

Agroecología: ciencia fundamental para el diseño de fincas resilientes a plagas

MIGUEL A. ALTIERI, CLARA I. NICHOLLS

A partir de años de investigación y experiencias, los autores plantean los elementos básicos que debe tener un agroecosistema para efectuar un adecuado control de sus amenazas biológicas –entre otras– sin caer en el círculo vicioso de la dependencia en insumos externos, sean estos orgánicos o químicos: quebrar el monocultivo mediante esquemas de diversificación que optimicen el hábitat para la fauna benéfica e incrementar la habilidad de un cultivo para resistir o tolerar los ataques.

El concepto de manejo integrado de plagas (MIP) surgió a principios de la década de 1970, en respuesta a las preocupaciones sobre los impactos de los plaguicidas en el medio ambiente y la salud humana. Se esperaba que el MIP, como alternativa a la estrategia de control de plagas con plaguicidas, pudiese cambiar la filosofía de la protección de cultivos al incluir una comprensión más profunda de la ecología de los insectos y de los cultivos que resultaría en una estrategia basada en el uso de varias tácticas complementarias. En estos sistemas los pesticidas se utilizarían como suplementos ocasionales a los mecanismos de regulación natural. Se preveía que la teoría ecológica proporcionara bases para predecir cómo los cambios específicos en las prácticas de producción podrían afectar los problemas de plagas y que la ecología ayudara a diseñar sistemas agrícolas menos vulnerables a ellas. Pero, a pesar de todo el trabajo inicial, el MIP se convirtió en esquemas de “Manejo Inteligente de Plaguicidas” y falló en integrar la teoría ecológica con la práctica. La influencia de las empresas de agrotóxicos ha sido clave en esta desviación.

Las estrategias de MIP han estado dominadas por la idea de la “bala mágica” para controlar brotes específicos de plagas. El MIP no ha abordado las causas que originan los problemas de plagas, enfocando su atención en el síntoma –la plaga– y no en el porqué, dada su estructura de monocultivo, el agroecosistema es vulnerable. Todavía prevalece una visión estrecha de que la única forma de superar las plagas es el uso de insumos externos; incluso muchos agricultores orgánicos dependen de la compra de productos biológicos para atacar a las plagas (liberaciones periódicas de insectos benéficos, insecticidas microbianos o botánicos), quedando atrapados en una “sustitución de insumos”. Este sesgo es puramente técnico y se basa en la “ley del mínimo esfuerzo” como un dogma central según el cual en un momento determinado hay un factor (plaga) que limita el rendimiento y la única manera de superar ese factor es el uso de un insumo

externo (plaguicida). Una vez que el factor limitante (áfidos, por ejemplo) ha sido superado con un insecticida específico como insumo correcto, el rendimiento puede aumentar hasta que otro factor limitante aparece (ácaros, por ejemplo) debido a que con el insecticida aplicado se eliminaron los ácaros depredadores, viéndose nuevamente afectados los rendimientos. Este nuevo factor requiere otro insumo (acaricida), y así, sucesivamente, se va perpetuando el proceso del tratamiento de los síntomas en lugar de abordarse las causas reales del desequilibrio ecológico que se manifiesta como plagas.

La agroecología plantea la necesidad de comprender por qué las plagas insectiles se adaptan rápidamente a los agroecosistemas, pero también de entender por qué las fincas son susceptibles a las plagas. Mediante el diseño de agroecosistemas basados en principios agroecológicos los agricultores pueden reducir sustancialmente la incidencia de plagas, por un lado al afectar el desarrollo de la plaga, y por el otro haciendo que sus cultivos sean menos vulnerables a ser invadidos por estas. Es por esto que el enfoque agroecológico se centra en la reestructuración de los agroecosistemas, aprovechando las ventajas inherentes a los agroecosistemas diversificados y utilizando solo cuando sea necesario tratamientos terapéuticos con interrupciones mínimas.

En este trabajo planteamos dos pilares fundamentales para el manejo agroecológico de plagas: a) quebrar el monocultivo mediante esquemas de diversificación que optimicen el hábitat para la fauna benéfica; b) incrementar la habilidad de un cultivo para resistir o tolerar el ataque de insectos plagas y enfermedades, mejorando las propiedades físicas, químicas y particularmente biológicas del suelo.

Suelos sanos, cultivos sanos

Desde las publicaciones de Chaboussou en la década de 1960 se sabe que la fertilización nitrogenada excesiva causa desbalances nutricionales en los cultivos, reduciendo la



Dos ejemplos de franja permanente de *Lobularia maritima* (que se autosiembra) como refugio de enemigos naturales en sistemas hortícolas. ■ Autores

resistencia de las plantas a plagas y enfermedades. El incremento en las tasas de fecundidad y desarrollo de pulgones, ácaros y trips está generalmente ligado al incremento en los niveles de nitrógeno soluble en los tejidos de las hojas. Un metaanálisis reciente (Letourneau y otros, 2011) de 100 estudios encontró que en el 67% de los casos se reportó un incremento en el desarrollo, supervivencia, tasa reproductiva, densidades de población y/o niveles de daño de plagas en cultivos, como consecuencia del incremento de fertilizantes nitrogenados.

Como corolario, podría esperarse que cultivos bajo fertilización orgánica fueran menos propensos a insectos plagas y enfermedades dadas las menores concentraciones de nitrógeno en el tejido de estas plantas. De hecho varios estudios documentan una menor abundancia de varias especies de insectos herbívoros en sistemas manejados con bajos insumos, atribuida al reducido contenido de nitrógeno de las plantas bajo manejo orgánico.

En experimentos bajo invernadero, al comparar maíz cultivado en potes con suelos orgánicos versus maíz cultivado en potes con suelo fertilizado químicamente, se observó que cuando se liberaban hembras grávidas del barrenador del tallo del maíz (*Ostrinia nubilalis*), depositaban significativamente más huevos en las plantas sobre suelos fertilizados químicamente que en aquellas creciendo en potes con suelo orgánico (Phelan y otros, 1995). Estudios subsecuentes en fincas han mostrado que la varianza en la postura de huevos fue aproximadamente 18 veces mayor en maíz manejado convencionalmente que en maíz bajo un régimen orgánico. Los autores sugieren que esta diferencia es la evidencia de una característica biológica amortiguante que se manifiesta más comúnmente en suelos manejados orgánicamente.

Estudios en arrozales tropicales bajo riego en Asia mostraron que el incremento de la materia orgánica en los suelos aumentó las poblaciones de detritívoros y de algunos fitófagos que se alimentan de plancton, pero que fueron claves al servir de alimento a depredadores generalistas, aumentando sus poblaciones temprano en la estación, cuando aún no estaban las plagas presentes. De esta manera se constituyó anticipadamente un ejército de enemigos naturales que previnieron las explosiones de plagas. En otros cultivos orgánicos, los colémbolos del suelo pueden

jugar una función similar al proveer alimentos alternativos a predadores. El manejo de la materia orgánica ha demostrado ser un mecanismo clave para alcanzar altos niveles de control biológico natural.

Quebrando los monocultivos

Es ampliamente aceptado que restaurar la diversidad vegetal en las fincas confiere una estabilidad de largo plazo a las poblaciones de insectos presentes, probablemente porque en agroecosistemas complejos existe una variedad de parasitoides y depredadores disponibles para suprimir el crecimiento potencial de las poblaciones de especies plagas. La diversificación de agroecosistemas incrementa las oportunidades ambientales para los enemigos naturales y, consecuentemente, conlleva a un mejoramiento del control biológico de plagas. Prácticas agroecológicas como policultivos, sistemas diversificados de cultivo-arvenses, cultivos de cobertura, setos vivos, corredores, etc., conservan enemigos naturales al asegurarles una serie de requisitos ecológicos, como acceso a hospederos alternos, recursos alimenticios como polen y néctar, hábitats para hibernación y microclimas apropiados. La idea es restaurar los mecanismos de regulación natural adicionando biodiversidad funcional dentro y alrededor de los agroecosistemas.

Restaurar la diversidad del paisaje

Una de las características del paisaje agrícola moderno es el gran tamaño y homogeneidad de los monocultivos, que fragmentan el natural. En la medida en que se homogeneiza el paisaje y aumenta la perturbación del ambiente, este se torna cada vez más desfavorable para los enemigos naturales de plagas. Por ejemplo, en cuatro estados del medio oeste de los Estados Unidos, la expansión de monocultivos de soja para biocombustibles redujo la diversidad paisajística, lo que disminuyó el suministro de enemigos naturales de plagas a los campos de soja y redujo los servicios del control biológico en un 24%. Esta pérdida de servicios de control biológico cuesta a los productores de soja de la región un estimado de 58 millones de dólares por año, por la reducción de los rendimientos y el aumento del uso de plaguicidas (Landis y otros, 2008).

Datos recientes demuestran que hay un incremento de enemigos naturales y control biológico en áreas donde



Corredor biológico en un viñedo de California para la circulación de enemigos naturales de plagas desde el bosque circundante al cultivo. ■ Autores

permanece la vegetación natural en los bordes de los campos. Estos hábitats son importantes como sitios de refugio y alimento para los enemigos naturales que colonizan los agroecosistemas desde los bordes en cada etapa de crecimiento del cultivo. En campos de maíz en Michigan, Estados Unidos, el nivel de control biológico del noctuido (*Pseudaletia unipunctata*) por parasitoides fue mayor en los campos de maíz de tamaño pequeño dentro de un paisaje de abundantes setos y árboles, que en los grandes monocultivos sin vegetación en los bordes. En el norte de Alemania, en campos rodeados por paisajes complejos, hubo menos niveles de daño causado por el escarabajo de la colza (*Meligethes aeneus*) dados los mayores porcentajes de mortalidad larval causada por tres parasitoides icneumonídeos. Se observó que el porcentaje de parasitismo fue mayor en los márgenes de los campos (50%) que en el centro (20%).

Una manera de extender la diversidad biológica presente en los paisajes circundantes a los monocultivos de gran escala es el establecimiento de corredores biológicos que permitan la circulación y la distribución de artrópodos benéficos hacia el centro de los monocultivos. En el norte de California, Estados Unidos, se estableció un corredor vegetal que estimuló el movimiento de enemigos naturales para dispersarse por todo el viñedo, regulando así poblaciones de plagas hasta distancias de 50 metros desde el corredor. Tales corredores biológicos deben estar constituidos por especies localmente adaptadas y con periodos de floración secuenciales que atraigan y alberguen a una abundante diversidad de depredadores y parasitoides todo el año. Otra manera es introducir franjas de plantas en floración entre los cultivos como una forma de garantizar el recurso alimenticio de polen y néctar necesario para la reproducción óptima, la fecundidad y la longevidad de muchos enemigos naturales. Franjas de *Phacelia*, *Alyssum*, *Fagopyrum esculentum* (trigo sarraceno), *Daucus carota* (zanahoria silvestre) y otras se han introducido en varios cultivos, lo que ha facilitado una mayor abundancia de depredadores y parasitoides, especialmente moscas depredadoras de la familia Syrphidae, que han permitido la reducción de las poblaciones de pulgones. En Inglaterra, el establecimiento de las gramíneas *Dactylis glomerata* y *Holcus lanatus* en trigo y otros cultivos sirven como "bancos de carábidos" disponiéndose en franjas paralelas a las líneas de cultivo, colocadas a

intervalos que atraviesan el cultivo para favorecer a las poblaciones de enemigos naturales en toda la superficie cultivada. Varios ensayos en Suiza e Inglaterra están evaluando franjas de flores sembradas cada 100 metros a lo largo del campo y que se dejan todo el año como refugios. Estas franjas de 6 metros de ancho cubren menos del 2% del área cultivada y pueden ahorrar más del 50% del uso de plaguicidas tóxicos.

Diversificación dentro de los campos

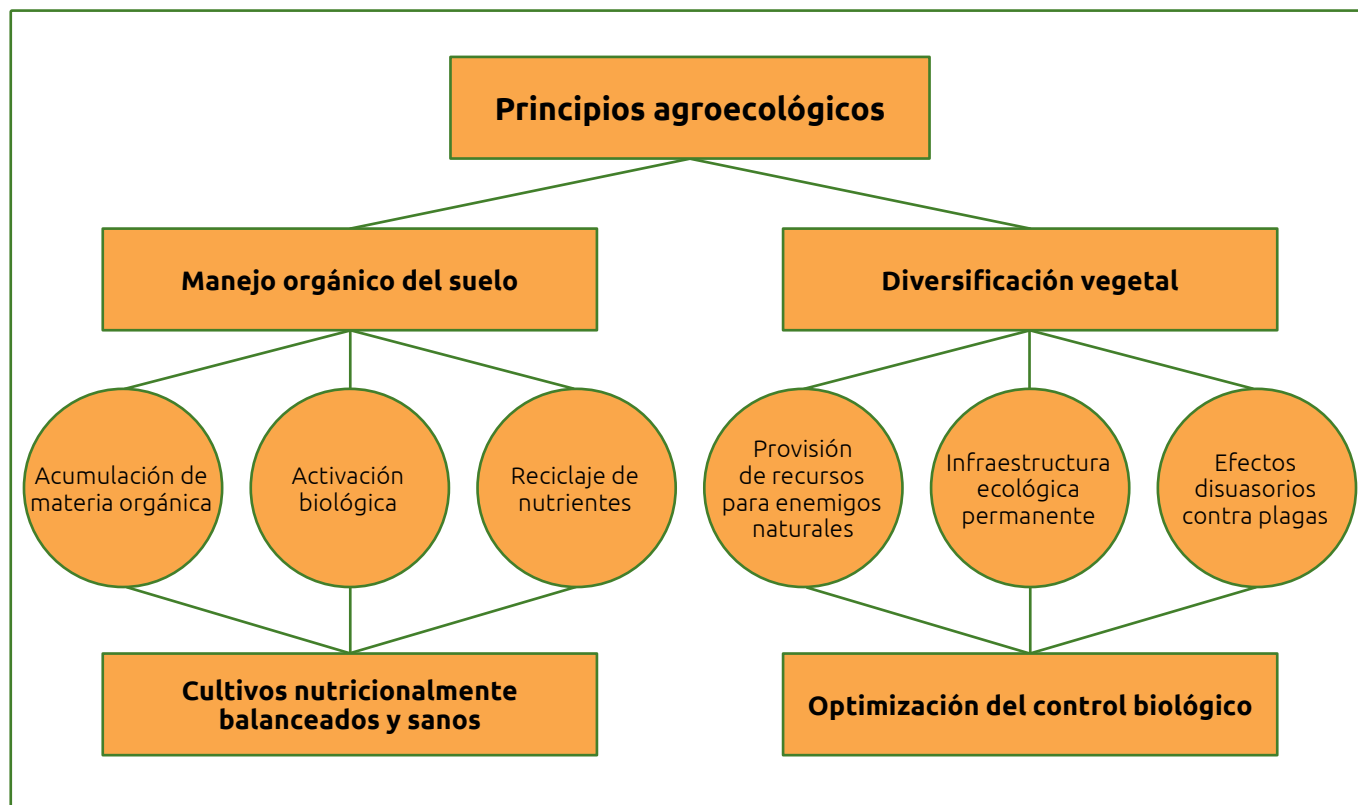
En los últimos 40 años, muchos estudios han evaluado los efectos que sobre la densidad y daño a plagas tiene la diversificación de cultivos en la forma de policultivos. Uno de los sistemas más estudiados es la milpa (policultivo de maíz-frijol), en la que investigaciones realizadas en México y Colombia han mostrado menor incidencia de plagas como el saltahojas (*Dalbulus maidis*) y los crisomélidos del frijol (Chrysomelidae), así como el cogollero del maíz (*Spodoptera frugiperda*), dada una mayor abundancia de enemigos naturales y también por los efectos disuasorios directos de las asociaciones de cultivos. En 1991 se analizaron los resultados de 209 estudios que incluían 287 especies de plagas y se descubrió que, en comparación con los monocultivos, la población de insectos plaga era más baja en el 52% de los estudios (Andow, 1991). La población de enemigos naturales de las plagas fue mayor en policultivos en el 53% de los estudios y menor en el 9%. De manera inequívoca, la literatura científica sugiere que los esquemas de diversificación generalmente logran resultados positivos significativos que incluyen la mejora de la abundancia y diversidad de enemigos naturales, la reducción de la abundancia de herbívoros y la reducción del daño a los cultivos.

Una aplicación directa de diseños agroecológicos para disminuir incidencia de plagas es el sistema *push-pull* de manejo de hábitat para el control del lepidóptero barrenador del tallo (*Chilo partellus*) en África. El sistema utiliza dos plantas: *Desmodium* intercalado que repele a los barrenadores y pastos Napier y/o Sudán que se plantan alrededor del maíz para atraer a los parásitos de la plaga. La ecología química responsable del control del barrenador implica la liberación de volátiles atractivos de las plantas trampa (pasto Napier) y los volátiles repelentes del *Desmodium*. Esta leguminosa, además, suprime la maleza parásita *Striga* por un factor de 40 en comparación con el maíz en monocultivo. La capacidad de fijación de nitrógeno del *Desmodium* aumenta la fertilidad del suelo, lo que lleva a un incremento de 15 a 20% en el rendimiento del maíz. Este sistema de repelencia y atracción se probó en 450 fincas en dos distritos de Kenya y hoy en día se utiliza en los sistemas nacionales de extensión en África oriental. Los productores que lo adoptaron reportan un aumento de 15 a 20% en el rendimiento del maíz. En el distrito semiárido de Suba, plagado por barrenadores y por *Striga*, se obtuvo un incremento sustancial de forraje que a su vez incrementó el rendimiento de leche. Cuando los productores siembran maíz con el pasto y *Desmodium* juntos, obtienen 2,30 dólares por cada dólar invertido, comparados con 1,50 dólares obtenidos del maíz en monocultivo.

Conclusiones

Mientras los monocultivos se mantengan como la base estructural de los sistemas agrícolas modernos, los problemas de plagas seguirán siendo el resultado de un círculo vicioso que perpetúa el uso de plaguicidas al mantenerse la simplificación de la vegetación que limita las oportunidades ambientales de los enemigos naturales y los desequilibrios nutricionales en los cultivos causados por el exceso de fertilizantes. Ya existen claros signos de que la estrategia del control de plagas con insumos de síntesis química ha llegado a su límite y de que su costo ecológico y social no es justificable. Es necesaria una

Figura 1. Pilares claves para el manejo agroecológico de plagas



Fuente: Elaboración propia.

estrategia alternativa basada en el uso de los principios ecológicos para aprovechar al máximo los beneficios de la biodiversidad en la agricultura. El gran reto para los agroecólogos es desarrollar estrategias que superen los límites ecológicos impuestos por los monocultivos.

La aplicación de los principios agroecológicos provee un marco eficaz para alcanzar la salud de los cultivos mediante la diversificación del agroecosistema, complementada por el mejoramiento de la calidad del suelo. El objetivo principal es mejorar la inmunidad del agroecosistema (mecanismos de control natural de plagas) y los procesos reguladores (ciclo de nutrientes y regulación de poblaciones) a través de diseños agroecológicos que incrementan la diversidad genética y de especies, la acumulación de materia orgánica y la actividad biológica del suelo. La integridad de un agroecosistema depende de las sinergias de la diversidad de plantas, la función continua de la comunidad microbiana del suelo y su relación con la materia orgánica. Se puede argumentar que los agroecosistemas cuyo ciclo de nutrientes está predominantemente modulado por la red trófica del suelo poseen mayor estabilidad ecológica así como resistencia a plagas. Por lo tanto, la gestión agroecológica se debe orientar a mejorar la capacidad de los cultivos para resistir o tolerar plagas mediante la manipulación de las propiedades biológicas de los suelos complementadas por una infraestructura de vegetación que alberga enemigos naturales de plagas y polinizadores (figura 1). Mejorar las interacciones ecológicas positivas bajo y sobre el suelo a través de la integración de las prácticas de manejo de suelos y plagas es una manera robusta y sostenible de optimizar la función total del agroecosistema. ●

Miguel A. Altieri
Clara I. Nicholls

Universidad de California, Berkeley
Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA)

Referencias

- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. 2003. **Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems.** *Soil and Tillage Research* 72: 203.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I. 2004. **Biodiversity and Pest Management in Agroecosystems.** Nueva York: Haworth Press.
- Andow, D. A. 1991. **Vegetational diversity and arthropod population response.** *Annual Review of Entomology* 36: 561-586.
- Chaboussou f. 1967. **La trophobiose ou les rapports nutritifs entre la Plante-hôte et ses parasites.** *Ann. Soc. Ent. Fr.*, 3(3): 797-809.
- Chaboussou f. 1972. **La trophobiose et la protection de la Plante.** *Revue des Questions Scientifiques*, Bruselas, 143(1): 27-47 y 143(2): 175-208.
- Landis, D. A. y otros. 2008. **Increasing corn for biofuel production reduces biocontrol services in agricultural landscapes.** *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 20552-20557.
- Letourneau, D. K. y otros. 2011. **Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review.** *Ecological Applications* 21(1): 9-21.
- Khan, Z. y otros. 2000. **Exploiting chemical ecology and species diversity: stemborer and striga control for maize and sorghum in Africa.** *Pest Management Science* 56: 957-962.
- Nicholls, C. I., Parrella, M. P. y Altieri, M. A. 2001. **The effects of a vegetational corridor on the abundance and dispersal of insect biodiversity within a northern California organic vineyard.** *Landscape ecology* 16: 133-146.
- Phelan, P. L., Mason, J. F. y Stinner, B. R. 1995. **Soil fertility management and host preference by European corn borer, *Ostrinia nubilalis*, on *Zea mays*: a comparison of organic and conventional chemical farming.** *Agric. Ecosyst. and Env.* 56: 1-8.