

La diversidad de los agroecosistemas

F.X. Sans

Departament de Biologia Vegetal. Facultat de Biologia. Universitat de Barcelona. Avda. Diagonal 645. Barcelona 08028.

La diversidad de los agroecosistemas. El artículo analiza el efecto de la intensificación de las actividades agrícolas sobre el funcionamiento de los agroecosistemas y destaca la necesidad de incorporar las bases científicas y los modelos de gestión de la agroecología que permitan armonizar la producción agraria, la conservación de los recursos naturales y el desarrollo rural. Se discute la importancia de la diversidad en el funcionamiento de los agroecosistemas y la necesidad de identificar el tipo de diversidad que se quiere mantener o favorecer con el objetivo de llegar a un equilibrio ecológico y, en consecuencia, proponer las prácticas agrícolas más adecuadas para favorecer la diversidad. Además el artículo muestra que la agricultura ecológica favorece la diversidad de las comunidades arvenses en los cultivos cerealistas mediterráneos y la presencia de especies propias de los sembrados. La agricultura ecológica –principalmente la ausencia de herbicidas- conlleva un aumento de la abundancia de las especies arvenses y cambios en la composición florística al favorecer las especies de hojas anchas y polinizadas por insectos, y las leguminosas. El artículo señala la importancia de estudiar estas interacciones desde un punto de vista ecológico con objeto de valorar su papel en la estructura trófica de los agroecosistemas e identificar potenciales especies perjudiciales o benéficas desde un punto de vista agronómico.

Palabras clave: Agroecología, agricultura ecológica y convencional, diversidad, especies arvense.

The diversity of agroecosystems. The paper analyses the effect of intensification of agricultural activities on agroecosystems functioning and remarks the need to incorporate the scientific basis and agriculture-management models of agroecology that harmonize farm production, the conservation of natural resources and rural development. The importance of diversity in agroecosystems is discussed and the need to identify the kind of diversity to be maintained and favoured with the aim of striking the ecological balance and thereby proposing the most appropriate agricultural practices to favour diversity. Furthermore, the paper shows that organic farming is an effective tool to enhance weed diversity in Mediterranean dryland cereal fields and promotes weed communities with a high number of characteristic segetal species. Moreover, organic practices –mainly the lack of herbicide treatments- produced an increase in weed cover but also a shift in its floristic composition, which favoured broad-lived, insect-pollinated plants and legumes. It is worth studying precisely these interactions in order to establish their effect on upper-level diversity and to identify potential pest or beneficial species from an agronomic point of view.

Key words: Agroecology, organic and conventional farming, diversity, weeds.

La gestión de la diversidad en los agrosistemas

Los ecosistemas agrícolas son sistemas antropogénicos, es decir, su origen y mantenimiento van asociados a la actividad del hombre, que ha transformado la naturaleza para obtener principalmente alimentos. La antigüedad de la actividad humana y el ritmo pausado de las intervenciones durante las diversas etapas de la agricultura ha permitido un notable acoplamiento entre las prácticas agrícolas y los ecosistemas seminaturales que se generan. Son ejemplos de esta “coevolución” el funcionamiento de muchos sistemas agropastorales tradicionales. En cambio, el modelo de producción “industrial” originado desde la “revolución verde”, cada vez más criticado, ha llevado a la ruptura de las relaciones entre la agricultura, la cultura rural y el entorno físico, y es la causa de la crisis de la agricultura moderna y el abandono de numerosos espacios rurales.

La excesiva intensificación de las actividades agrícolas ha comportado, en muchos casos, la drástica transformación del paisaje, el empobrecimiento de los suelos y la aceleración de los procesos irreversibles de erosión. El efecto negativo se ha acentuado durante los últimos cincuenta años con el uso de métodos químicos para la protección de los cultivos que ha originado contaminaciones, a menudo de carácter irreversible. Además, la concentración espacial de las explotaciones ganaderas desvinculadas de la producción agrícola ha creado problemas de contaminación de acuíferos, de erosión y de producción de residuos. El cambio de gestión de los sistemas agrícolas y pastorales que se ha producido en los últimos decenios ha motivado que la agricultura y la ganadería tradicional hayan sido desplazadas por un tipo de producción muy intensivo basado exclusivamente en criterios económicos con graves consecuencias medioambientales y paisajísticas. Los paisajes rurales mediterráneos muy diversificados de un extraordinario valor cultural y ambiental resultado de la ancestral

gestión armónica con el entorno se han convertido, en buena parte del territorio, en paisajes monótonos y banales como consecuencia de la excesiva roturación y el uso intensivo. Por este motivo, el papel de la agricultura –alrededor del 50% de la superficie de la Unión Europea es de uso agrícola– en la conservación del paisaje y el entorno seminatural es un hecho cada vez más necesario como refleja diversas iniciativas comunitarias relacionadas con la agricultura y el paisaje.

El desarrollo de métodos de gestión agrícola que permitan armonizar la producción agraria, la conservación de los recursos naturales y el desarrollo rural es una necesidad urgente. En este sentido, la agroecología, disciplina que tiene por objetivo el conocimiento de los elementos y procesos clave que regulan el funcionamiento de los agroecosistemas y establece las bases científicas para una gestión eficaz, en armonía con el ambiente, propone el diseño de modelos de gestión agraria basados en un enfoque más ligado al medioambiente y socialmente más sensible, centrados no únicamente en la producción, sino también en la estabilidad ecológica de los sistemas de producción.

La complejidad y estabilidad de los sistemas agrícolas, de manera parecida a la de los sistemas naturales, se basa en su diversidad. Esta diversidad, constituida por un mosaico de elementos –el paisaje agrario– relacionados por una serie de flujos (materiales, energía, organismos, etc.) horizontales entre ellos y verticales dentro de cada uno de ellos en interacción con el uso local de los recursos propios de la cultura rural, es la base para una gestión de agrosistemas sostenibles y el diseño de prácticas que mantengan o aumenten la fertilidad, la productividad y la calidad de las producciones y regulen las poblaciones de las plagas.

El término diversidad hace referencia al conjunto de plantas, animales y microorganismos que viven e interaccionan en un ecosistema –también llamada biodiversidad (Wilson, 1988). Pero los ecosistemas tienen otros tipos de heterogeneidad que más va más allá de la predeterminada por el número de especies. Los ecosistemas varían en la disposición espacial de sus componentes, en los procesos funcionales e, incluso, en el genoma de los organismos. Además, los ecosistemas pueden cambiar a lo largo del tiempo tanto de forma cíclica como estacional. La diversidad, en consecuencia, tiene diversas dimensiones que amplían el concepto de diversidad –la diversidad ecológica (Gliessman, 2000).

Mientras se acepta que la diversidad es esencial para el correcto funcionamiento de los ecosistemas naturales, a menudo se pone en duda su papel en los sistemas agrícolas. El aumento de la diversidad favorece la diferenciación de hábitat, incrementa las oportunidades de coexistencia y de interacción entre las especies y generalmente lleva asociado una mayor eficiencia en el uso de los recursos. De manera general, los agroecosistemas más diversificados –que suelen coincidir con los gestionados mediante prácticas de la agricultura ecológica y tradicional– tienen mayores ventajas que los altamente simplificados, como los sistemas agrícolas convencionales y, particularmente, los monocultivos. Pero los agroecosistemas, dentro de las limitaciones impuestas por la necesidad de extraer biomasa, pueden tender a niveles de diversidad parecidos a los de los sistemas naturales y beneficiarse del aumento de estabilidad asociada a una mayor diversidad.

Uno de los principales retos es identificar las estructuras y los procesos que aportan funcionalidad sin olvidar que es un sistema productivo que ha de ser económicamente rentable, además de ecológicamente sostenible. La clave es identificar el tipo de diversidad que se quiere mantener o favorecer, tanto a escala de la parcela como del paisaje, con el objetivo de llegar a un equilibrio ecológico y, en consecuencia, proponer las prácticas agrícolas más adecuadas para favorecer la diversidad. Por ello, uno de los retos actuales es demostrar las ventajas de la introducción de la diversidad en los agrosistemas, particularmente aquellos elementos que aportan funcionalidad. Existen numerosas prácticas agrícolas que pueden aumentar la diversidad y otras que, en cambio, la disminuyen. El monocultivo, la fertilización química, el exhaustivo control de las especies arvenses mediante laboreos convencionales o mediante la aplicación de herbicidas y el control de plagas con pesticidas comportan una disminución de la biodiversidad. En cambio, la diversificación de los hábitats mediante las rotaciones, los policultivos, los cultivos de cobertura, el mantenimiento de la vegetación de los márgenes, la fertilización orgánica y los laboreos superficiales se asocian con un incremento de la biodiversidad.

En resumen, se trata de llevar a cabo las mejores prácticas agrícolas con el objetivo de aumentar y regenerar el tipo de biodiversidad que pueda reforzar la sostenibilidad de los agroecosistemas mediante un equilibrio ecológico (control biológico de plagas, ciclo de nutrientes, conservación del agua y del suelo, etc.). El objetivo es integrar los componentes del ecosistema de forma que se mejore la eficacia biológica general, se preserve la diversidad y se mantenga la producción del sistema y su capacidad de autorregulación. La idea es diseñar un agrosistema que imite la estructura y la función del sistema natural local, es decir, un sistema con una gran diversidad específica y actividad biológica, que conserve los suelos, promueva el reciclaje e impida la pérdida de recursos.

Las prácticas agrícolas y la diversidad de las comunidades arvenses: el caso de los cultivos cerealistas mediterráneos

La intensificación y expansión de la agricultura moderna que se inició durante la mitad del siglo XX en Europa representaron un incremento importante del rendimiento de los cultivos. Sin embargo, el aumento de la productividad ha conllevado una extraordinaria simplificación de los sistemas agrícolas y una mayor dependencia de los aportes externos (Altieri, 1999).

Además, el uso extensivo de pesticidas y fertilizantes son la causa de los frecuentes problemas de salud, que afectan tanto a los agricultores como a los habitantes de las zonas rurales, y la contaminación de los ecosistemas naturales asociados a los agrosistemas (Liebman, 2001; Matson *et al.*, 1997; Tilman, 1998). Las estadísticas de la Unión Europea señalan la excesiva fertilización nitrogenada (55 kg ha^{-1} en 2000) y la aplicación de $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$ de materia activa de pesticidas en 2001 (Eurostat, 2006). Durante las últimas décadas se ha constatado en el norte y el centro de Europa la dramática disminución del área de distribución y la abundancia de diversos animales y plantas que habitan en los agroecosistemas (Hole *et al.*, 2005), así como de especies y variedades cultivadas (Matson *et al.*, 1997). Dichas evidencias han provocado el debate acerca de la sostenibilidad de las actuales prácticas agrícolas intensivas, teniendo en cuenta que el área destinada a uso agrícola es superior al 40% y que los cultivos cerealistas representan alrededor de un tercio de la superficie agrícola de la Unión Europea (Eurostat, 2006). La agricultura ecológica, que pretende producir alimentos saludables y respetuosos con el medio ambiente, emerge como una alternativa a las negativas consecuencias de la agricultura convencional (van Elsen, 2000). De este modo, los cultivos ecológicos representan actualmente alrededor del 3,7% del área total agrícola (Eurostat, 2006).

La gestión convencional de los cultivos herbáceos mediterráneos se basa generalmente en el monocultivo de cereal, el elevado aporte de fertilizantes inorgánicos y purines, y la aplicación reiterada de herbicidas e insecticidas con objeto de controlar las especies arvenses y las plagas (**Tabla 1**).

Tabla 1. Principales diferencias entre la gestión convencional y ecológica de los cultivos herbáceos anuales. Información obtenida a partir de entrevistas a los propietarios de las fincas.

	Gestión ecológica	Gestión convencional
Fertilización	Incorporación anual de estiércol animal y/o residuos de cosecha,	Incorporación anual de purines de cerdo y fertilizantes inorgánicos, en algunos casos estiércol de bovino.
Esquema de las rotaciones	Intercalación de diversos cultivos de leguminosas de primavera. Raramente se cultiva más de dos años consecutivos de cereal.	Alternancia de cultivos de trigo y de cebada. Ocasionalmente, el cultivo de leguminosas de primavera rompe ciclos de cuatro o más años consecutivos de cereales de invierno
Gestión de las especies arvenses	Intercalación de cultivos de primavera en el diseño de la rotación. Grada ecológica para el control de las especies arvenses	Aplicación de herbicidas contra las malas hierbas de hoja ancha y estrecha
Origen de las semillas	Resiembra de las propias semillas después de la eliminación de las semillas de especies arvenses	Adquisición de semillas seleccionadas industrialmente

El control intensivo de las especies arvenses ha motivado la dramática reducción de la flora característica de los cultivos cerealistas (Albrecht, 2003; Hilbig, 1982; Romero *et al.*, 2005) –p. ej. especies arvenses con ciclos vitales adaptados al régimen de perturbaciones periódicas asociadas al cultivo de cereal–. Andreasen *et al.* (1996) han constatado en Dinamarca la disminución de la flora propia de los sembrados desde 1970. Diversos trabajos señalan cambios en la abundancia de las especies arvenses en Inglaterra y el norte de Europa (Hyvonen *et al.*, 2003a; Marshall *et al.*, 2003; Sutcliffe y Kay, 2000). La diversidad de las comunidades arvenses no tiene únicamente como valor la conservación de la biodiversidad sino que también contribuye a mantener la complejidad trófica (Marshall *et al.*, 2003) y propiedades del agrecosistema como la estabilidad (Vandermeer *et al.*, 1998). Por el contrario, el manejo ecológico de los cultivos herbáceos de secano se centra en el aporte limitado de fertilizantes orgánicos, la rotación de los cultivos, y el control mecánico de las especies arvenses (p.ej. grada ecológica de púas flexibles) con el objetivo de alcanzar producciones elevadas (**Tabla 1**). Desde una perspectiva ecológica, el manejo ecológico y convencional difiere en el tipo y la cantidad de recursos aportados al sistema –cantidades limitadas de estiércol vs. purines y fertilizantes inorgánicos– así como en la intensidad y la regularidad de las perturbaciones durante el ciclo del cultivo. En este sentido, los cultivos herbáceos ecológicos mediterráneos presentan un régimen variable y de baja intensidad de perturbaciones; las especies arvenses se controlan mediante métodos mecánicos así como mediante rotaciones que incluyen generalmente cultivos de primavera como las vezas y los guisantes.

Diversos estudios han comparado la vegetación arvense de cultivos de cereales gestionadas mediante prácticas ecológicas y convencionales en el norte y el centro de Europa. Mientras algunos trabajos se han centrado en el efecto de la interacción del

paisaje y el manejo sobre la diversidad de las comunidades arvenses (Roschewitz *et al.*, 2005; Weibull *et al.*, 2003), otros han analizado el papel ecológico de las comunidades arvenses agrupando las especies en grupos funcionales con objeto de adquirir una mejor percepción de cómo se ensamblan estas comunidades. Así se ha constatado la mayor abundancia relativa de las dicotiledóneas (Moreby *et al.*, 1994) y polinizadas por insectos (Hald, 1999) en los cultivos ecológicos; también se ha señalado que las especies nitrófilas tienden a ser menos dominantes en los cultivos ecológicos que en los convencionales (Hyvonen *et al.*, 2003b; Rydberg y Milberg, 2000) y que las especies características de los cultivos cerealistas, son más frecuentes y abundantes (van Elsen, 2000). Con excepción de Weibull *et al.* (2003) todos los estudios comparativos constatan una mayor abundancia y diversidad, evaluada a partir de la riqueza específica, en los cultivos ecológicos. Teniendo en cuenta la mayor regularidad y intensidad del control de las especies arvenses y la menor rotación de cultivos de las parcelas convencionales respecto de las ecológicas, se puede hipotetizar que un menor número de especies será capaz de habitar en los cultivos convencionales, por esta razón se originan comunidades de arvenses dominadas por pocas especies. Por el contrario, la competencia entre especies se ve favorecida en sistemas menos perturbados y en consecuencia se pueden desarrollar comunidades arvenses más diversas (Bonanomi *et al.*, 2005; Laird y Schamp, 2006).

Recientes estudios del efecto del manejo sobre la flora arvense mediante la comparación de fincas ecológicas y convencionales en Cataluña refleja que la abundancia, el número de especies y la diversidad de la flora arvense son mayores en las fincas ecológicas (**Fig. 1**).

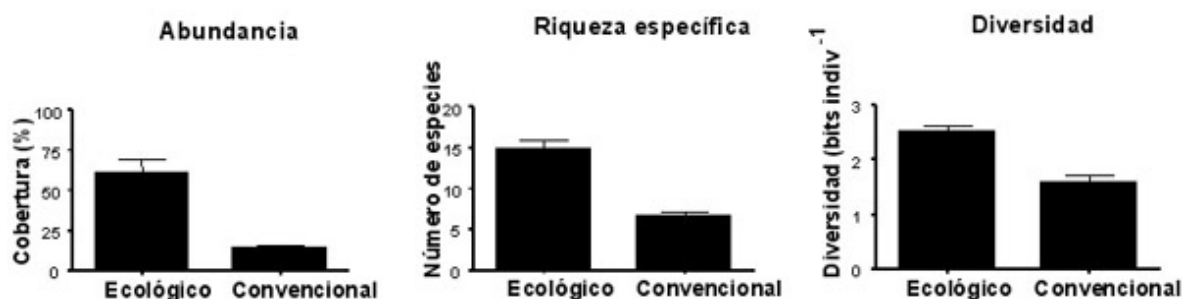


Figura 1. Número de especies, diversidad (índice de Shannon) y abundancia de la vegetación arvense en parcelas gestionadas mediante técnicas ecológicas y convencionales.

Resultados similares se obtienen en el centro de Europa (Gruber *et al.*, 2000; Rydberg y Milberg, 2000; Hald, 1999). Sin embargo, la ausencia de herbicidas no preserva automáticamente de la pérdida de biodiversidad sino que otros factores como son el manejo (p.ej. rotaciones, intensidad del control de las especies arvenses) también tienen importancia (van Elsen, 2000; Hyvonen *et al.*, 2003). Los resultados muestran que la agricultura ecológica es una efectiva herramienta para aumentar la diversidad de las comunidades arvenses y favorece comunidades arvenses con un elevado número de especies características (**Fig. 2**).

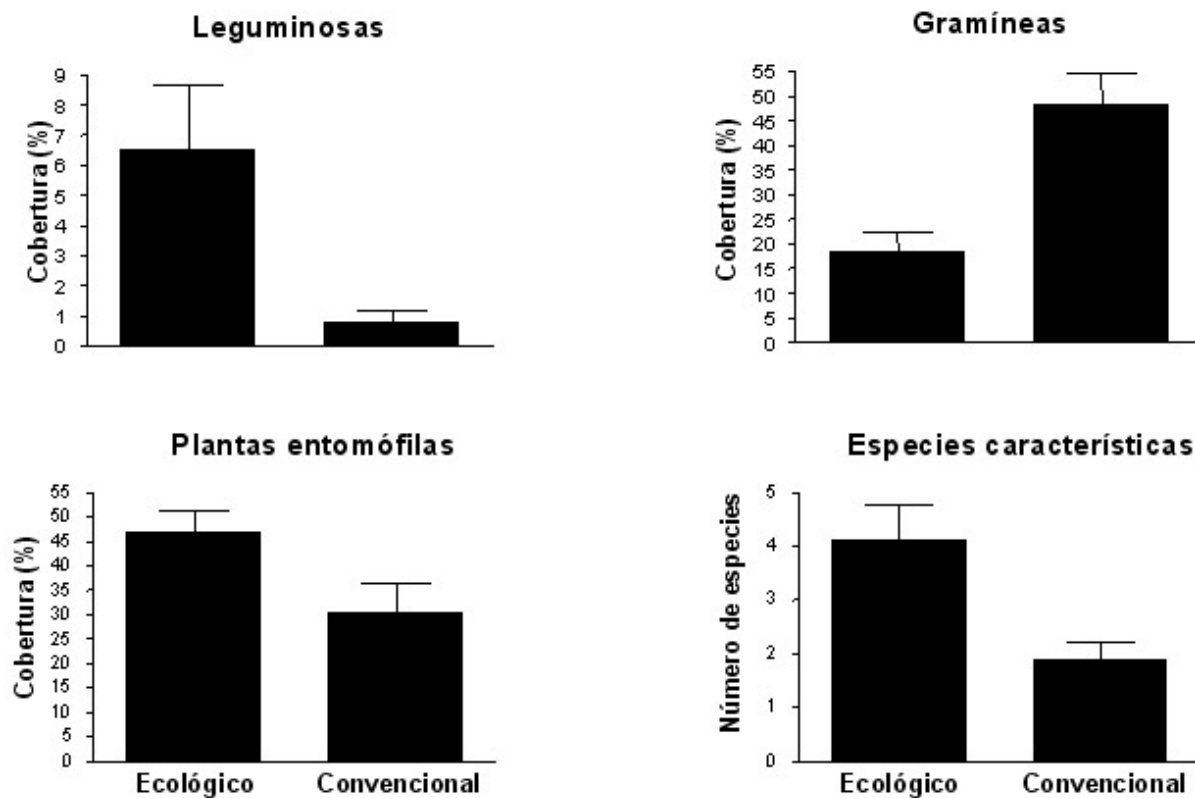


Figura 2. Características funcionales de las comunidades arvenses de parcelas gestionadas mediante técnicas ecológicas y convencionales.

Además, Las prácticas ecológicas –principalmente la ausencia de herbicidas- conlleva un incremento de la abundancia de las especies arvenses pero también un cambio en la composición florística, que favorece las especies de hoja ancha, polinizadas por insectos y las leguminosas (**Fig. 2**). Cabe señalar que la importancia de estudiar estas interacciones con el objetivo de establecer su efecto sobre niveles superiores de la diversidad e identificar potenciales especies perjudiciales o benéficas desde un punto de vista agronómico.

Referencias

- Altieri, M.A. 1997. *Agroecología. Bases Científicas para una Agricultura Sustentable*. CLADES. La Habana, Cuba.
- Albrecht, H. 2003. Suitability of arable weeds as indicator organisms to evaluate species conservation effects of management in agricultural ecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment* 98: 201-211.
- Altieri, M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment* 74: 19-31.
- Andreasen, C., Stryhn, H., Streibig, J.C. 1996. Decline of the flora in Danish arable fields. *Journal of Applied Ecology* 33: 619-626.
- Eurostat (2006. Agricultural Statistics. Data 1995-2004, 2006. European Communities, Luxembourg.
- Gliessmann, S.R. 2000. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. CRC/Lewis Publishers. Boca Ratón, Florida.
- Hald, A.B. 1999. Weed vegetation (wild flora) of long established organic versus conventional cereal fields in Denmark. *Annals of Applied Biology* 134: 307-314.
- Hilbig, W. 1982. Preservation of Agrestal Weeds. In *Biology and Ecology of Weeds* (eds W. Holzner & N. Numata), pp. 57-59. Dr. W. Junk Publishers, The Hague.

- Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P.V., Evans, A.D. 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122: 113-130.
- Hyvonen, T., Ketoja, E., Salonen, J. 2003a. Changes in the abundance of weeds in spring cereal fields in Finland. *Weed Research* 43: 348-356.
- Hyvonen, T., Ketoja, E., Salonen, J., Jalli, H., Tiainen, J. 2003b. Weed species diversity and community composition in organic and conventional cropping of spring cereals. *Agriculture Ecosystems and Environment* 97: 131-149.
- Liebman, M. 2001. *Weed Management: a Need for Ecological Approaches*. In *Ecological Management of Agricultural Weeds* (eds M. Liebman, C.L. Mohler & C.P. Staver), pp. 1-39. Cambridge University Press, Cambridge.
- Marshall, E.J.P., Brown, V.K., Boatman, N.D., Lutman, P.J.W., Squire, G.R., Ward, L.K. 2003. The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research* 43: 77-89.
- Matson, P.A., Parton, W.J., Power, A.G., Swift, M.J. 1997. Agricultural Intensification and Ecosystem Properties. *Science* 277: 504-509.
- Moreby, S.J., Aebischer, N.J., Southway, S.E., Sotherton, N.W. 1994. A comparison of the flora and the arthropod fauna of organically and conventionally grown winter wheat in southern England. *Annals of Applied Biology* 125: 13-27.
- Romero, A.; Chamorro, L., Sans, F.X. 2005. Weed vegetation of organic and conventional dryland cereal fields in the Mediterranean region. In *Proceedings 13th World Congress on Organic Farming* (eds. Köpke, U.; Niggli, U.; Neuhoﬀ, D.; Cornish, P.; Lockeretz, W. & Willer, H), pp. 127-130. International Society of Organic Agriculture Research, Adelaide.
- Roschewitz, I., Gabriel, D., Tschardtke, T., Thies, C. 2005. The effects of landscape complexity on arable weed species diversity in organic and conventional farming. *Journal of Applied Ecology* 42: 873-882.
- Rydberg, N.T., Milberg, P. 2000. A survey of weeds in organic farming in Sweden. *Biological Agriculture and Horticulture* 18: 175-185.
- Sutcliffe, O.L., Kay, Q.O.N. 2000. Changes in the arable flora of central southern England since the 1960s. *Biological Conservation* 93: 1-8.
- Tilman, D. 1998. The greening of the green revolution. *Nature* 396: 211-212.
- van Elsen, T. 2000. Species diversity as a task for organic agriculture in Europe. *Agriculture Ecosystems and Environment* 77: 101-109.
- Vandermeer, J., van Noordwijk, M., Anderson, J., Ong, C., Perfecto, I. 1998. Global change and multi-species agroecosystems: Concepts and issues. *Agriculture Ecosystems and Environment* 67: 1-22.
- Weibull, A.C.; Östman, Ö., Granqvist, A. 2003. Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity and Conservation* 12: 1335-1355.
- Wilson, E.O. 1988. *Biodiversity*. National Academy Press. Washington DC.