Ecología Austral 18:239-252. Diciembre 2008
Asociación Argentina de Ecología

Problemas ambientales asociados a la actividad humana: la agricultura

ELBA B DE LA FUENTE [1, ✉] & SUSANA A SUÁREZ [2]

1. *Cátedra de Cultivos Industriales, Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina.*
2. *Orientación Morfología Vegetal, Departamento de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias Exactas Físico-Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Río Cuarto, Córdoba, Argentina.*

RESUMEN. El crecimiento de la población humana, el consumo per capita y la complejidad de los centros urbanos impulsaron la expansión de la agricultura y la intensificación productiva por unidad de superficie. Estos cambios contribuyeron a la generación de problemas ambientales globales como la alteración de: i) los ciclos biogeoquímicos, ii) los usos de la tierra, iii) la biodiversidad global a todos los niveles, y iv) la dispersión de la biota más allá de los límites geográficos naturales. Las innovaciones tecnológicas continuas mantuvieron el funcionamiento del ecosistema, lo cual da una apariencia de relativa estabilidad y retarda la percepción del deterioro del ambiente. El funcionamiento del ecosistema podría favorecerse al revertir la tendencia actual de degradación del ambiente agrícola y de especialización de la producción agrícola. Aunque los sistemas especializados pueden parecer más productivos a los ojos del agricultor, es posible también que esta percepción haya sido inducida por gran parte de la investigación agrícola, que tiene una "caja de herramientas adecuadas" de experimentos para el desarrollo de tecnología en sistemas simples. Por ello, los investigadores tienen un papel fundamental en la generación de nuevas herramientas que imiten a la naturaleza, y que favorezcan el reciclado de nutrientes, la biodiversidad y los mecanismos de regulación natural. Los agricultores también tienen un papel muy importante en la conservación de las propiedades y funciones del ecosistema, a partir del desafío de planificar un sistema agrícola diverso y complejo, pero al mismo tiempo productivo.

[Palabras clave: intensificación de la agricultura, cambio global, biodiversidad, servicios del ecosistema, sustentabilidad]

ABSTRACT. Environmental problems related to human activities: agriculture: The increasing human population, per capita consumption and complexity of the urban centers, promoted the expansion and intensification of agriculture. These changes generated global environmental problems such as the alteration of: i) the biogeochemical cycles, ii) the land use, iii) the biodiversity at all levels, and iv) the dispersion of the biota beyond natural geographical limits. Permanent technological innovations intended to maintain ecosystem properties and functions, creating the appearance of relative ecosystem stability and retarding the perception of environmental degradation. Ecosystem functioning could be maintained avoiding the actual tendency of specialization of the productive system. Although specialized systems could seem more productive than complex ones to farmer eyes, it is also possible that this perception has been promoted by agricultural research, which developed a suitable "tool box" of experiments for the development of technologies for simple systems. Researchers have a fundamental role in the generation of new tools that resemble nature,

✉ Cátedra de Cultivos Industriales, Depto. de Producción Vegetal, Fac. de Agronomía, Univ. de Buenos Aires. Av. San Martín 4453, (C1417DSE) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
fuente@agro.uba.ar

Recibido: 7 de abril de 2008; Fin de arbitraje: 1 de agosto de 2008; Revisión recibida: 19 de agosto de 2008; Aceptado: 19 de septiembre de 2008

favoring nutrient cycling, biodiversity and natural mechanisms of regulation, and farmers have a very important role the conservation of ecosystem properties and functions by planning agricultural system avoiding over simplification.

[Keywords: agriculture intensification, global change, biodiversity, ecosystem services, sustainability]

Actividades Agrícolas y Problemas Ambientales Globales

La agricultura se remonta a las épocas en que el hombre reemplazó sus hábitos nómadas por sedentarios. Con el correr del tiempo, el aumento del tamaño de la población humana, del consumo per capita y de la complejidad de los centros urbanos, promovieron incrementos constantes de la demanda de alimentos, fibras y energía (Evans 1993; Tilman et al. 2001). En efecto, la población mundial y el consumo per capita crecieron considerablemente desde 1950, ambos con un ritmo mayor en los países en desarrollo con respecto a los desarrollados, aunque el consumo per capita fue mayor en los países desarrollados que en aquellos en desarrollo (Figura 1).

Esta tendencia impulsó la expansión de la agricultura y la intensificación productiva por unidad de superficie en la Argentina y el resto del mundo. La agricultura ocupó y alteró progresivamente los espacios terrestres hasta cubrir una gran proporción de la superficie del planeta. A medida que los suelos aptos para la agricultura resultaban limitantes, las necesidades humanas fueron satisfechas con el aumento de la producción por unidad de superficie mediante innovaciones tecnológicas continuas, conducentes a la intensificación productiva (Evans 1993; Foley et al. 2005; Ghersa 2006). En este contexto, la intensificación de la agricultura podría definirse como el aumento en la duración de la utilización productiva de una porción de tierra que involucra, habitualmente, i) el uso de insumos para subsidiar los reguladores internos y los recursos del ecosistema, ii) la aparente reducción de componentes no planificados de la biodiversidad (malezas, insectos), iii) la especialización del proceso productivo con la consiguiente reducción de los componentes planificados de la biodiversidad (actividades, especies, genes), y v) la dependencia de la economía de mercado para la toma de decisiones (Vandermeer et al. 1998). Argentina no fue una excepción a este modelo ya que su producción agrícola evolucionó de manera comparable a lo que sucedió en el resto del mundo. En los últimos 50 años, el crecimiento en la producción mundial y local de cultivos oleaginosos fue consecuencia tanto de la permanente expansión del área cultivada como del aumento de la productividad por unidad de superficie. En los cereales, el incremento de la producción estuvo asociado a los aumentos en la productividad por unidad de superficie, logrados gracias a las innovaciones tecnológi-

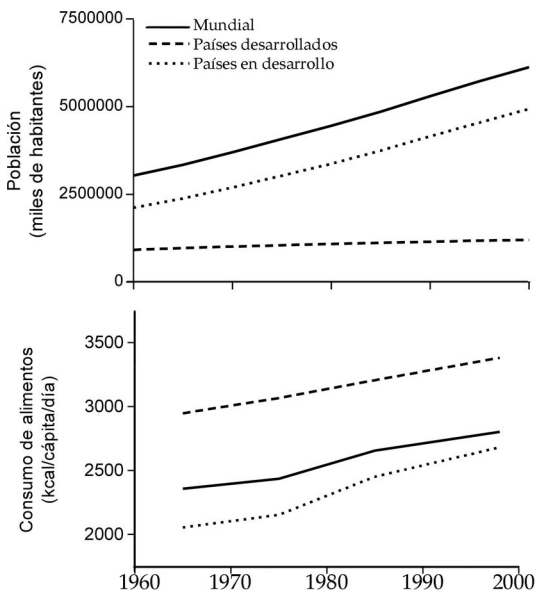

Figura 1. Población mundial (superior) y el consumo de alimentos (inferior) en el mundo, en los países desarrollados y en los países en desarrollo desde 1960 hasta 2000 (FAO 2008).

Figure 1. World population (upper) and food consumption (lower) in developed and developing countries from 1960 to 2000 (FAO 2008).

cas en la genética de los cultivos, en su manejo, y en el uso de subsidios energéticos (FAO 2008) (Figura 2).

A pesar de que las actividades humanas en general, y las agrícolas en particular, variaron a lo largo del planeta, el resultado final fue bastante similar: la utilización de los recursos naturales para satisfacer las necesidades humanas de alimentos y bienes, a menudo a expensas del deterioro del ambiente (Paoletti & Pimentel 2000; Foley et al. 2005). Las continuas compensaciones que producen las innovaciones tecnológicas dan la apariencia de que el estado del agroecosistema permanece relativamente estable y, en consecuencia, también la calidad y la cantidad de los servicios que brinda. Esto hace que los lentos y continuos procesos de deterioro ambiental permanezcan imperceptibles hasta que su magnitud es tal que la tecnología no puede revertir sus efectos negativos sobre los servicios del agroecosistema, o resulta demasiado costosa para ser utilizada (Wolfenbarger & Phifer 2000; Schröter et al. 2005; Ghersa 2006).

Los aumentos de la expansión y de la intensificación de la agricultura ocurridos en el tiempo generaron problemas ambientales como la alteración de: i) los ciclos biogeoquímicos, responsables en parte del calentamiento global y de la contaminación ambiental, ii) el uso de la tierra, a partir del reemplazo de bosques, pastizales y humedales por sitios agrícolas, ii) la biodiversidad global en todos lo niveles, incluyendo desde la diversidad genética dentro de poblaciones hasta la diversidad de ecosistemas en un paisaje, ya sea alterando la composición, riqueza y equitatividad, como las interacciones entre organismos, y iv) la dispersión de la biota más allá de los límites geográficos naturales, a partir de la acción del hombre (Chapin et al. 2000; Norris et al. 2003; Hooper et al. 2005; Schröter et al. 2005) (Figura 3). Estos problemas ambientales generados por la agricultura, que determinan variaciones en las propiedades del ecosistema y en los servicios que presta pueden, a su vez, retroalimentar el proceso directamente al generar nuevos efectos ambientales, o indirectamente al disparar acciones por parte del hombre en respuesta

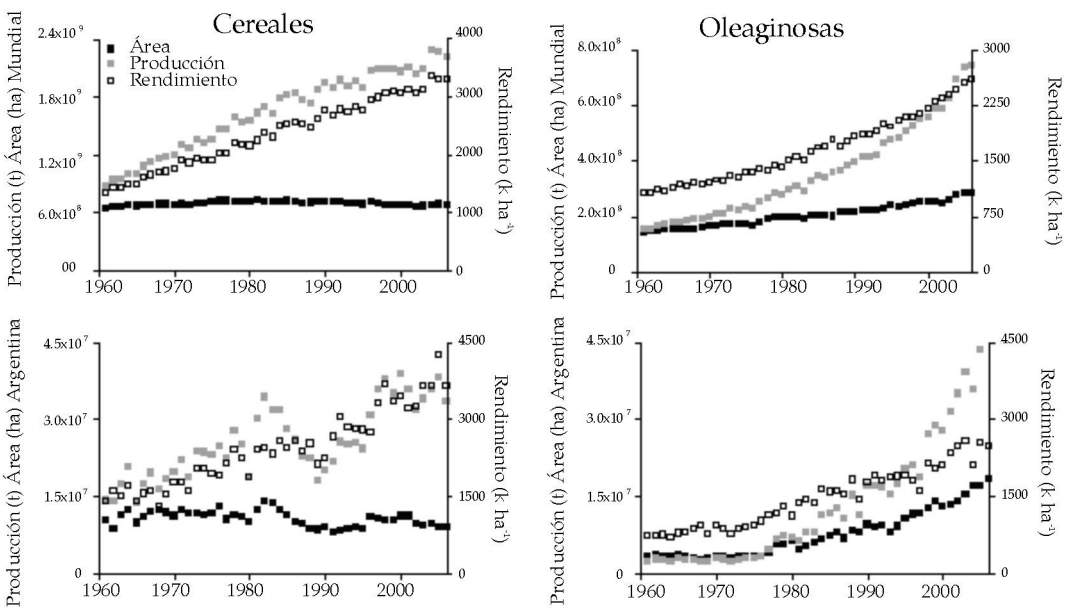

Figura 2. Área, producción y rendimiento de cereales (izq.) y oleaginosas (der.) en el mundo (superior) y en la Argentina (inferior) desde 1960 hasta 2000 (FAO 2008).

Figure 2. Area, production and yield of cereal (left) and oilcrops (right) in the world (upper) and in Argentina (lower) from 1960 to 2000 (FAO 2008).

a los efectos ambientales (i.e., mayor uso de insumos) (Hooper et al. 2005) (Figura 3).

Algunos Problemas Ambientales

Cambios en los ciclos biogeoquímicos

La agricultura jugó un papel importante en los cambios en el ciclo del carbono y en el balance de energía y de agua y, además, contribuyó al incremento en la liberación a la biósfera de contaminantes y gases parcialmente responsables del calentamiento global (Foley et al. 2005). Algunas estimaciones señalan que la combustión de energía fósil y la deforestación incrementaron 30% la concentración de CO_2 atmosférico en los últimos 300 años, y que más de la mitad de este aumento tuvo lugar en los últimos 40 años, potenciado por la agricultura. A su vez, el incremento en la concentración de metano y otros gases también contribuyó al calentamiento global (Chapin et al. 2000).

En la escala global, la cantidad de recursos (nutrientes y agua) disponibles para la agricultura ha disminuido, rápida o lentamente, como resultado de la degradación física, química y biológica de los suelos causada

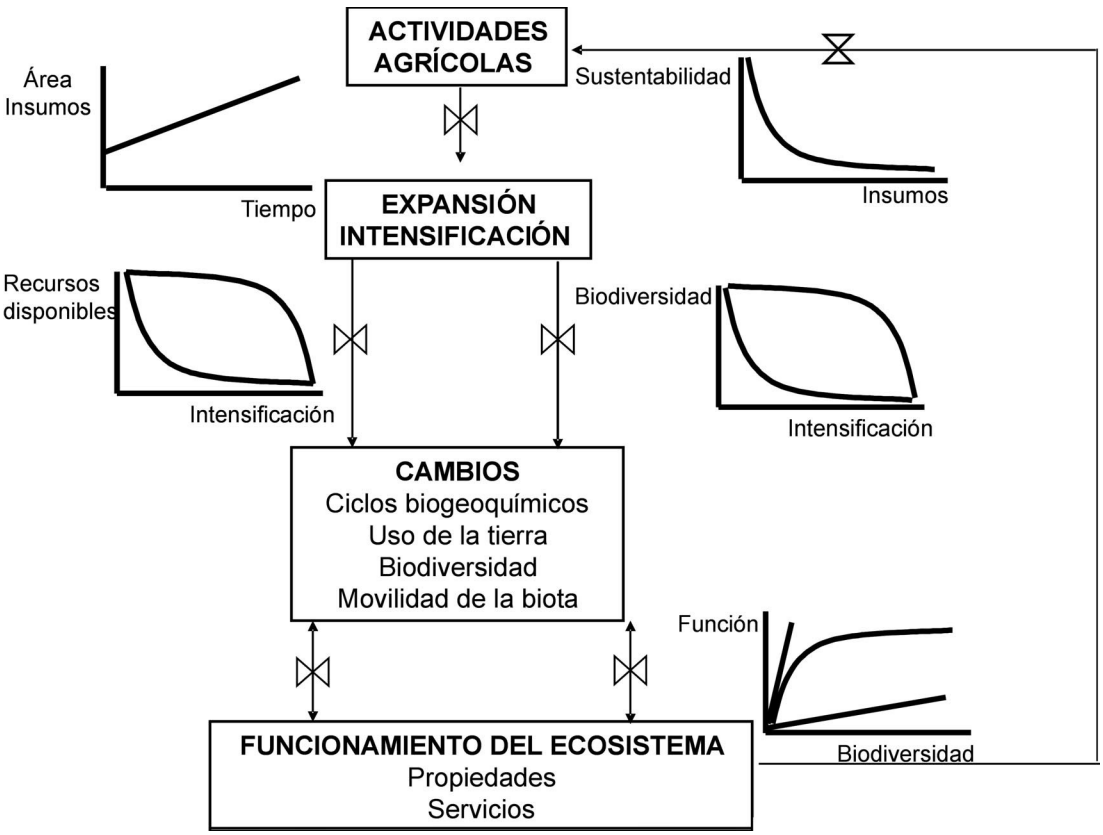

Figura 3. Representación esquemática del impacto de la expansión e intensificación de la agricultura sobre la generación de cambios ambientales y su efecto sobre el funcionamiento del ecosistema, y de la retroalimentación directa o indirecta entre las actividades agrícolas y las propiedades y servicios de ecosistema (adaptado de Chapin et al. 2000 y Hooper et al. 2005). Se incluyen además algunas de las respuestas esperadas.

Figure 3. Diagram of the impact of agriculture expansion and intensification on the generation of environmental changes and its effect on ecosystem functioning, and of direct and indirect feedbacks between agricultural activities and ecosystem properties and services (adapted from Chapin et al. 2000 and Hooper et al. 2005). Some expected responses are also included.

por la intensificación en su uso (Figura 3), y también por el consumo directo de los cultivos. Por ello, la productividad de los cultivos se ha mantenido a través del reemplazo de recursos por insumos (fertilización y riego) y del mayor aprovechamiento de los recursos por parte del cultivo. Esto tuvo lugar tanto a través del uso de cultivares más eficientes como de la reducción de la competencia con malezas o del ataque de plagas y patógenos mediante el uso de agroquímicos. No obstante, en ambientes muy subsidiados el transporte de fertilizantes fosforados y nitrogenados desde los sitios de fabricación hacia los sitios cultivados ha generado un excedente de nutrientes en algunas áreas agrícolas. Esto ha resultado en procesos fuertes de contaminación (Carpenter et al. 1998). El incremento del flujo de fósforo a los océanos se atribuye al aporte excesivo en los suelos agrícolas y a las crecientes tasas de erosión. Entre 1950 y 1995 se aplicaron $600x10^6$ t de fertilizantes fosforados en el mundo, principalmente en áreas cultivadas. La mayor parte permanece en los sitios agrícolas, pero entre 3 y 20% llega al agua superficial por erosión o lavado, lo cual resulta en la eutrofización de los cuerpos de agua (Carpenter et al. 1998). La producción industrial de fertilizantes nitrogenados ha aumentado de manera lineal desde 1940. En EE.UU., sólo 18% del fertilizante aplicado se traduce en productos cosechables, lo cual deja un excedente promedio de 174 kg/ha. Como en el caso del fósforo, este excedente puede acumularse en suelos, exportarse hacia el agua por erosión o lixiviación, o bien puede entrar en la atmósfera por volatilización de amoníaco y producción óxidos de nitrógeno, que contribuyen al calentamiento global y puede catalizar la destrucción del ozono (Carpenter et al. 1998).

En Argentina, las evidencias indican que la disponibilidad de nutrientes en los suelos agrícolas ha disminuido como consecuencia de su degradación (Michelena et al. 1989) y de la extracción sostenida por parte de los cultivos. Ochenta y cinco por ciento del área cultivada con trigo o maíz se fertiliza principalmente con nitrógeno, mientras que esta práctica se aplica en menos de 30% de la superficie con girasol o soja. No obstante, en vistas del pronunciado crecimiento de la producción de granos, los aportes de nutrientes resultan insuficientes para revertir el balance negativo entre lo que se exporta con cada cosecha y lo que se restituye por medios naturales o artificiales. Como consecuencia, el área con altos contenidos de fósforo en el suelo disminuyó marcadamente en los últimos veinte años (Díaz Zorita 2005). Por otra parte, la pérdida de suelo a menudo limita la posibilidad de las raíces de explorar los sectores en los cuales el agua o los nutrientes están disponibles para el cultivo. En suelos de la Pampa Ondulada con larga historia agrícola y avanzado nivel de deterioro, la abundancia de raíces del cultivo de maíz se redujo en 60%, y el tamaño del canopeo entre 5 y 13% con respecto a aquellos que crecieron en suelos menos deteriorados (Cárcova et al. 2000). Esto afectó las posibilidades de absorción de los nutrientes disponibles.

Algunos factores reguladores de procesos físicos, químicos y biológicos han sido alterados por la actividad humana (e.g., la temperatura del aire y del suelo, el nivel de CO_2 atmosférico y de O_3 troposférico, la cantidad de radiación UVB recibida y el pH del suelo). Por ejemplo, en las plantas con ruta metabólica C_3 una concentración elevada de CO_2 puede incrementar el rendimiento y la eficiencia en el uso de los recursos, o puede reducir la toxicidad de O_3 y la resistencia a enfermedades. El aumento de la temperatura acelera el desarrollo y reduce la duración de las etapas de desarrollo, reduce la eficiencia en el uso de los nutrientes, aumenta el consumo de agua y afecta la sincronía entre el efecto de la temperatura y el del fotoperíodo (Fuhrer 2003).

Las actividades agrícolas, como las labranzas y el manejo de los rastrojos, alteran los regímenes de temperatura y humedad y el intercambio de gases en el perfil del suelo, lo cual influye en la mineralización de los nutrientes y la materia orgánica (Magid et al. 1997; Myers et al. 1997). Estos cambios afectan tanto a las poblaciones de microorganismos e invertebrados del suelo como a sus interrelaciones (Yeates & Bongers 1999; Berkelmans et al. 2003; Zak et al. 2003; Brussaard et al. 2007). La diversidad de microorganismos del suelo protege a los cultivos de las enfermedades

producidas por patógenos edáficos, pero el cultivo, el tipo de suelo y el manejo juegan un papel importante en el establecimiento de estas interacciones (Back et al. 2002; Norris et al. 2003; Bezemer et al. 2005; Brussaard et al. 2007; Sánchez-Moreno & Ferris 2007). Las fluctuaciones en la temperatura y en el pH del suelo se consideran factores críticos en la interacción entre algunos nematodos y hongos patógenos (Back et al. 2002). Por otra parte, los incrementos en la disponibilidad de fósforo disminuyen la colonización de las raíces por micorrizas, que aumenta la absorción radical de agua y nutrientes (Pankhurst 1997; Facelli & Facelli 2005). Las características estructurales del suelo condicionan la actividad y diversidad de lombrices, nematodos y protozoos (Pankhurst 1997; Yeates & Bongers 1999). Las lombrices ocupan estratos superficiales del suelo, frecuentemente modificados por las actividades de manejo agrícola. Su abundancia y diversidad guardan estrecha relación con la incorporación de la materia orgánica, la infiltración del agua, la aireación, la penetración de las raíces y la actividad microbiana del suelo. También la porosidad del suelo modifica la importancia de protozoos o de nematodos como consumidores de bacterias; los protozoos pueden penetrar por espacios más pequeños que los nematodos (Grupta & Yeates 1997; Pankhurst 1997).

El efecto de la agricultura sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo no solamente regula el rendimiento del cultivo, sino también impacta sobre la emisión de sustancias volátiles que pueden funcionar como atrayentes o repelentes de otros organismos (Baldwin & Preston 1999; van Tol et al. 2001; Norris et al. 2003; de la Fuente et al. 2006). En condiciones experimentales, Lenardis y colaboradores (2007) observaron que cultivos de trigo y coriandro que crecían en suelos con distinto nivel de deterioro emitían señales químicas que afectaban la composición de la cadena trófica de cultivos de trigo vecinos.

Cambios en el uso de la tierra

Los seres humanos transformamos entre 40 y 50% de la tierra libre de hielos al reemplazar pastizales, bosques y humedales por sistemas agrícolas y urbanos (Chapin et al. 2000). La expansión agrícola entre 1860 y 1920 fue de 430 millones de hectáreas y tuvo lugar principalmente en las zonas templadas de América del Norte y de los países que a partir de 1922 conformaron la URSS. Entre 1920 y 1978, una superficie similar fue transformada, en particular, en las regiones tropicales de África, Asia y América del Sur. A partir de entonces, la tasa de expansión disminuyó considerablemente (Evans 1993). El cambio en el uso de la tierra estuvo asociado, además, al nivel de desarrollo tecnológico de los países y al tipo de cultivos producidos (Mannion 1995). Por ejemplo, desde 1960, el área destinada a la producción de cereales y oleaginosos fue mayor en los países en desarrollo que en los países desarrollados. Por otra parte, los rendimientos fueron crecientes y mayores en los países desarrollados, que utilizan niveles de insumos más elevados que los países en desarrollo. No obstante, en el caso de los oleaginosos, los aumentos del rendimiento fueron mayores en los países en desarrollo y han llegado a niveles muy altos en los últimos años (Figura 2). Estas transformaciones, tendientes a incrementar el área cultivada, incluyeron acciones como la eliminación de rocas, el drenado de suelos, la elevación del fondo de los lagos, el secado de mares, el riego de zonas áridas, la deforestación, la generación de un horizonte orgánico mediante el agregado de abonos y residuos, la reducción de limitantes físicas, químicas y biológicas a través de actividades culturales del laboreo del suelo y la aplicación de fertilizantes, herbicidas y pesticidas (Evans 1993; Mannion 1995; Ghersa 2006). Más de 87% de las posibilidades de expansión futuras de tierras cultivadas involucran a países en desarrollo, y contemplan la eliminación de bosques como el amazónico, la irrigación de zonas áridas y el drenaje de humedales, con los consiguientes daños ecológicos (Evans 1993).

Al nivel global, desde 1960 hasta la actualidad el área de cultivos y pasturas (Figura 4), el consumo de fertilizantes nitrogenados y fosforados, el uso de riego y la producción de pesticidas crecieron simultáneamente (Figura 5) (Tilman et al. 2001). En Argentina, las áreas con cultivos y con pasturas no crecieron

conjuntamente, sino que la expansión de la actividad agrícola desde 1960 ocurrió, en gran medida, a expensas de la reducción del área de pastizales naturales y praderas cultivadas (Figura 4). Por otra parte, el incremento sostenido del uso de fertilizantes y productos fitosanitarios comenzó recién a partir de los años 90 (Figura 5) y estuvo relacionado con mejoras en los precios relativos de estos productos.

En los últimos 20 años, en particular, las tecnologías disponibles impulsaron la especialización de los sistemas agrícolas para facilitar su manejo y maximizar la captura de recursos por parte de los cultivos. Un ejemplo de ello es la introducción en Argentina de cultivares de soja resistentes a glifosato, los que contribuyeron al aumento de la adopción de la siembra directa como sistema cultural y al uso de herbicidas totales para el manejo de las malezas. Esto mejoró el aprovechamiento del agua de lluvia y redujo los tiempos operativos (Satorre 2005). La adopción de esta tecnología fue vertiginosa debido, fundamentalmente, a la reducción de los costos y al consiguiente beneficio económico del cultivo. Este cambio abrupto de tecnología tuvo impacto tanto en la superficie sembrada como en la producción por unidad de superficie. El área sembrada con este cultivo se duplicó en los últimos años mediante la expansión de las fronteras agrícolas, principalmente incorporando nuevas zonas al cultivo en las provincias de Chaco, Santiago del Estero, Salta, Entre Ríos y La Pampa (SAGPyA 2008).

Cambios en la biodiversidad

Los niveles de extinción de especies a escala global superan ampliamente a los esperados sobre la base de los registros geológicos, y la tasa de pérdida de especies es mayor a la que tuvo lugar en el pasado (Thompson & Starzomski 2007). Existen evidencias de que en la actualidad hay numerosas especies amenazadas de extinción: 12% de aves, 23% de mamíferos, 25% de coníferas, 32% de anfibios

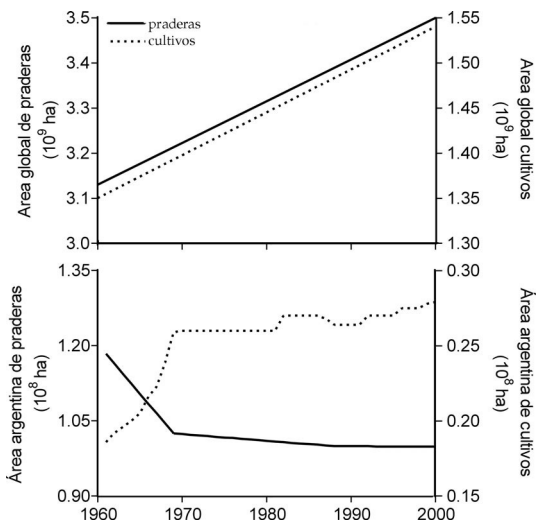

Figura 4. Área global de pasturas y cultivos sin considerar la ex URSS (superior, adaptado de Tilman et al. 2002) y área argentina (inferior, FAO 2008) de pasturas y cultivos desde 1960 hasta 2000.

Figure 4. Global grassland and cropland area without considering ex USSR (upper, adapted from Tilman et al. 2002) and Argentinean grassland and cropland area (FAO 2008) from 1960 to 2000.

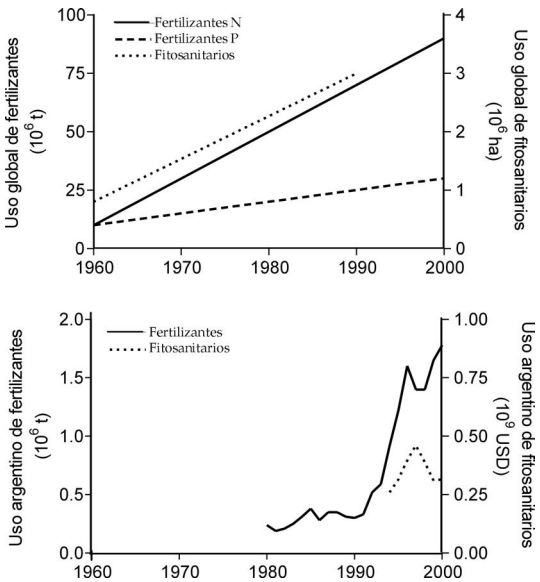

Figura 5. Uso global de fertilizantes y fitoquímicos sin considerar la ex URSS (adaptado de Tilman et al. 2002) y en la Argentina desde 1960 hasta 2000 (CASAFE 2008).

Figure 5. Global use of fertilizers and phytochemicals without considering ex USSR (upper, adapted from Tilman et al. 2002) from 1960 to 2000 and Argentinean use of fertilizers and phytochemicals (CASAFE 2008) from 1980 to 2000.

(Baillie 2004, citado por Loreau et al. 2006). El cambio climático podría conducir a la extinción prematura de 15 a 37% de las especies restantes (Thomas 2004, citado por Loreau et al. 2006).

La agricultura provoca niveles elevados de disturbio debido a las múltiples perturbaciones que causa al ecosistema en cada estación de crecimiento. Estas perturbaciones pueden promover la reducción de la biodiversidad global y de la local en todos los niveles (genes, especies, funciones, ecosistemas en un paisaje) (Vandermeer et al. 1998; Yeates & Bongers 1999; Chapin et al. 2000; Norris et al. 2003; Butler et al. 2007) (Figura 3). Esto se da a través de la pérdida, la modificación y la fragmentación del hábitat, de la degradación del suelo y del agua y de la sobreexplotación de las especies nativas (Lacher et al. 1999; Tscharntke 2002; Benton et al. 2003; Foley et al. 2005). Sin embargo, algunos autores señalan que los grandes cambios ambientales causados por el uso de la tierra produjeron modificaciones en la composición de las comunidades a nivel regional pero no en el número de especies (Burel et al. 1998; Ghersa & León 1999; Parody et al. 2001). El hecho de que la intensificación de la agricultura no siempre esté acompañada por una menor biodiversidad podría deberse, en primer lugar, a que la agricultura opera a distintas escalas espacio temporales. Esto podría afectar diferencialmente a los organismos según los taxones considerados. En segundo lugar, podría deberse a que algunos paisajes agrícolas son heterogéneos y, por lo tanto, los disturbios provocados por la agricultura no determinan tasas de cambio similares en todos sus componentes (Burel et al. 1998).

Al inicio de la actividad agrícola el disturbio incrementó la heterogeneidad del paisaje al darle una apariencia típica de mosaico (Ghersa & León 1999), si bien la generalización del disturbio como producto de la expansión agrícola generó un paisaje más homogéneo (Forman 1998) donde el mosaico se repite en una gran superficie. Los agroecosistemas actuales tienden a simplificar el ambiente ya que utilizan en el proceso productivo un número limitado de especies y una escasa diversidad de estructuras vegetales con respecto a los ecosistemas naturales (Lacher et al. 1999). Si bien los procesos característicos del ecosistema natural (e.g., la competencia, la depredación y la herbivoría) continúan operando cuando el sistema de producción agrícola reemplaza al sistema silvestre, ahora están regidos de un modo peculiar por el manejo agrícola (labranzas, rotaciones, aplicación de agroquímicos, etc.). En el sistema agrícola, la biodiversidad está representada, principalmente, por organismos vegetales y animales del sistema diseñado por el hombre, que interactúan entre sí para funcionar como una entidad coherente, con un objetivo aparente, así como también por otros organismos del sistema natural, sin objetivo aparente. La primera es denominada biodiversidad planificada y depende de las actividades incluidas en el sistema productivo y del manejo de insumos. La segunda se denomina biodiversidad asociada y se refiere a la flora y fauna del suelo, a los herbívoros, carnívoros y descomponedores que colonizan el sistema de producción agrícola y a aquellos que se encuentran en las borduras y otros sitios no cultivados (Swift & Anderson 1993).

Las comunidades de organismos asociadas de forma directa con los agroecosistemas representan sólo un pequeño conjunto de la biodiversidad total de una región. La expansión de los agroecosistemas y la fragmentación del hábitat natural remanente provocan extinciones locales, reducción de la diversidad de especies y cambios en la estructura y funciones de las comunidades a nivel regional. Por lo tanto, las alteraciones en la biodiversidad pueden extenderse mucho más allá de los límites del agroecosistema y resultar en cambios importantes en el funcionamiento del ecosistema (Lacher et al. 1999). En la región pampeana se realizaron distintos estudios tendientes a reconocer los cambios en la estructura de la comunidad biótica como resultado del disturbio agrícola (Soriano et al. 1991; Omacini et al. 1995; Ghersa & León 1999). En la Pampa Ondulada, desde los comienzos de la agricultura, el manejo afectó la disponibilidad de propágulos y de recursos físicos y químicos del suelo. Esto alteró la estructura y funcionamiento de las comunidades de malezas de los pastizales y de los cultivos. En etapas iniciales de la agricultura (1930), la riqueza de malezas de los

cultivos disminuyó de 214 a 97 especies como producto del disturbio. Durante los siguientes 60 años se detectó una lenta recuperación de la riqueza de especies, a razón de 0.42 especies por año, y acompañó el incremento de 19% del área agrícola. No obstante, la composición de especies varió considerablemente durante ese lapso (Suárez et al. 2000). Entre 1997 y 2003, la riqueza de malezas asociadas al cultivo de soja comenzó a disminuir a razón de cinco especies por año, y acompañó un incremento de 12% del área cultivada con siembra directa y la adopción del cambio tecnológico descripto más arriba (cultivares transgénicos y herbicidas totales) (de la Fuente et al. 2006). Otro ejemplo de cambios temporales en la riqueza florística corresponde a estudios realizados en campos cultivados de la Pampa Interior, donde luego de suspender la actividad agrícola durante 25 años, la riqueza florística fue de 153 especies y la disminución neta promedio a lo largo del tiempo fue de 28% (Omacini et al. 2005).

Dispersión de la biota

Numerosas especies colonizaron e invadieron nuevos sitios debido a la agricultura. Más de 120000 especies exóticas de plantas, animales y microbios invadieron los Estados Unidos, el Reino Unido, Australia, Sudáfrica, India y Brasil. Algunas de las especies introducidas, como el maíz (*Zea mays* L.), el trigo (*Triticum spp.*), el arroz (*Oryza sativa* L.), plantaciones arbóreas, el ganado, etc. resultaron beneficiosas ya que proveen más de 98% del abastecimiento mundial de alimentos. Sin embargo, muchas otras provocaron cuantiosas pérdidas económicas en la agricultura e impactos ecológicos negativos estimados en USD 314 mil millones por año (Pimentel et al. 2001).

Una consecuencia inevitable de la incorporación de tierras a la producción agrícola es la modificación rápida de las características físicas, químicas y biológicas del suelo, que se prolonga durante los primeros años para luego estabilizarse (Hall et al. 1992; Seybold et al. 1999; Villenave et al. 2001; Okada & Harada 2007). Esto favorece el establecimiento de algunas especies, que en las condiciones anteriores no habrían ingresado al sistema ni generado procesos de invasión o cambios en la abundancia de otras especies. En ambos casos, se modifican la estructura y el funcionamiento del sistema (Bhowmik 2005; Pimentel 2005; Radosevich et al. 2007). Con respecto al primer proceso, Vilà et al. (2004), encontraron que en las comunidades cultivo-malezas la invasión no ocurre al azar, y que el efecto de las malezas exóticas sobre el rendimiento del cultivo depende de la duración de la interferencia y de las estrategias que durante el ciclo de vida utilizan tanto las malezas como el cultivo. A modo de ejemplo, *Sorghum halepense* (L.) Pers. es una especie herbácea, rizomatosa y perenne que fue introducida en Argentina desde África para estabilizar los terraplenes del ferrocarril. En el cultivo, el laboreo del suelo promueve su reproducción vegetativa al fragmentar y esparcir los rizomas. Esto favorece no sólo su establecimiento sino su proliferación y dominancia (Radosevich et al. 2007). Otro ejemplo es *Banksia ericifolia* L., que produce decenas de miles de semillas a los 8 años edad en el sur de África, donde es exótica, mientras que en su ambiente nativo, Australia, comienza el ciclo reproductivo recién a los 25 años (Crawley 1997). Finalmente, el ingreso en el sistema de un nuevo organismo productor puede incluir nuevos consumidores como el caso de la soja, cuya distribución mundial coincide con la distribución de *Heterodera glycine* Ichinohe "nematodo del quiste" (Noel 1995). Este nematodo ectoparásito, que es específico de este cultivo, fue detectado en Argentina a partir de la década del 90, en coincidencia con la expansión del cultivo de soja (Baigorri et al. 1998; Doucet & Lax 1999). Con respecto al segundo proceso (cambios en la abundancia de los organismos), algunos experimentos de larga duración destacan el efecto de las labores y de la fertilización sobre los índices de diversidad de los grupos tróficos de las comunidades de nematodos (Berkelmans et al. 2003; Okada & Harada 2007). La disminución de nematodos fungívoros y bacteriófagos reflejan una disminución importante del proceso de descomposición bacteriana y fúngica después de la remoción del suelo (Villenave et al. 2001; Berkelmans et al. 2003).

Problemas Ambientales y Funcionamiento del Ecosistema. Propiedades y Servicios

Los problemas ambientales generados por la agricultura afectan el funcionamiento del ecosistema a través de su impacto sobre sus propiedades y los servicios que presta. Aunque el debate acerca del efecto de estos cambios ambientales sobre el funcionamiento del ecosistema continúa, la mayor parte de los estudios apoyan la idea de que la biodiversidad lo afecta positivamente (Zak et al. 2003; Hooper et al. 2005; Schröter et al. 2005; Sánchez-Moreno & Ferris 2006; Brussaard et al. 2007) (Figura 3). Es esperable que sistemas ricos en genes, especies y funciones sean más productivos, presenten mayor estabilidad frente al estrés y, probablemente, provean soluciones eficaces a los problemas globales generados por el enriquecimiento de gases con efecto invernadero de la atmósfera. Especies que parezcan redundantes en un momento pueden ser importantes ante cambios ambientales al amortiguar los efectos negativos sobre el ecosistema (Vandermeer et al. 1998).

La intensificación de la agricultura -y su efecto sobre la diversidad biológica- podría conducir a la pérdida de algunos de los bienes y servicios que presta la biodiversidad (Figura 3), tales como la producción de alimentos, fibras y energía, el mantenimiento de los ciclos de los nutrientes y del agua, la regulación del clima y de los organismos indeseables, de la composición atmosférica, de la polinización y de la génesis de suelo (Tabla 1). También podría generar variaciones en las propiedades del ecosistema (Figura 3), como por ejemplo, el reservorio de carbono y materia orgánica y el flujo de materiales y de energía (Ruiter et al. 1998; Schröter et al. 2005; Butler et al. 2007). El ecosistema natural es capaz de proveer y mantener todos los servicios, pero la posibilidad de satisfacer las necesidades crecientes del hombre es más limitada. En el otro extremo, un sistema agrícola-ganadero intensivo satisface en gran medida las necesidades del hombre pero los servicios son afectados o inclusive eliminados. La generación de un ecosistema agrícola-ganadero, donde el manejo restaure los servicios, permitiría complementar ambos ecosistemas y potenciaría su sustentabilidad, para lo cual resulta ineludible conocer el funcionamiento del agroecosistema (Tabla 1). Por ejemplo, el estudio del agroecosistema de la Pampa Ondulada, del cual existe información biológica y agronómica detallada desde principios de 1900 hasta la actualidad (Parodi 1926; 1930; León & Suero 1962; Michelena et al. 1989; Soriano et al. 1991; Hall et al. 1992; Ghersa & León 1999; de la Fuente et al. 1999; 2003; 2006; Suárez et al. 2000; 2001), permitió describir los cambios temporales de las comunidades cultivo-malezas en relación con el deterioro por el uso agrícola. En 1962, *Tagetes minuta* L. ("chinchilla") se encontraba como maleza junto a otras especies en suelos pobres con bajo rendimiento en el cultivo de maíz (León & Suero 1962). En 1999 ya era común en cultivos de maíz y soja realizados en suelos deteriorados por el uso agrícola (Ghersa & León 1999; de la Fuente et al. 1999; Suárez et al. 2000). Esto sugiere que esta especie posee estrategias que le permiten un establecimiento exitoso en situaciones de alta intensificación agrícola. Paralelamente, se sabe que *T. minuta* es una especie productora de metabolitos secundarios que podrían utilizarse en la industria cosmética o también como nematicidas (Vasudevan et al. 1997; Gil 2000). Es importante contar con esta información ya que *T. minuta* podría no sólo ser considerada una maleza sino también una especie productora de bienes para el agricultor y de servicios para el agroecosistema como reguladora del ambiente.

El funcionamiento pleno del ecosistema podría mantenerse al evitar el acortamiento de las rotaciones, la disminución de la diversidad de actividades y cultivos, el incremento en el uso de insumos, la simplificación y homogeneización del paisaje, la fragmentación del hábitat natural, la especialización en pocos cultivos en lugar de la producción mixta y la destrucción de corredores y borduras (Tscharntke et al. 2005). El agricultor tiene un rol importante en la conservación de las funciones, dado que es quien planifica el sistema agrícola. Aunque los sistemas especializados pueden parecer más productivos a los ojos del productor, también es posible que este sesgo

Tabla 1. Comparación de los servicios que pueden brindar tres ecosistemas hipotéticos.
Table 1. Comparison of the services that three hypothetical ecosystems can offer.

Servicios del Ecosistema	Ecosistema		
	Natural	Agrícola-Ganadero Intensivo	Agrícola-Ganadero con restauración de servicios
Producción de:			
alimentos	x	xxx	xx
fibras	x	xxx	xx
combustible	x	xxx	xx
madera	xx	x	xx
Preservación de:			
hábitat natural	xxx	x	xx
biodiversidad	xxx	x	xx
Regulación:			
del flujo de agua	xx	x	xx
de la calidad del agua	xx	x	xx
de la calidad del aire	xx	x	xx
de enfermedades infecciosas	xx	x	xx
de plagas	xx		x
del reciclado de nutrientes	xxx	x	xx
del clima global	xx	x	xx
de la captura de carbono	xx	x	xx
Recreación	xx	x	xxx

haya sido introducido por gran parte de la investigación agrícola, que tiene una "caja de herramientas adecuadas" de experimentos y modelos para el desarrollo de tecnología en sistemas simples (Vandermeer et al. 1998; Altieri 2002). En este sentido, algunos desafíos de la investigación son, por ejemplo, diseñar sistemas productivos que imiten a la naturaleza y favorezcan el reciclado de nutrientes y la biodiversidad, y aprovechen las ventajas de los mecanismos de regulación natural, de facilitación y de resiliencia (estabilidad). Esto requeriría ajustar el diseño espacial y temporal de plantas, incluir en el agroecosistema especies perennes, leguminosas y nativas, comprender las interacciones que ocurren en agroecosistemas multiespecíficos y evitar las monoculturas (Altieri 2002).

El efecto de la intensificación sobre la riqueza de especies puede ser reducido al generar heterogeneidad en el paisaje agrícola. Los organismos pueden presentarse espontáneamente o introducirse deliberadamente en el sistema agrícola para promover la biodiversidad y sus servicios. La incorporación de bordes como corredores y reservorios de especies benéficas, la incorporación de abonos verdes y la labranza mínima para generar un ambiente edáfico que potencie el establecimiento y actividad de organismos edáficos, y la rotación de cultivos que permiten el mantenimiento de diversidad temporal y espacial de hábitats son algunas de las herramientas disponibles. La heterogeneidad resulta fundamental para el intercambio de especies y señales entre el espacio cultivado (contenido) y su entorno (contexto). El contexto actúa como refugio, hábitat, alimento y transporte de especies, como fuente, destino y/o filtro de organismos y señales.

En la actualidad, se ha generalizado el uso de criterios de producción basados en la adaptación del cultivo a la zona agrícola, condiciona-

dos por el mercado para establecer las estrategias productivas. Lamentablemente, son muy pocos los análisis sistémicos que consideran las propiedades emergentes de la inclusión o no de las prácticas agrícolas, tanto en los términos, productivos, agronómicos y económicos como en los ecológicos. En este sentido, también, son necesarios estudios orientados a la ingeniería de sistemas productivos y a la evaluación de las propiedades emergentes a diferentes escalas espacio-temporales.

Bibliografía

Altieri, MA. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **93**:1-24.

Back, MA; PPJ Haydock & P Jenkinson. 2002. Disease complexes involving plant parasitic nematodes and soilborne pathogens. *Plant Pathology* **51**:683-697.

Baigorri, H; SD de Vallone; LD Giorda; E Chaves & ME Doucet. 1998. Estrategias para el control de una súper plaga. *Super Campo* **41**:78-81.

Baldwin, IT & CA Preston. 1999. The eco-physiological complexity of plant responses to insect herbivores. *Planta* **208**:137-145.

Benton, TG; JA Vickery & JD Wilson. 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *TRENDS in Ecology and Evolution*, **18**:182-188.

Berkelmans R; H Ferris; M Tenuta & AHC van Bruggen. 2003. Effects of long-term crop management on nematode trophic levels other than plant feeders disappear after 1 year of disruptive soil management. *Applied Soil Ecology* **23**:223-235.

Bezemer, TM; GB De Deyn; TM Bossinga; NM van Dam; JA Harvey et al. 2005. Soil community composition drives aboveground plant-herbivore, parasitoid interactions. *Ecology Letters* **8**:652-661.

Bhowmik, PC. 2005. Characteristics, significance, and human dimension of global invasive weeds. Pp. 251-268 en Indejit (ed.). *Invasive plants: ecological and agricultural aspects.* Birkäuser Verlag, Alemania.

Brussaard, L; PC de Ruiter & GG Brown. 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **121**:233-244.

Butler, SJ; JA Vickery & K Norris. 2007. Farmland biodiversity and the footprint of agriculture. *Science* **315**:381-383.

Cárcova, J; GA Maddonni & CM Ghersa. 2000. Long-term cropping effects on maize crop evapotranspiration and grain yield. *Agronomy Journal* **92**:1256-1265.

Carpenter, SR; NF Caraco; DL Correll; RW Howarth; AN Sharpley et al. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecology Applied* **8**:359.

Chapin III, FS; ES Zavaleta; VT Eviner; RL Naylor; PM Vitousek et al. 2000 Consequences of changing biodiversity. *Nature* **405**:234-242.

Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (CASAFE). 2008. http://www.casafe.org.ar.

Crawley, MJ. 1997. Biodiversity. 19 Pp. 595-632 en Crawley, MJ (ed.). *Plant ecology*. Blackwell Science Ltd., UK.

de la Fuente, EB; SA Suárez; CM Ghersa & RJC León. 1999. Soybean weed community: relationship whit cultural history and crop yield. *Agronomy Journal* **91**:234-241.

de la Fuente, EB; SA Suárez & MC Ghersa. 2003. Weed and insect communities in wheat with different management. *Agronomy Journal* **95**:1542-1549.

de la Fuente, EB; SA Suárez & CM Ghersa. 2006. Soybean weed community composition and richness between 1995 and 2003 in the Rolling Pampas (Argentina). *Agriculture Ecosystems and Environment* **115**(1-4):229-236.

Doucet, ME & P Lax. 1999. Presence of the nematode *Heterodera glycines* (Nematoda: Tylenchida) associated with soybean in Argentina. *Nematology* **1**(2):213-216.

Evans, LT. 1993. Crop yield and world food supply. 2 Pp. 32-61 en Evans, L. (ed.). *Crop evolution, adaptation and yield*. Cambridge University Press.

Facelli, E & JM Facelli. 2005. Interactive effects of plant competition, arbuscular mycorrhizal fungi, and heterogeneous nutrient distribution. 4 Pp. 365-378 en Oesterheld, M; MR Aguiar; CM Ghersa & JM Paruelo (compiladores). *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando J.C. León*. Editorial Facultad de Agronomía, UBA, Bs. As. Argentina.

Food and Agriculture Organization of the United Nations Agricultural (FAO). 2008. Database. Disponible en http://apps.fao.org/faostat/.

Foley, JA; R DeFries; GP Asner; C Barford; G Bonan et al. 2005. Global consequences of land use. *Science* **309**:570-574.

Forman, RTT. 1998. Land mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridge University

Press.

FUHRER, J. 2003. Agroecosystems response to combinations of elevated CO_2, ozone and global climatic change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **97**:1-20.

GHERSA, CM & RJC LEÓN. 1999. Successional changes in agroecosystems of the rolling pampas. 20 Pp. 487-502 en L.R. Walker (ed.). *Ecosystems of the world. Ecosystems of disturbed ground*. Elsevier.

GHERSA, CM. 2006. Los cultivos industriales y el mantenimiento de la calidad y cantidad de los servicios de los agroecosistemas. 1.1 Pp. 21-23 en EB de la Fuente; A Gil; PI Giménez; AG Kantolic; M López Pereira et al. (eds.). *Cultivos Industriales*. Editorial Facultad de Agronomía-UBA, Argentina.

GIL, A. 2000. Variabilidad intra específica de la composición química de *Tagetes minuta*. Su relación con la competencia y la herbivoría. Tesis de Magister Scientiae, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

GRUPTA, VVSR & GW YEATES. 1997. Soil microfauna as bioindicators of oil health. 9 Pp. 201-234 en Pankhurst, CE; BM Doube & VVSR Grupta (eds.). *Biological indicators of soil health*. CAB International, UK.

LACHER, TE JR; RD SLACK; LM COBURN & MI GOLDSTEIN. 1999. The role of agroecosystems in wildlife biodiversity. 9 Pp. 147-166 en Collins WW & CO Qualset (eds.). *Biodiversity in agroecosystems*. Lewis Publishers, CRC Press LLC, Boca Raton, USA.

LENARDIS, A; C VAN BAREN; P DI LEO LIRA & CM GHERSA. 2007. Plant-soil interactions in wheat and coriander crops driving arthropod assemblies through volatile compounds. *European Journal of Agronomy* **26**:410-417.

LEÓN, RJC & A SUERO. 1962. Las comunidades de malezas de los maizales y su valor indicador. *Revista Argentina de Agronomía* **29**(1-2):23-28.

LOREAU, M; A OTENG-YEBOAH; MTK ARROYO; D BABIN; R BARBAULT ET AL. 2006. Diversity without representation. *Nature* **442**(20):245-246.

HALL, AJ; CM REBELLA; CM GHERSA & JPH CULOT. 1992. Field-Crop systems of the Pampas. Pp. 413–449 en CJ Pearson (ed.). *Field Crop Ecosystems. Ecosystems of the World.* Elsevier.

HOOPER, DU; FS CHAPIN III; JJ EWEL; A HECTOR; P INCHAUSTI ET AL. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* **75**(1):3-35.

MAGID, J; T MUELLER; LS JENSEN & NE NIELSEN. 1997. Modeling the measurable: interpretation of field-scale CO_2 and N-mineralization, soil microbial biomass and light fractions as indicators of oilseed rape, maize and barley straw decomposition. 26 Pp. 349-362 en Cadish, G & KE Giller (eds.). *Driven by nature. Plant litter quality and decomposition.* CAB International, UK.

MANNION, AM. 1997. Agriculture and land transformation. 2. Present trends and future prospects. *Outlook on Agriculture* **26**(3):151-158.

MICHELENA, RO; CB IRURTIA; FA VAVRUSKA; R MON & A PITTALUGA. 1989. Degradación de suelos en el Norte de la Región Pampeana. *INTA Pub. Tecn. 6.0. Centros regionales de Buenos Aires Norte, Córdoba, Entre Ríos y Santa Fé. Proyecto de Agricultura Conservacionista*. Argentina.

MYERS, RJK; M VAN NOORWIJK & P VITYAKON. 1997. Synchrony of nutrient released and plant demand: plant litter quality soil environment and farmer management options. 17 Pp. 215-230 en Cadish, G & KE Giller (eds.). *Driven by nature. Plant litter quality and decomposition*. CAB International, UK.

NOEL, GR. 1995. History, distribution, and economics. 1 Pp. 1-13 en RR Riggs & JA Wrather (eds.). *Biology and management of the soybean cyst nematode.* APS Press, USA.

NORRIS, RF; EP CASWELL-CHEN & M KOGAN. 2003. Ecosystems biodiversity and IPM. 7 Pp. 155-171 en Norris, RF; EP Caswell-Chen & M Kogan (eds.). *Concepts in integrated pest management*, Prentice Hall, USA.

OKADA, H & H HARADA. 2007. Effects of tillage and fertilizer on nematode communities in Japanese soybean field. *Applied Soil Ecology* **35**:582-598.

OMACINI, M; EJ CHANETON; RJC LEÓN & WB BATISTA. 1995. Old-field successional dynamics on the Inland Pampa, Argentina. *Journals of Vegetation Science* **6**:309-316.

OMACINI, M; P TOGNETTI; H TREBINO & EJ CHANETON. 2005. La sucesión postagrícola en la Pampa Interior: invasión y dominancia de de plantas exóticas durante los primeros 20 años. 3 Pp. 215-234 en Oesterheld, M; MR Aguiar; CM Ghersa & JM Paruelo (compiladores). *La heterogeneidad de la vegetación de los agroecosistemas. Un homenaje a Rolando J.C. León*. Editorial Facultad de Agronomía, UBA, Bs. As. Argentina.

PANKHURST, CE. 1997. Biodiversity of soil organisms as an indicator of soil health. 12 Pp. 297-324 en Pankhurst, CE; BM Doube & VVSR Grupta (eds.). *Biological indicators of soil health*. CAB International, UK.

PAOLETTI, MG & D PIMENTEL. 2000. Environmental risks of pesticides versus genetic engineering for agricultural pest control. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* **12**:279-303.

PARODI, LR. 1926. Las malezas de los cultivos en el partido de Pergamino. *Revista de la Facultad de*

Agronomía y Veterinaria UBA **5**(2):75-188.

Parodi, LR. 1930. Ensayo fitogeográfico sobre el partido de Pergamino. Estudio de las Praderas Pampeanas en el norte de la Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria UBA* **7**(1):65-271.

Parody, JM; F Cuthbert & EH Decker. 2001. The effect of 50 years of landscape change on species richness and community composition. Global Ecology and Biogeography **10**:305-313.

Pimentel, D; S McNair; J Janecka; J Wightman; C Simmonds et al. 2001. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **84**:1-20.

Pimentel D. 2005. Environmental consequences and economic costs of alien species. Pp. 269-276 en Indejit (ed.). *Invasive plants: ecological and agricultural aspects.* Birkäuser Verlag, Alemania.

Radosevich, SR; JS Holt & CM Ghersa. 2007. Evolution of weeds and invasive plants. 4 Pp. 103-128 en Radosevich, SR; JS Holt & CM Ghersa (eds.). *Ecology of weeds and invasive plants*. John Wiley & Sons, USA.

Ruiter, PC; AM Neutel & JC Moore. 1998. Biodiversity in soil ecosystems: the role of energy flow and community stability. *Applied Soil Ecology* **10**:217-228.

SAGPyA. 2008. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Agricultura. Informes Anuales. Disponible en: http://www.sagpya.mecon.gov.ar/.

Sánchez-Moreno, S & H Ferris. 2007. Suppressive service of the soil food web: effects of environmental management. *Agricultural, Ecosystems & Environment* **119**:75-87.

Satorre, EH. 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. *Ciencia Hoy* **15**(87):24-31.

Schröter, D; W Cramer; R Leeman; IC Prentice; MB Araújo et al. 2005. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science* **310**:1333-1337.

Seybod, CA; JE Eric & JJ Brejda. 1999. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. *Soil Science* **164**(4):224-234.

Soriano, A; RJC León; OE Sala; RS Lavado; VA Deregibus et al. 1991. Río de la Plata Grasslands. 19 Pp. 367–407 en RT Coupland (ed.). *Natural Grasslands. Introduction and Western Hemisphere. Ecosystems of the World 8A*, Elsevier.

Suárez, SA; CM Ghersa; EB de la Fuente & RJC León. 2000. Shifts of floristic groups in cropland communities of the Pampas during 1926 to 1999. 90 Pp. 2-13 en *Proceeding of the Third International Weed Science Congress*; Foz do Iguassu, Brazil. International Weed Science Society, USA.

Suárez, SA; EB de la Fuente; CM Ghersa & RJC León. 2001. Weed community as an indicator of summer crop yield and site quality. *Agronomy Journal* **93**:524-530.

Swift, MJ & JM Anderson. 1993. Biodiversity and ecosystem function in agricultural systems. Pp. 15-41 en Schluze, ED & HA Mooney. *Biodiversity and ecosystem function.* Springer-Verlag, New York.

Thompson, R & BM Starzomski. 2007. What does biodiversity actually do? A review for managers and policy makers. *Biodiversity and Conservation* **16**:1359-1378.

Tilman, D. 1998. The greening of the green revolution. *Nature* **396**:211-212.

Tilman, D; J Fargione; B Wolff; C D´Antonio; A Dobson et al. 2001. Forecasting agricultural driven global environmental change. *Science* **292**:281-284.

Tscharntke, CDT. 2002. Plant-insect communities and predator-prey ratios in field margin strip, adjacent crop fields, and fallow. *Oecologia* **130**:315-324.

Vandermeer, J; M van Noordwijk; J Andreson; C Ong & I Perfecto. 1998. Global-change and multi-species agroecosystems. Concepts and issues. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **67**:1-22.

van Tol, RWHM; ATC van der Sommen; MIC Boff; J van Bezoijen; MW Sabelis et al. 2001. Plants protect their roots by alerting the enemies of grubs. *Ecology Letters* **4**:292-294.

Vasudevan, P; S Kashyap & S Sharma. 1997. Tagetes: a multipurpose plant. *Bioresource Technology* **62**:29-35.

Vilà, M; M Williamson & M Lonsdale. 2004. Competition experiments on alien weeds with crops: lessons for measuring plant invasion impact? *Biological Invasions* 6:59-69.

Villenave, C; T Bongers; K Ekschmitt; D Djigal & JL Chotte. 2001. Changes in nematode communities following cultivation of soil after fallow periods of different length. *Applied Soil Ecology* **17**:43-52.

Wolfenbarger, LL & PR Phifer. 2000. The ecological risks and benefits of genetically engineered plants. *Science* **290**:2088-2093.

Yeates, GW & T Bongers. 1999. Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **74**:113-135.

Zak, DR; WE Holmes; DC White; AD Peacock & D Tilman. 2003. Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: are there any links? *Ecology* **84**:2042-2050.