha incrementado el potencial de ciertos insectos y enfermedades para causar pérdidas económicas.

2. Los efectos de la fertilización en la resistencia vegetal a las plagas de insectos

Los estudios de la resistencia vegetal a plagas de insectos han mostrado que la resistencia varía con la edad o el estado de crecimiento de la planta [9]. Esto sugiere que la resistencia está ligada directamente a la fisiología de la planta y así cualquier factor que afecte a la fisiología de la planta puede llevar a cambios en la resistencia a plagas de insectos.

La fertilización ha mostrado afectar las tres categorías de resistencia propuestas por Painter (1951) [10]: preferencia, antibiosis, y tolerancia. Las respuestas morfológicas obvias de los cultivos a los fertilizantes, como los cambios en las tasas de crecimiento, maduración acelerada o retardada, tamaño de las partes de las plantas, y grosor y dureza de la epicutícula, también influye en el éxito de muchas especies de plagas para usarlas como huésped. Por ejemplo, Adkisson (1958) [11] encontró casi tres veces más larvas de gorgojo de la baga (*Anthonomus grandis*) en algodón (*Gossypium hirsutum*) que recibía fuertes aplicaciones de fertilizantes en comparación con los controles no fertilizados. Atribuyó estas diferencias a la prolongada estación de crecimiento para el algodón, resultado de la enmienda fertilizante por la cual las plantas permanecían más tiempo suculentas y fructificaban más tarde de lo normal en la temporada. Klostermeyer (1950) [12] señaló que el fertilizante nitrogenado incrementó la extensión y la dureza de las hojas de maíz dulce (*Zea mays*) lo que influenció los niveles de infestación del gusano del maíz (*Heliothis zea*). Meyer (2000) [13] ha señalado que la disponibilidad de nutrientes del suelo no solo afecta a la cantidad de daño que las plantas reciben de los herbívoros sino la capacidad de las plantas para recuperarse de la acción de los herbívoros; sin embargo, estos dos factores raramente se consideran juntos. Describiendo los efectos de la fertilidad del suelo, tanto en el grado de defoliación como en la compensación a la acción de los herbívoros para las plantas de *Brassica nigra* dañadas por las orugas *Pieris rapae*, Meyer (2000) [13] encontró que el porcentaje de defoliación era más de dos veces mayor a baja fertilización comparándola con fertilización alta, aunque las plantas crecidas en suelos de alta fertilidad perdieron una mayor cantidad absoluta de superficie de hoja. Tanto para suelos con fertilidad alta o baja, el número total de semillas y masa media por semilla de plantas dañadas fueron equivalentes a las de las plantas no dañadas. Así la fertilidad del suelo no influye en la compensación de la planta en términos de capacidad maternal. Los efectos de las prácticas de fertilidad del suelo en la resistencia a plagas pueden ser mediados a través de cambios en el contenido nutricional de las cosechas. En cantidades equivalentes de nitrógeno aplicado (100 y 200 mg por maceta), Barrer (1975) [14] encontró que las concentraciones de NO_3-N en hojas de espinaca (*Spinacia oleracea* L.) fueron mayores cuando recibieron nitrato de amonio frente a plantas tratadas con cinco fertilizantes orgánicos. En un estudio comparativo de agricultores convencionales y ecológicos del medio oeste de EE.UU., Lockeretz *et al*. (1981) [15] indicaron que el maíz crecido de forma orgánica (OG, *organically grown*) tenía menores niveles de todos los aminoácidos (excepto metionina) que el maíz crecido de forma convencional (CG). Eggert y Kahrmann (1984) [16] también señalaron que las alubias secas CG (*Phaseolus vulgaris*) tenían más proteína que las alubias OG. También se encontraron niveles constantemente más altos de N en el tejido del pecíolo en las alubias CG. Sin embargo, los niveles de

potasio y fósforo, fueron mayores en los pecíolos de las alubias OG que en las alubias CG. Schuphan (1974) [17] en un estudio comparativo a largo plazo de los efectos de fertilizantes orgánicos y sintéticos en el contenido nutricional de cuatro verduras, señaló que las verduras OG contenían niveles constantemente más bajos de nitrato y niveles mayores de potasio, fósforo y hierro que las verduras CG. Los mencionados estudios sugieren que el menor contenido foliar de NO_3-N de los cultivos OG podrían ser un factor clave para determinar el menor daño de los insectos en cultivos fertilizados con enmiendas orgánicas.

3. Efectos del nitrógeno

Se ha señalado que los efectos indirectos de las prácticas de fertilización, actuando a través de los cambios en la composición de los nutrientes del cultivo, influyen en la resistencia de la planta a muchas plagas de insectos. Entre los factores nutricionales que influyen en el nivel de daño por artrópodos en un cultivo, el nitrógeno total (N) ha sido considerado crítico tanto para plantas como para sus consumidores [18; 19, 20]. En la mayoría de los estudios de evaluación de la respuesta de áfidos y ácaros a la fertilización por N, los incrementos en tasas de N incrementan dramáticamente la cantidad de áfidos y ácaros. Según van Emden (1966) [21] los incrementos en fecundidad y tasas de desarrollo del áfido del melocotón verde, *Myzus persicae*, estaban altamente correlacionadas al incremento de los niveles de N soluble en tejido de las hojas. Otros autores también han indicado incrementos en las poblaciones de áfidos y ácaros por la fertilización con N (Tablas 1 y 2).

Las poblaciones de insectos herbívoros asociadas con cultivos de plantas de Brassica también han sido señalados por aumentar en respuesta a incrementos de los niveles de N del suelo (Tabla 3). En un estudio de dos años Brodbeck *et al*. (2001) [22] encontró que las poblaciones de los thrips *Frankliniella occidentalis* eran significativamente mayores en tomates que recibieron elevadas tasas de fertilización por N. Se encontraron tendencias estacionales para *F. occidentalis* en tomates, correlacionadas al número de flores por planta huésped, que cambiaron con el estado del N en las flores. Las plantas sometidas a unas elevadas tasas de fertilización produjeron flores que tenían mayor contenido en nitrógeno, así como variaciones en varios perfiles de aminoácidos que coincidieron con picos en la densidad de población de thrips. La abundancia de *F. occidentalis* (en particular hembras adultas) estuvo más altamente correlacionada a las concentraciones de fenilalanina en flores durante los picos de población. Se encontró que otras poblaciones de insectos se incrementaban siguiendo la fertilización química del N incluyendo fall armyworm en maíz, gusano del elote del algodón, psila del peral en perales (*Pyrus sp*.), comstock mealybug (*Pseudococcus comstocki*) en manzano (*Malus sp*.) y gusano barrenador de maíz (*Ostrinia nubialis*) en campos de maíz. Las evidencias sugieren nuevamente que altos niveles de aplicaciones de fertilizantes químicos pueden causar desequilibrios nutricionales en los cultivos, haciéndolos a su vez más susceptibles a la presión de las enfermedades por insectos. Debido a que las plantas son una fuente de nutrientes para los insectos herbívoros, un incremento en el contenido de nutrientes de la planta podría argumentar que incrementara su aceptabilidad como fuente de alimento a las poblaciones de plagas. Las variaciones en la respuesta herbívora puede ser explicada por diferencias en el comportamiento alimentario de los mismos herbívoros [24]. Por ejemplo, incrementando las concentraciones de N en plantas de chaparral (*Larrea tridentate*), se encontró que las poblaciones de insectos chupadores crecían, pero el número de insectos masticadores disminuía. Con mayor fertilización por N, la cantidad de nutrientes en la planta se incrementa, así como la cantidad de compuestos secundarios que podrían afectar selectivamente a los patrones de alimentación herbívora. Los inhibidores de la digestión de

proteína que se acumulan en las vacuolas de la célula vegetal no fueron consumidas por los herbívoros chupadores, pero inhibieron a los herbívoros masticadores [18].
Revisando 50 años de investigación relacionada con la nutrición de las cosechas y el ataque de insectos, Scriber (1984) [19] encontró 135 estudios mostrando un daño incrementado y/o crecimiento de insectos masticadores de hojas o ácaros en cultivos fertilizados con N, frente a menos de 50 estudios en los cuales el daño por la alimentación de las plantas fue reducido por regímenes de fertilización normal. En agregados, estos resultados sugieren una hipótesis con implicaciones para los patrones de uso de fertilizantes en agricultura, al saber que altos aportes de N pueden precipitar altos niveles de daño herbívoro en cosechas. Como corolario, las cosechas de vegetales podrían esperarse que fueran menos propensas a las plagas de insectos y enfermedades si usaran enmiendas orgánicas del suelo, que generalmente resultan en menores concentraciones de N en el tejido vegetal. Quizás alcanzando una concentración foliar de N más uniforme durante el año, evitando pulsos de altos niveles de N foliar seguidos de aplicación de fertilizantes de N, pudiera ser una estrategia clave para alcanzar los niveles nutricionales óptimos de la cosecha que disuadieran el ataque de plagas. Letourneau (1988) [25] cuestiona si la hipótesis del "daño por N", basada en la revisión de Scriber [19], pudiera ser extrapolada a un aviso general sobre los aportes de fertilizante asociados al ataque de plagas en los agroecosistemas. De 100 estudios de insectos y ácaros en plantas tratadas experimentalmente con niveles altos y bajos de fertilización con N, Letourneau encontró que dos tercios de los estudios mostraban un incremento en el crecimiento de insectos, en su supervivencia, tasa reproductiva, densidades de población o niveles de daño en las plantas en respuesta al incremento de fertilización por N. El tercio remanente de los estudios de artrópodos mostró o bien una disminución en el daño con fertilizante de N, o bien que no hay cambios significativos. El autor indicó, sin embargo, que el diseño experimental puede afectar a los tipos de respuestas observadas, lo cual plantea un problema a las respuestas de insectos a tratamientos de fertilización químicos y orgánicos. Primeramente, la mayoría de los estudios fueron realizados en macetas, frente a menos de un 10% que se realizaron en campos de cultivo a gran escala, lo que hubiera proporcionado un conjunto de condiciones más realistas tanto para la captación de N por las plantas y la subsiguiente respuesta herbívora. En segundo lugar, los estudios realizados en campos no apoyan claramente la hipótesis del daño por N. Aunque el tamaño de muestra fue muy pequeño, la mayoría de las comparaciones mostraron un incremento no significativo en la actuación o daño de los artrópodos con incremento de N. Incluso en los experimentos en macetas los resultados que apoyaron la hipótesis del daño por N fueron inferiores al 60%. Sólo en los estudios en invernadero la hipótesis del daño por N parece mantenerse como cierta. En tercer lugar, el daño actual fue medido en sólo el 20% de los estudios. Los niveles de población (los cuales podrían incluir diversos grupos de edad del insecto) podrían ser el siguiente vaticinador más importante del daño, pero los estudios en que se miden estos parámetros no apoyaron la hipótesis del daño de N más allá de los parámetros medidos de crecimiento, supervivencia, o tasa reproductiva en especies individuales de insectos.

4. Las dinámicas de insectos herbívoros en sistemas gestionados orgánicamente

Los estudios que documentan la menor abundancia de varios insectos herbívoros en sistemas de bajo aporte, tienen una atribución parcial de estas reducciones al menor contenido en N en los campos cultivados de forma orgánica [4]. En Japón, la densidad de inmigrantes de la especie de saltamontes *Sogatella furcifera* fue significativamente menor, así como la tasa de establecimiento de hembras adultas y la tasa de supervivencia de los estados inmaduros de las generaciones siguientes fueron generalmente más bajas en campos de arroz orgánicos en comparación con los campos de arroz convencionales. Consecuentemente, se encontró que la densidad de las ninfas de saltamontes y de adultos en las siguientes generaciones decrecía en los campos cultivados de manera orgánica [26].

En Inglaterra, los campos convencionales de trigo de invierno mostraban una mayor infestación del áfido *Metopolophium dirhodum* que su contraparte orgánica [27]. El cultivo convencional de trigo de invierno tenía mayores niveles de aminoácidos libres de proteína en sus hojas durante Junio, lo cual se atribuía a una capa de N superficial aplicada de forma temprana en Abril. Sin embargo, la diferencia en las infestaciones por áfidos entre cultivos fue atribuida a la respuesta de los áfidos a las proporciones relativas de ciertos aminoácidos no proteicos a proteicos presentes en las hojas en el momento del asentamiento del áfido en los cultivos. Los autores concluyen que la fertilización química del trigo de invierno fue más aceptable que su contraparte cultivada de forma orgánica; debido al alto nivel de infestación. En experimentos en invernadero, cuando se dio una opción entre el maíz crecido en suelos orgánicos frente a suelos químicamente fertilizados recogido en granjas próximas, las hembras del perforador del maíz (*Ostrinia nubilalis*) pusieron significativamente más huevos en las plantas fertilizadas químicamente [5]. Interesante, había una variación significativa en la puesta de huevos entre los tratamientos con fertilizantes químicos dentro del suelo manejado de forma convencional, pero en plantas bajo manejo orgánico del suelo, la puesta de huevos fue uniformemente baja. Reuniendo los resultados a lo largo de tres granjas estos mostraron que la variación en la puesta de huevos fue 18 veces mayor entre plantas en suelos manejados convencionalmente que entre plantas crecidas en un régimen orgánico. Los autores sugieren que esta diferencia es evidencia de una forma de protección biológica encontrada de forma característica más comúnmente en suelos manejados de forma orgánica. [28] realizó una serie de experimentos de 1989 a 1996 en los cuales el brócoli (*Brassica oleraceae*) fue sometido a varios regimenes de fertilización (convencional frente a orgánico). El objetivo era probar los efectos de diferentes fuentes de N en la abundancia de las plagas de insectos dominantes, áfido de la col (*Brevicoryne brassicae*) y escarabajo del prado (*Phyllotreta cruciferae*). Los monocultivos fertilizados de manera convencional desarrollan consistentemente una mayor infestación de escarabajos del prado, y en algunos casos del áfido de la col, que los sistemas de brócoli fertilizado de forma orgánica. La reducción de las infestaciones de áfido y escarabajo en las macetas fertilizadas de forma orgánica se atribuyó a menores niveles de N libre en el follaje de las plantas. Esto favorece aun más la visión de que la preferencia de la plaga de insectos se puede moderar por alteraciones al tipo y a la cantidad de fertilizante usados.

Por contraste, un estudio comparando las respuestas de la población de plagas de Brassica a los fertilizantes orgánicos frente a los sintéticos, midió mayores poblaciones de escarabajos Phyllotreta en las macetas de col (*B. oleracea*) con enmienda de lodo más temprano en la temporada comparadas con las macetas con enmienda de fertilizante mineral y con las no fertilizadas [29]. Sin embargo, posteriormente en la temporada, en estas mismas macetas, los niveles de población de insectos fueron menores en las macetas para plagas de escarabajos, áfidos y lepidópteros. Esto sugiere que los efectos del tipo de fertilizante varía con el estado de crecimiento de la planta y que los fertilizantes orgánicos no disminuyen necesariamente las poblaciones de plagas, incluso en ocasiones, desafortunadamente puede incrementarlas. Por ejemplo, en una encuesta a productores de tomate de California, a pesar de las pronunciadas diferencias en la calidad de la planta (contenido en N de hojas y brotes) tanto dentro como entre los campos de tomates, Letourneau *et al*. (1996) [30] no encontraron indicaciones de mayores concentraciones de N en las plantas de tomate que estuvieran asociados con mayores niveles de daño por insectos.

5. Cambios en el estado de la plaga debido al incremento en el uso de fertilizante

La mayoría de los agricultores Cakchiquel respondiendo a una encuesta realizada en Patzun, Guatemala, no reconocían los insectos herbívoros como un problema en sus maizales cultivados de forma alterna con frijoles, habas (*Vicia faba*), y/o calabaza (*Cucurbita maxima, C. pepo*) [31]. Los agricultores atribuían esta falta de plagas a medidas preventivas incorporadas en sus prácticas agrícolas, incluyendo técnicas de manejo de suelo. Los agricultores Patzun mezclaban tradicionalmente cenizas, deshechos de pollo, restos de cosecha, malas hierbas, capa de hojas, y estiércol para producir compost. Sin embargo, desde 1960, fueron introducidos los fertilizantes sintéticos en la región y se adoptaron rápidamente en la zona. Hoy, la mayoría de los agricultores han reemplazado los fertilizantes orgánicos con urea ($CO(NH_2)_2$), aunque algunos reconocen las consecuencias negativas del cambio y se quejan de que las poblaciones de plagas se han incrementado en su maizal desde la introducción de los fertilizantes sintéticos.

En su encuesta de las zonas altas de Guatemala, Morales *et al*. (2001) [31] encontraron que los campos de maíz tratados con fertilizantes orgánicos (aplicados durante 2 años) albergaban menos áfidos (*Rhopalosiphum maidis*) que el maíz tratado con fertilizantes sintéticos. Esta diferencia era atribuida a una mayor concentración de N foliar en el maíz en las parcelas con fertilizantes sintéticos, aunque los números del gusano (*Spodoptera frugiperda*) mostraron una débil correlación negativa con los niveles de N incrementados.

Mientras que los fertilizantes están infrautilizados en la mayor parte de Asia, se da una sobre-fertilización en algunas regiones, especialmente donde hay una producción intensiva de verduras. En adición a su coste, hay consecuencias ecológicas y de la salud por la fertilización excesiva (Conway *et al*., 1991). El N de la fertilización no utilizado puede terminar como nitrato en el agua subterránea o en arroyos, especialmente donde los cultivos intensivos de verduras se realizan en zonas de montaña (p.ej. las Filipinas, Tailandia). Una encuesta de 3000 pozos excavados en aldeas de la India mostraron que aproximadamente el 20% de ellos contenían niveles de nitrato que excedían los 10 mg de NO_3-N por litro establecidos por la Organización Mundial de la Salud. Los niveles incrementados de N también han sido relacionados al aumento del problema de plagas en el arroz, especialmente el saltamontes marrón de la planta [32].

6.- Conclusiones

La gestión de la fertilización del suelo tiene numerosos efectos en la calidad de la planta, lo cual a su vez puede afectar a la abundancia de insectos y subsecuentemente a los niveles de daño herbívoro. La reasignación de enmiendas minerales en plantas de cultivo puede influenciar la puesta de huevos, las tasas de crecimiento, la supervivencia y la reproducción de los insectos que las utilizan como huéspedes [33]. Aunque es necesaria más investigación, las evidencias preliminares sugieren que las prácticas de fertilización pueden influenciar la resistencia relativa de los cultivos agrícolas a las plagas de insectos. Se encontró que el incremento de los niveles de N soluble en el tejido de la planta tras la fertilización con N generalmente disminuye la resistencia a plagas, aunque este no es un fenómeno universal [5].

Los fertilizantes químicos pueden influenciar dramáticamente el equilibrio de los elementos nutricionales en plantas, y parece que su uso excesivo creará desequilibrio de nutrientes, lo que a su vez reduce la resistencia a las plagas de insectos. Aparentemente los pulsos de N que siguen a elevadas aplicaciones de fertilizante llevan a concentraciones de N foliar, lo cual hace a las plantas más vulnerables al ataque de plagas. En contraste, las prácticas de

agricultura orgánica, promocionan aparentemente un incremento de la materia orgánica y la actividad microbiana del suelo, y una liberación gradual de los nutrientes de la planta que no conlleva un aumento de los niveles de N en los tejidos vegetales, por lo que en teoría, permitiría que las plantas tendieran hacia una nutrición más equilibrada. Así, mientras que la cantidad de N inmediatamente disponible por el cultivo podría ser menor cuando se aplican fertilizantes orgánicos, el estado alimenticio total del cultivo parece mejorar. Las prácticas de fertilización orgánica también pueden aportar fuentes de elementos secundarios y elementos traza, que ocasionalmente faltan en los sistemas de agricultura convencional que confían principalmente en fuentes artificiales de N, P y K. Además de las concentraciones de nutrientes, la fertilización óptima, que aporta un adecuado balance de elementos, puede estimular la resistencia al ataque de insectos [23]. Las fuentes de N orgánico podrían permitir una mayor tolerancia al daño vegetativo en las plantas debido a que estas fuentes liberan N más lentamente, durante el curso de uno a varios años. [5] subrayó la necesidad de considerar otros mecanismos que sólo el N, examinando la relación entre la gestión de la fertilidad y la susceptibilidad del cultivo a los insectos. Su estudio demostró que la preferencia de puesta de huevos de una plaga foliar puede ser mediada por diferencias en la gestión de la fertilidad del suelo. Así, los menores niveles de plagas de los que se ha informado de manera global en sistemas de agricultura orgánica podrían, en parte, surgir de resistencias planta-insecto mediadas por diferencias bioquímicas o de nutrientes minerales en cultivos bajo tales prácticas de gestión. De hecho, sentimos que tales resultados aportan evidencias interesantes que apoyan la visión de que la gestión de la materia orgánica del suelo a largo plazo puede llevar a mejor resistencia de la planta frente a plagas de insectos.

Está claro que son necesarios más estudios comparando las poblaciones de plagas en plantas tratadas con fertilizantes sintéticos frente a orgánicos. Entendiendo los efectos subyacentes de la fertilización orgánica en la salud de la planta nos podría llevar a diseños de programas IPM e ISFM nuevos y mejores. Según acumulamos conocimiento sobre las relaciones entre la fertilidad del suelo y el ataque de plagas de insectos, estamos mejor situados para convertir los sistemas convencionales de producción de cultivos a aquellos que incorporan estrategias agroecológicas para optimizar la fertilización orgánica del suelo, la gestión de la diversidad de cultivos y sistemas más naturales de regulación de plagas sin incurrir en penas en la producción (Fig. 2).

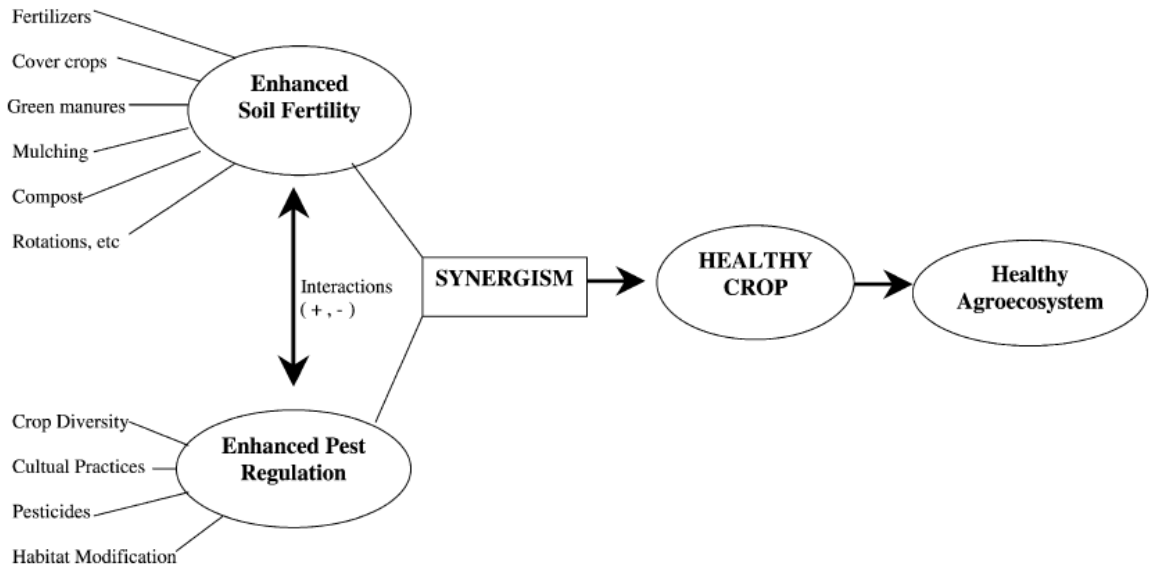

Fig. 1. The potential synergism between soil fertility management and IPM.

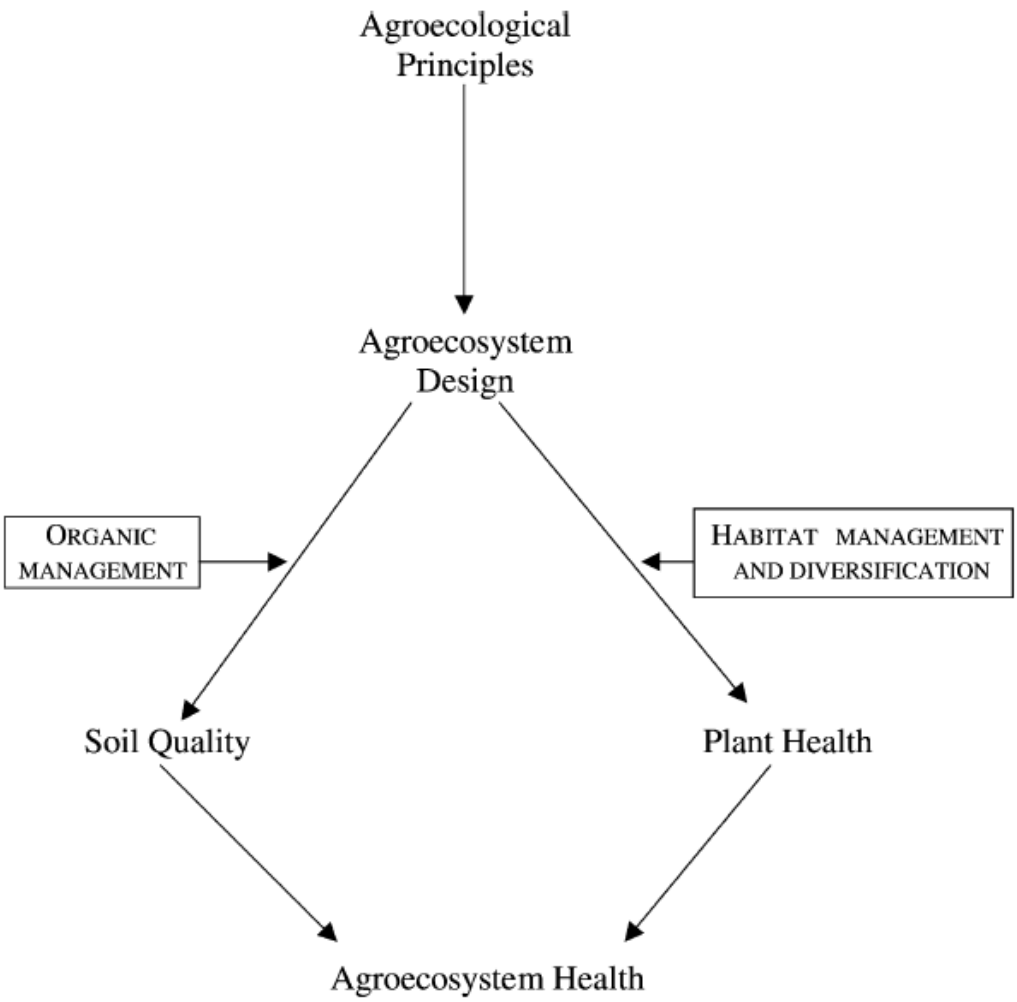

Fig. 2. An approach to agroecosystem health.

Table 1
Summary of effects of inorganic fertilizers on mite abundance from selected studies (Luna, 1988)

Nutrients	Mite species	Crop	Numerical response of insect[a]
N	*Panonychus ulmi*	Apple	+
N	*Tetranychus telarius*	Apple	+
N	*T. telarius*	Beans	+
N, P, K	*Two-spotted spider mite*	Beans/peaches	+
N	*T. telarius*	Tomato	−
N, P	*T. telarius*	Apples	+/−
N, K	*Bryobia praetiosa*	Beans	+/−
N, Ca	*Heliothrips haemorrhoidalis*	Beans	+/−

[a] Symbols: (+) increase in density with increasing rates of fertilizer element; (−) decrease in density with increasing rates of fertilizer element. Slash separates the effects of fertilizer elements listed in nutrients column.

Table 2
Summary of effects of inorganic fertilizers on aphid abundance from selected studies (Luna, 1988)

Nutrients	Insect species	Crop	Numerical response of insect[a]
N, P, K	*M. persicae*	Tobacco	+/∧/+
N	*Schizaphis graminum* (greenbug)	Oats/rye	−
N, lime	*S. graminum*	Oats	−
N	*R. maidis*	Sorghum	+
N, K, Ca	*M. persicae*	Brussels sprouts	+/∨/−
N, P	*Therioaphis maculate* (spotted alfalfa aphid)	Alfalfa	−/+

[a] Symbols: (+) increase in density with increasing rates of fertilizer element, (∧) highest density occurred at intermediate rates of fertilizer element; (−) decrease in density with increasing rates of fertilizer element; (∨) lowest density occurred at intermediate rates of fertilizer element. Slash separates the effects of fertilizer elements listed in nutrients column.

Table 3
Response of herbivores to increased soil nitrogen levels on *Brassica* host plants (Letourneau, 1988)

Host plant	Herbivore species	Factor	Response
Brussels sprouts	*M. persicae*	No. of progeny	Increase
Brussels sprouts	*B. brassicae*	No. of progeny	Small increase, dependent on factors such as K
Rape	*Artogeia rapae*	Oviposition frequency	Increase
Kale and cabbage	*A. rapae*	Oviposition frequency	Increase
Kale	*A. rapae*	Oviposition frequency	Increase
Cabbage	*A. rapae*	Growth rate	Increase
Cabbage	*A. rapae*	Growth rate ultimate size	Increase
Cabbage	*Plutella xylostella*	Feeding preference	Increase

Referencias

[1] Conway, G.R., Pretty, J., 1991. Unwelcome Harvest: Agricultureand Pollution. Earthscan, London.

[2] Merrill, M.C., 1983. Eco-agriculture: a review of its history and philosophy. Biol. Agric. Hort. 1, 181–210.

[3] Oelhaf, R.C., 1978. Organic Agriculture. Halstead Press, New York.

[4] Lampkin, N., 1990. Organic Farming. Farming Press Books, Ipswitch, UK.

[5] 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. Environ. 56, 1–8.

[6] McGuiness, H., 1993. Living Soils: Sustainable Alternatives to Chemical Fertilizers or Developing Countries. Consumers Policy Institute, New York.

[7] Altieri, M.A., Nicholls, C.I., 1990. Biodiversity, ecosystem function and insect pest management in agricultural systems.In: Collins, W., Qualset, C.O. (Eds.), Biodiversity in Agroecosystems. CRC Press, Boca Raton, pp. 69–84.

[8] Magdoff, F., van Es, H., 2000. Building Soils for Better Crops. SARE, Washington, DC.

[9] Slansky, F., 1990. Insect nutritional ecology as a basis for studying host plant resistance. Florida Entomol. 73, 354–378.

[10] Painter, R.H., 1951. Insect Resistance in Crop Plants. University of Kansas Press, Lawrence, KS.

[11] Adkisson, P.L., 1958. The influence of fertilizer applications on population of Heliothis zea and certain insect predators. J. Econ. Entomol. 51, 144–149.
12] Klostermeyer, E.C., 1950. Effect of soil fertility on corn earworm damage. J. Econ. Entomol. 43, 427–429.
[13] Meyer, G.A., 2000. Interactive effects of soil fertility and herbivory on Brassica nigra. Oikos 22, 433–441.
[14] Barker, A., 1975. Organic vs. inorganic nutrition and horticultural crop quality. HortScience 10, 12–15.
[15] Lockeretz, W., Shearer, G., Kohl, D.H., 1981. Organic farming in the corn belt. Science 211, 540–546.
[16] Eggert, F.P., Kahrmann, C.L., 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, pp. 85–94.
[17] Schuphan, W., 1974. Nutritional value of crops as influenced by organic and inorganic fertilizer treatments. Qual. Plant Foods Hum. Nutr. 23, 333–358.
[18] Mattson Jr., W.J., 1980. Herbivory in relation to plant nitrogen content. Annu. Rev. Ecol. Syst. 11, 119–161.
[19] Scriber, J.M., 1984. Nitrogen nutrition of plants and insect invasion. In: Hauck, R.D. (Ed.), Nitrogen in Crop Production. American Society of Agronomy, Madison, WI.
[20] Slansky, F., Rodriguez, J.G., 1987. Nutritional Ecology of Insects, Mites, Spiders and Related Invertebrates. Wiley, New York.
[21] van Emden, H.F., 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. Entomol. Exp. Appl. 9, 444–460.
[22] Brodbeck, B., Stavisky, J., Funderburk, J., Andersen, P., Olson, S., 2001. Flower nitrogen status and populations of Frankliniella occidentalis feeding on Lycopersicon esculentum. Entomol. Exp. Appl. 99, 165–172.
[23] Luna, J.M., 1988. Influence of soil fertility practices on agricultural pests. In: Proceedings of the Sixth International Science Conference of IFOAM on Global Perspectives on Agroecology and Sustainable Agricultural Systems, Santa Cruz,CA, pp. 589–600.
[24] Pimentel, D., Warneke, A., 1989. Ecological effects of manure, sewage sludge and other organic wastes on arthropod populations. Agric. Zool. Rev. 3, 1–30.
[25] Letourneau, D.K., 1988. Soil management for pest control: a critical appraisal of the concepts. In: Proceedings of the Sixth International Science Conference of IFOAM on Global Perspectives on Agroecology and Sustainable Agricultural Systems, Santa Cruz, CA, pp. 581–587.
[26] 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.
[27] Kowalski, R., Visser, P.E., 1979. Nitrogen in a crop–pestinteraction: cereal aphids. In: Lee, J.A. (Ed.), Nitrogen as an Ecological Parameter. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK, pp. 67–74.
[28] Altieri, M.A., Schmidt, L.L., Montalba, R., 1998. Assessing the effects of agroecological soil management practices on broccoli iinsect pest populations. Biodynamics 218, 23–26.
[29] Culliney, T., Pimentel, D., 1986. Ecological effects of organicagricultural practices in insect populations. Agric. Ecosyst.Environ. 15, 253–256.
[30] Letourneau, D.K., Drinkwater, L.E., 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.

[31] 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.
[32] Santikarm, M.K., Perkasem, B., 2000. The Growth and Sustainability of Agriculture in Asia. Oxford University Press, Oxford.
[33] Jones, F.G.W., 1976. Pests, resistance, and fertilizers. In:Proceedings of the 12th Colloquium of the International PotashInstitute on Fertilizer Use and Plant Health, Bern, Switzerland.