

2. Servicios ambientales y agricultura

Los beneficios que las personas han obtenido de la agricultura han sido inmensos. Actualmente, la agricultura alimenta a más de 6 000 millones de personas y en las últimas décadas se han experimentado importantes incrementos de la productividad de la agricultura con la introducción de nuevas variedades y métodos de producción (Tilman *et al.*, 2002). Sin embargo, estos beneficios también han supuesto un costo. De los servicios de ecosistemas analizados por la Evaluación de ecosistemas del Milenio, a la agricultura se le atribuye el aumento de los servicios de suministro de producción de alimentos y fibras durante el último medio siglo, aunque a expensas de la degradación de muchos otros servicios de ecosistemas. La Evaluación de ecosistemas del Milenio, así como otros informes aparecidos de estudios más recientes como por ejemplo *Water for food, Water for life* (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, 2007) y *Livestock's long shadow: environmental issues and options* (FAO, 2006a) reconocen que la agricultura debe y puede gestionarse para mejorar los servicios de ecosistemas más allá del suministro de alimentos y otros bienes.

El aumento de la producción de bienes agrícolas a expensas de otros servicios de ecosistemas ha generado cambios ambientales mundiales y locales que han tenido consecuencias importantes en la salud y el bienestar del ser humano (Foley *et al.*, 2005). Las prácticas de producción agrícola pueden generar emisiones de gases de efecto invernadero y provocar el agotamiento y la contaminación de los recursos hídricos, la degradación de la tierra y la pérdida de la biodiversidad. La agricultura es una de las principales víctimas de la degradación de ecosistemas, con una productividad agrícola marcada por los problemas de la variabilidad climática, el agotamiento del suelo, la escasez y calidad del agua así como la vulnerabilidad ante las plagas y las enfermedades. Cambiar el equilibrio de los servicios de ecosistemas

prestados por la agricultura constituye un importante paso adelante para corregir las consecuencias negativas de determinadas formas de producción. Existe otro motivo para este cambio: la capacidad para equilibrar o compensar la degradación ambiental generada por otros sectores de la economía. La bioenergía constituye un nuevo mercado emergente que también puede posibilitar importantes cambios en los servicios de ecosistemas prestados por la agricultura (véase también Naciones Unidas - Energía, 2007).

Los cambios necesarios en la gestión del ecosistema dependen de la ubicación, el nivel existente de desarrollo económico, la densidad de población, las condiciones agroecológicas y las tecnologías primarias empleadas en la agricultura. Todos estos factores afectan tanto a la rentabilidad de la tierra y del trabajo en la agricultura como a los costos y los beneficios potenciales de los cambios puestos en práctica con el objeto de generar servicios ambientales adicionales.

El presente capítulo, así como resto del informe, se centra principalmente en tres categorías de problemas ambientales en los que la agricultura tiene una importante función que desempeñar: el cambio climático, la degradación del agua (la contaminación y el agotamiento) y la pérdida de la biodiversidad. Estos tres ámbitos ya han experimentado un aumento de los programas de pagos a productores agrícolas para mejorar el suministro de servicios ambientales. Se paga a los agricultores para retener carbono y, de esta forma, mitigar el cambio climático, mejorar la gestión de las cuencas hidrográficas (y por consiguiente, el flujo y la calidad del agua) y conservar la biodiversidad. Estas tres categorías parecen tener el potencial de crecimiento más importante en estas formas de programas de pago. Existen también, por supuesto, otros servicios de ecosistemas para cuya gestión la agricultura desempeña una función fundamental, como es el caso

de la formación del suelo o los ciclos de nutrientes, que son esenciales para mantener la fertilidad del suelo e invertir el proceso de degradación de la tierra.

El presente capítulo ofrece una breve exposición de la relación técnica entre la agricultura y los cambios ambientales, la forma en que esta relación configura las opciones en materia de políticas y los tipos específicos de medidas que los agricultores y otros productores agrícolas pueden llevar a cabo para lograr un aumento de la prestación de estas tres categorías de servicios ambientales.

■ **¿Cómo pueden generar servicios ambientales los productores agrícolas?**

Antes de exponer los aspectos específicos relacionados con cada una de las tres categorías, es necesario tener en cuenta algunas observaciones generales. Normalmente, se necesitan algunos cambios en el sistema de producción agrícola para que los agricultores incrementen su oferta de determinados servicios ambientales.

Para suministrar mejores niveles de servicios ambientales, los agricultores pueden modificar sus prácticas de producción de forma diversa mediante:

- cambios en los sistemas de producción, por medio de los cuales las tierras siguen siendo agrícolas pero las actividades de producción se modifican para conseguir objetivos ambientales (por ejemplo, una reducción de la labranza o dejando más residuos agrícolas en los campos);
- programas de reconversión de las tierras, en los que las tierras cambian la producción de cultivos y ganado por otros usos;
- el mantenimiento del uso de la tierra (por ejemplo, evitando la transformación del bosque en una tierra agrícola).

Estas distinciones son importantes para evaluar en qué grado el suministro de servicios ambientales implica una compensación de la producción agrícola, hecho que a su vez es fundamental para entender los motivos de los productores al tomar en consideración la aplicación de

un cambio. El tipo de cambio necesario también podría tener repercusiones en un nivel superior, si se ejecutase a gran escala, a través de sus consecuencias en la disponibilidad de alimentos, tierras y mano de obra, y en los precios (Zilberman, Lipper y McCarthy, en prensa).

Las condiciones que determinan la capacidad para cambiar la combinación de servicios de ecosistemas suministrados por los sistemas de producción agrícola tienen diversas dimensiones. En primer lugar, es probable que los cambios para incrementar la producción de un servicio de ecosistemas tengan efectos en otros servicios. Éstos pueden ser positivos o negativos. En muchos casos, los cambios implican una reducción en algunos servicios, aunque sólo sean temporales, con el objeto de aumentar la oferta de otros servicios auxiliares, reguladores o culturales. Las compensaciones pueden surgir entre los diversos tipos de servicios de ecosistemas reguladores y auxiliares suministrados. Por ejemplo, el establecimiento de una plantación de especies de árboles de crecimiento rápido para generar absorción de carbono puede contribuir a una reducción de la biodiversidad. Asimismo, el aumento del hábitat para una especie puede tener consecuencias negativas para otra.

En segundo lugar, las condiciones agroecológicas como el clima, la calidad del suelo, la topografía y la disponibilidad de agua son determinantes esenciales para la combinación de servicios de ecosistemas que pueden ser generados por un determinado sistema de gestión. Algunas condiciones agroecológicas pueden ser muy productivas para un servicio pero no para otros; por ejemplo, la topografía escarpada puede resultar muy productiva para la protección de cuencas hidrográficas, pero puede ser muy improductiva para la agricultura.

En tercer lugar, la capacidad para cambiar la combinación de los servicios suministrados por agroecosistemas depende fundamentalmente de los sistemas de gestión que actualmente se aplican y de los factores económicos y normativos que los impulsan. Por ejemplo, se puede producir trigo en un sistema mecanizado a gran escala, muy intensivo en capital, tal como ocurre en Australia o en el Canadá, o a través de sistemas a pequeña escala,

RECUADRO 2 Bienes públicos

Los bienes públicos constituyen un caso especial de externalidades (véase el Recuadro 1). El consumo de este tipo de bienes o servicios no se puede limitar a un solo individuo o grupo concreto, y el uso por un consumidor no afecta la utilización por parte de los demás. Por ejemplo, la mitigación de las consecuencias del cambio climático es un beneficio para toda la comunidad mundial, y es imposible excluir a algunas personas del disfrute del beneficio, aunque no hayan pagado por el servicio. Al mismo tiempo, el beneficio que una persona obtiene de la atenuación del cambio climático no reduce el aprovechamiento del beneficio por parte

de otro individuo. Los bienes públicos pueden ser desde mundiales (por ejemplo, la mitigación del cambio climático, la conservación de la biodiversidad) hasta locales (por ejemplo, el control de las inundaciones).

Es importante constatar que, aunque los servicios como la atenuación del cambio climático son un bien público, los recursos que los generan (por ejemplo, las superficies forestales) pueden ser de propiedad privada. De hecho, esta distinción constituye el incentivo para los pagos por servicios ambientales.

Fuente: FAO, 2002b.

intensivos en mano de obra sin utilizar apenas productos químicos, como en Etiopía. Ambos constituyen ejemplos de sistemas de producción agrícola de trigo, aunque la productividad de cada uno, en términos de rendimiento del trigo y de la combinación de servicios de ecosistemas, es muy distinta. Los cambios para lograr un aumento de los servicios ambientales para un sistema pueden ser irrelevantes para el otro.

Un cuarto y último aspecto que hay que mencionar es que los servicios de ecosistemas adoptan diferentes formas, aunque no todas son idénticas desde el punto de vista de los beneficiarios. Una de las razones más importantes por las que en el pasado se priorizó el suministro de servicios con respecto a otros tipos de servicios de ecosistemas es el hecho de que la mayoría de los servicios suministrados adoptan la forma de lo que en términos económicos se denominan «bienes privados». En cambio, los servicios de ecosistemas reguladores, auxiliares y culturales a menudo son «bienes públicos» (véase el Recuadro 2).

Las siguientes secciones analizan de forma más detallada los tipos de cambio que los productores agrícolas pueden llevar a cabo para aumentar el suministro de los servicios específicos para mitigar el cambio climático, mejorar la gestión del agua y conservar la biodiversidad.

La agricultura y la mitigación del cambio climático

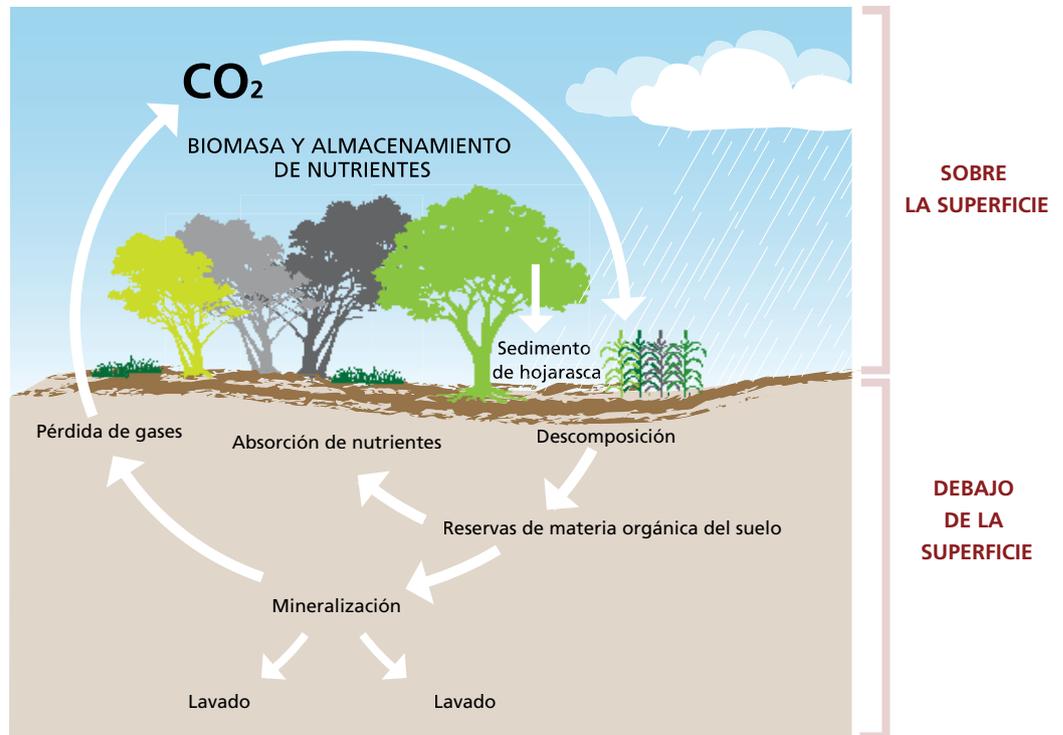
El resumen para los responsables de formular las políticas del Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) afirma de forma inequívoca que el recalentamiento global existe y que muy probablemente esté causado por las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por las actividades humanas. El documento advierte que:

Las emisiones constantes de gases de efecto invernadero en los niveles actuales o superiores causarían un mayor recalentamiento y provocarían muchos cambios en el sistema climático mundial durante el siglo XXI, que con toda probabilidad serán mayores que los observados durante el siglo XX.

(IPCC, 2007a, pág. 13)

El cambio climático generará importantes costos tanto para los países en desarrollo como para los países desarrollados. Estos costos supondrán un aumento de la frecuencia y la intensidad de fenómenos climáticos graves como inundaciones, tornados y huracanes, el aumento de la sequía en algunas de las regiones, la pérdida de zonas costeras y escasez de agua, y cambios en la incidencia de las enfermedades. Los países en desarrollo

FIGURA 3
Absorción de carbono debajo y sobre la superficie



Fuente: FAO.

tendrán que soportar con toda probabilidad una mayor carga debido a su mayor vulnerabilidad así como a la gravedad de los cambios que probablemente deberán soportar. El cambio climático podría generar migraciones y conflictos a gran escala, que también comportan costos importantes (Stern, 2007).

El Cuarto Informe de Evaluación del IPCC también constata la importancia de llevar a cabo reducciones inmediatas e importantes en las emisiones de gases de efecto invernadero. El informe afirma que «los esfuerzos de mitigación durante las próximas dos o tres décadas determinarán en gran medida el incremento de la temperatura media mundial a largo plazo y las correspondientes consecuencias del cambio climático que se pueden evitar» (IPCC, 2007b). Básicamente, existen dos formas para mitigar el cambio climático: reduciendo la fuente de emisión o aumentando la cantidad de almacenamiento de gases de efecto invernadero en los sistemas terrestres

(por ejemplo, a través de la absorción de carbono). Por consiguiente, la agricultura tiene una función doble en la mitigación del cambio climático, mediante la reducción de sus propias emisiones y el aumento de la absorción de gases de efecto invernadero.

La agricultura es una importante fuente de los tres principales gases de efecto invernadero: el dióxido de carbono, el metano y el óxido nítrico. En relación con el calentamiento global, el dióxido de carbono es el más importante, pero el metano y los óxidos nítricos también tienen una incidencia considerable. Las actividades agrícolas y los cambios en el uso de la tierra contribuyen en aproximadamente un tercio del total de emisiones de dióxido de carbono y son la mayor fuente de metano (procedente de la producción de ganado y de arrozales anegados) y óxidos nítricos (principalmente por la utilización de fertilizantes inorgánicos nitrogenados).

La agricultura también desempeña una importante función como «sumidero»

CUADRO 1**Mitigación potencial del carbono mediante los cambios en el uso de la tierra, 2003-2012**

Región	Deforestación evitada ¹	Agricultura sostenible ²	Restauración forestal ³	TOTAL
(Millones de toneladas de carbono)				
África	167,8	69,7	41,7	279,2
Asia	300,5	227,3	96,2	624,0
América Latina	1 097,3	93,1	177,9	1 368,3
TOTAL	1 565,6	390,1	315,8	2 271,5

¹ Calculada a partir de las estimaciones más recientes de pérdida de bosques multiplicada por las reservas ponderadas de carbono; asume unas tasas de deforestación constantes.

² Incluye la absorción de carbono en el suelo mediante la reducción de la labranza y el incremento de la capa vegetal, la conversión de cultivos anuales en explotaciones forestales así como la mejora de la gestión de pastizales.

³ Incluye la reforestación de tierras degradadas y la agroforestería, pero no plantaciones. Excluye la absorción de carbono en suelos sometidos a reforestación.

Fuente: Adaptado de Niles *et al.*, 2002.

de carbono mediante su capacidad de absorber y almacenar gases de efecto invernadero, en especial, el carbono en suelos y plantas y árboles (véase la Figura 3). La absorción de carbono implica aumentar el almacenamiento de carbono en sistemas terrestres, ya sea en la superficie o por debajo de la misma. Los cambios en las prácticas de uso de la tierra y el suelo pueden provocar a lo largo del tiempo una acumulación de carbono en el suelo. Eventualmente, el sistema alcanzará un nuevo equilibrio de reservas de carbono o punto de saturación, y no podrá absorber más carbono. La absorción de carbono presenta ventajas y desventajas como medio para atenuar el cambio climático. La principal ventaja es que tiene un costo relativamente bajo y puede ser aplicado fácilmente. Además, la extracción de carbono proporciona muchos beneficios, ya que el incremento de la biomasa radical y la materia orgánica del suelo resultantes mejoran la retención de agua y nutrientes, la disponibilidad de ingestión por las plantas y, por consiguiente, la productividad de la tierra. Una de las mayores desventajas es que, al contrario de otras formas de mitigación del cambio climático, la absorción de carbono es reversible; de hecho, los cambios en las prácticas de gestión agrícola pueden acelerar o invertir el ritmo de absorción en un periodo de tiempo relativamente corto.

La capacidad física para absorber carbono varía considerablemente en función del modo de usar la tierra y la región. El Cuadro 1 muestra una estimación de la capacidad de absorción de carbono a través

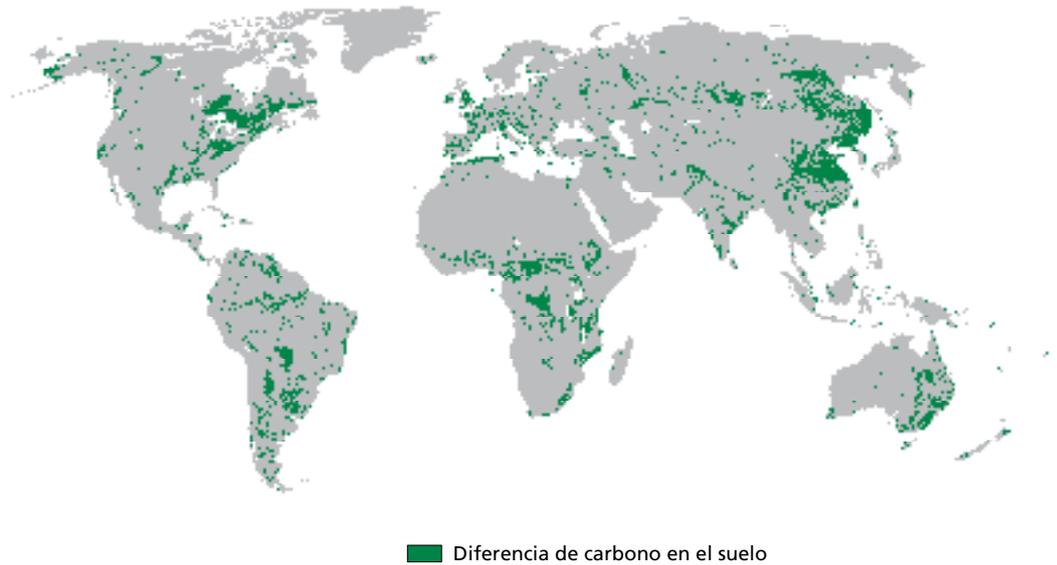
de un cambio del uso de la tierra para un total de 48 países en desarrollo durante un periodo de 10 años. Las cifras sugieren que existe una importante capacidad técnica para la mitigación de emisiones de carbono procedentes de la agricultura: casi 2 300 millones de toneladas. Aprovechar este potencial requeriría cambios en la gestión de 50 millones de hectáreas de tierras adicionales (Niles *et al.*, 2002). En contraste, actualmente se explotan 95 millones de hectáreas usando sistemas de agricultura de conservación, que proporcionan importantes servicios de absorción de carbono en el suelo (Derpsch, 2005). La viabilidad económica de los cambios de usos de la tierra necesarios todavía no está clara, aunque existe cada vez más datos que demuestran que cambios en los sistemas de producción introducidos para absorber carbono pueden también proporcionar otros beneficios económicos.

Capacidad de absorción de carbono en la biomasa sobre la superficie

La absorción en la superficie se consigue mediante un incremento de la cantidad de biomasa sobre la superficie en forma de árboles y arbustos. Las tasas de absorción de carbono varían según la especie de árbol, el tipo de suelo, el clima de la zona, la topografía y las prácticas de gestión. La adopción de técnicas de agroforestería, la rehabilitación de bosques degradados y el establecimiento de plantaciones de bosque y de sistemas silvopastorales constituyen algunos de los diversos cambios en el uso de la tierra que pueden generar la absorción de carbono en la superficie.

MAPA 1

Capacidad para absorber carbono adicional en los suelos



Nota: Disponible en http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/google.kml?id=31151&layers=potential_sequester_carbon
Fuente: FAO.

La capacidad de absorción de carbono de un sistema de uso de la tierra está determinada por el promedio de carbono almacenado en ese sistema durante un período de rotación importante para el tipo de masa forestal en cuestión. Se absorbe carbono cuando se pasa de sistemas con un período medio de almacenamiento más corto a sistemas con un período medio más prolongado. Palm *et al.* (2005) calcularon la cantidad media anual de carbono almacenado durante 20 años bajo diferentes tipos de sistemas de uso de la tierra para tres zonas situadas en los trópicos húmedos. Los autores constataron que en Indonesia, bosques que dejaron de ser explotados produjeron una ganancia neta de 213 toneladas de carbono por hectárea a lo largo de la vida del bosque. De forma idéntica, el cambio que supuso el paso de un sistema de barbecho breve a un sistema de barbecho más prolongado en el Brasil, produjo un aumento del carbono absorbido por hectárea de 4,6 toneladas durante ocho años.

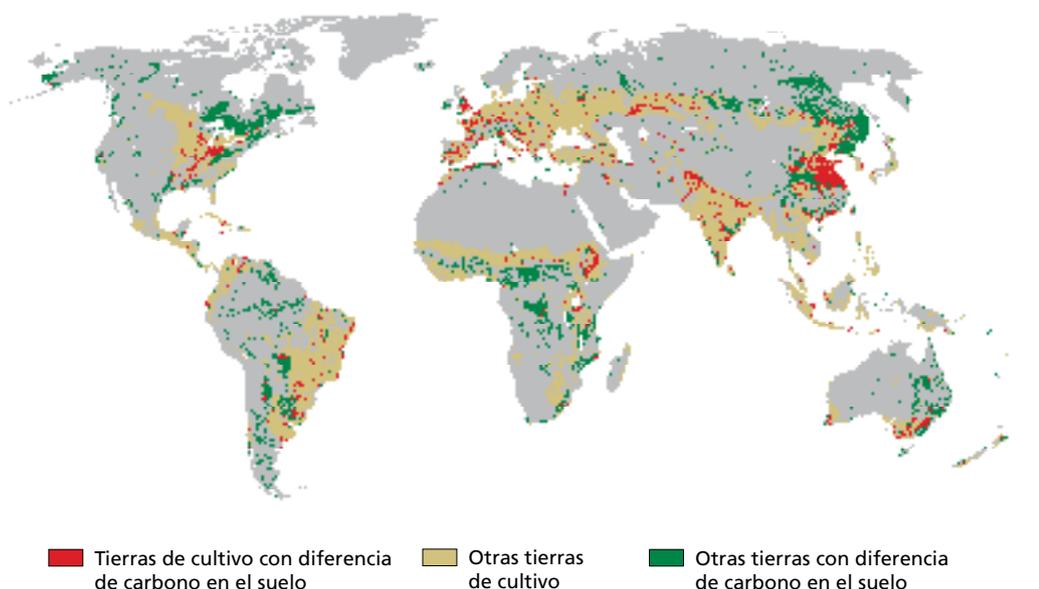
La cantidad media más alta de carbono que puede ser absorbida por hectárea y por

año se obtiene generalmente mediante la expansión de la zona forestal a través de la forestación o la reforestación. Los cultivos y pastos anuales retienen una parte pequeña de esta cantidad. Las cantidades conseguidas por bosques en explotación, explotaciones forestales, cultivos arbóreos, plantaciones de madera y barbechos forestales secundarios se sitúan entre las dos magnitudes anteriores. Los barbechos forestales secundarios de 20 a 30 años retienen alrededor de 75 toneladas de carbono por hectárea, con una absorción anual de 5 toneladas por hectárea durante los diez primeros años del rebrote (Fearnside y Guimarães, 1996).

Cualquier medida que obstaculice la conversión a sistemas de uso que generen capacidades de almacenamiento inferiores o que incentive la adopción de un uso de la tierra que comporte una mayor capacidad de absorción contribuirá a un almacenamiento neto de carbono. Así, otro conjunto amplio de sistemas forestales y agroforestales puede llevar a cabo una importante aportación. Por ejemplo, Poffenberger *et al.* (2001) calcularon que, mediante protección y una regeneración

MAPA 2

Potencial para secuestrar carbono adicional en suelos de tierras cultivadas



Nota: Disponible en http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/google.kml?id=31152&layers=potential_sequester_carbon_cropland
Fuente: FAO.

asistida, los bosques xerófilos de la región central de la India podían duplicar su tasa de absorción de carbono por hectárea, pasando en diez años de 27,3 a 55,2 toneladas en bosques secundarios, y de 18,8 a 88,7 toneladas en rodales maduros, después de 50 años, a un costo muy bajo.

Capacidad de absorción de carbono debajo de la superficie

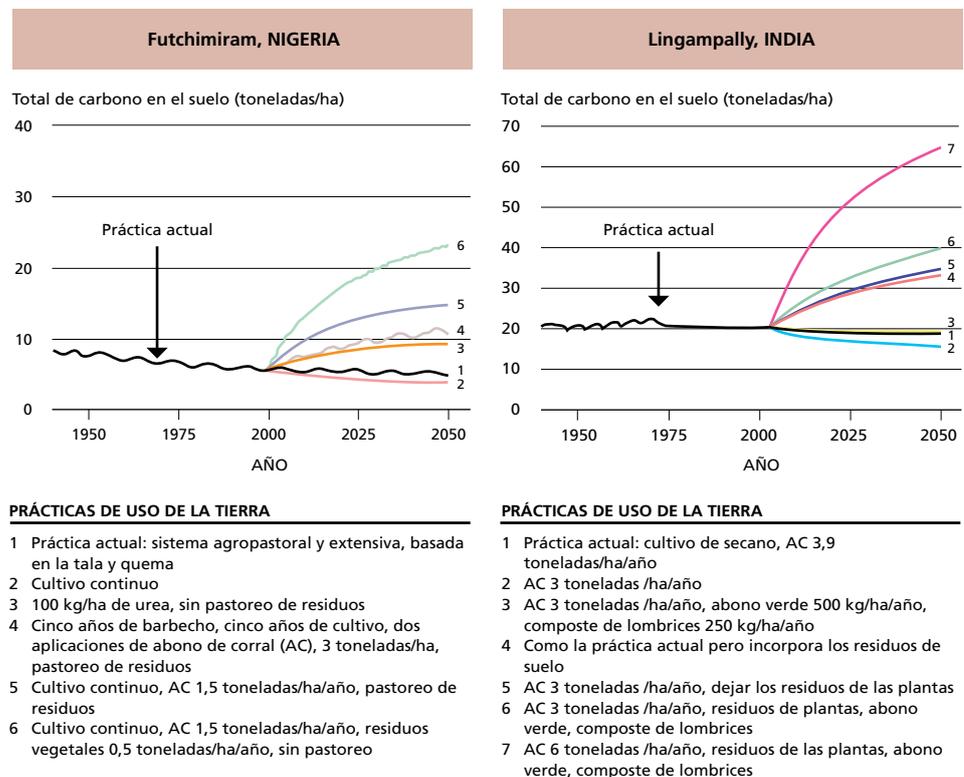
Todos los suelos contienen alguna cantidad de carbono depositada como materia vegetal muerta o de forma inorgánica como carbonato de calcio o dióxido de carbono disuelto en las aguas subterráneas. El volumen del carbono adicional que puede ser absorbido depende tanto de las condiciones geofísicas locales como del sistema de cultivo.

El Mapa 1 presenta una visión global de zonas con una capacidad importante para absorber carbono adicional en los suelos. Este potencial denominado «diferencia de carbono en el suelo», indica en qué lugares los niveles de carbono en el suelo son actualmente bajos pero existe una capacidad técnica de mediana a alta para la

absorción, en función del tipo de suelo, la humedad del suelo y las condiciones de la cubierta vegetal. Hay que destacar que este mapa, al igual que otros mapas incluidos en el presente informe, se fundamentan en bases de datos mundiales con una escala de resolución baja y una precisión desigual. Por consiguiente, los resultados presentados sólo pueden sugerir ubicaciones que muestran poseer capacidad de absorción en relación con los diversos indicadores considerados. Para poder extraer estimaciones más precisas, se necesitarían estudios por países y modelos más sofisticados.

El Mapa 2 indica la ubicación de tierras de cultivo con una capacidad técnica entre mediana y elevada para absorber carbono. Este mapa proporciona una visión preliminar de los sitios en los que los sistemas de cultivo podrían cambiarse para conseguir una importante absorción de carbono en el suelo. El mapa destaca la intersección de emplazamientos con una capacidad de absorción de carbono entre mediana y elevada (indicada en el Mapa 1) con las tierras de cultivo, tal como se identifican en la base de datos del proyecto de la

FIGURA 4
Cambios en el carbono del suelo para diferentes sistemas de cultivo



Fuente: FAO, 2004a.

Red Mundial para la Superficie Terrestre 2000 (GLC 2000)³.

Aproximadamente un 30 por ciento (4,7 millones de km²) de la superficie de la tierra caracterizada por una capacidad de absorción de carbono entre media y elevada se localiza en áreas bajo producción agrícola, representando un 15 por ciento de las tierras cultivadas tal como define el GLC 2000. Una cuarta parte de esta superficie se encuentra en Asia y otra cuarta parte en África.

¿Qué tipos de cambios en las prácticas de producción agrícola podrían incrementar la absorción de carbono en el suelo? Lasse

(2002) ofrece una lista de técnicas de gestión con esta capacidad, incluyendo el cultivo de cobertura, el recubrimiento con hojarasca combinado con el cultivo sin laboreo y la agroforestería. Algunas de estas prácticas también contribuirían a un aumento de las reservas de carbono sobre la superficie. Todavía son escasas las estimaciones fiables sobre la cantidad de carbono que puede ser absorbida en suelos utilizando diversas prácticas de gestión y modelos de explotación agrícola en el mundo en desarrollo. Las estimaciones propuestas por Lal *et al.* (1998) para áreas tropicales son casi el doble de elevadas que las calculadas para los tierras de secano.

Los efectos que los cambios en las prácticas de cultivo han tenido en la absorción de carbono pueden diferir drásticamente en función de la práctica y del lugar. Algunos estudios realizados en determinados lugares de la India y Nigeria, que recrean las consecuencias de los cambios en el uso

³ El GLC 2000 es una colaboración entre asociados de todo el mundo con el objetivo general de facilitar para el año 2000 una base de datos de la superficie terrestre armonizada para todo el mundo. El GLC define las tierras de cultivo como las clases de tierras 16 (zonas sometidas a cultivo y ordenación), 17 (mosaico: tierras de cultivo/cubierta forestal/otra vegetación natural) y 18 (mosaico: tierras de cultivo/arbustos o cubierta herbácea). Existen más detalles disponibles en <http://www-gvm.jrc.it/glc2000/>.

de la tierra durante un período de 50 años, sugieren que, con las actuales prácticas, el carbono en el suelo continuará bajando a un ritmo lento, pero estos cambios en el uso de la tierra podrían incrementar de forma significativa el carbono en el suelo a largo plazo (Figura 4) (FAO, 2004a). El intervalo de valores de la capacidad de absorción para las diferentes prácticas es amplio, extendiéndose desde valores negativos para prácticas de cultivo constantes hasta las cuarenta toneladas por hectárea conseguidas con la retención de residuos de cultivos y la adición sustancial de estiércol de granja. Para las prácticas con la capacidad de absorción más elevada, la absorción de carbono se mantiene en los mismos niveles durante todo el período de la simulación, y aún así no se alcanza el equilibrio; este dato sugiere que la absorción de carbono mediante cambios en las prácticas agrícolas necesita un tiempo considerable para que se noten plenamente los efectos.

Cantidad y calidad del agua

Los servicios de protección de las cuencas hidrográficas están físicamente delimitados por los demarcaciones de las propias cuencas. A diferencia de la absorción de carbono y de muchos servicios de conservación de la biodiversidad, son los usuarios locales y regionales los principales interesados en estos servicios (Landell-Mills y Porras, 2002).

Cantidad del agua

El uso del agua ha crecido rápidamente durante el último siglo, aumentando en más de siete veces entre los años 1900 y 2000, mientras que en el mismo período la población humana se cuadruplicó (PNUD, 2006). A pesar de un descenso en el consumo per cápita desde la década de 1980, el uso mundial de agua continúa aumentando (Shiklomanov y Rodda, 2003).

El Cuadro 2 muestra dos indicadores relacionados con el uso de los recursos de agua dulce. El «índice de utilización del agua» calcula el número de personas servidas por cada millón de metros cúbicos por año de esorrentía accesible. El uso relativo de agua o «índice de estrés por falta de agua» expresa la proporción de extracciones de agua que hay que suministrar. A nivel mundial, el uso actual de agua representa alrededor de un 13 por ciento del suministro anual (Evaluación de ecosistemas del Milenio, 2005b) con una tendencia general al alza, que indica un aumento de la presión sobre los recursos de agua dulce.

La Evaluación de ecosistemas del Milenio (2005b) prevé para el 2010 un incremento del 13 por ciento en el índice de utilización del agua global. Las previsiones contenidas en el Informe sobre Desarrollo Humano de 2006 (PNUD, 2006) sugiere que, para 2025, es probable que más de 3 000 millones de personas sufran una escasez en la disponibilidad de recursos hídricos y otros 14 países se pueden clasificar como escasos de agua (es decir, con menos

CUADRO 2
Indicadores de servicios de suministro de agua dulce, 2010

Región geográfica/grupos de países	Índice de utilización del agua (Personas/millones de m ³ /año)	Índice de estrés por falta de agua (Porcentaje)
Asia	391	19
América Latina	67	4
África del Norte/Medio Oriente	2 020	133
África subsahariana	213	3
Ex Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas	161	20
Países de la OCDE	178	20
TOTAL MUNDIAL	231	13

Nota: Estas cifras se basan en condiciones medias anuales. Los valores para las estadísticas de uso relativo mostradas aumentan cuando se toman en consideración las distribuciones subregionales espaciales y temporales de abastecimiento y uso de agua renovable.

Fuente: Tomado de Evaluación de ecosistemas del Milenio, *Ecosystems and human well-being: current state and trends*. Copyright © 2005 del autor. Reproducida previa autorización de Island Press, Washington, DC.

de 1 000 metros cúbicos de agua por persona y año).

La mayor parte del agua para uso humano se extrae directamente de ríos o de aguas subterráneas. Éstas pueden derivar de acuíferos renovables o «fósiles». Cada fuente presenta sus propios problemas de gestión. El agua subterránea renovable está directamente relacionada con el ciclo de agua dulce a través de la atmósfera y de los suelos, y por consiguiente su reposición tiene lugar a través de precipitaciones y determinadas prácticas agrícolas. El agua subterránea fósil se encuentra en acuíferos del subsuelo con una recarga neta escasa a largo plazo. El uso de agua subterránea fósil es similar a la extracción de minerales: una vez extraída, no puede ser sustituida ya que los períodos de reposición pueden durar miles de años (Margat, 1990).

Además de la extracción directa de ríos y acuíferos, se usan otras tres técnicas para aumentar la disponibilidad de agua dulce: los diques y otros embalses artificiales, la desalinización de agua marina y la recogida de aguas pluviales. Actualmente, el agua desalinizada suministra menos del 1 por ciento del consumo mundial de agua. La recogida de agua comprende un conjunto de técnicas tradicionales y modernas, que o bien recogen la escorrentía superficial o bien aumentan la infiltración de agua. Estas técnicas incluyen canales y diques para captar y transportar agua, sistemas para incrementar el contenido de humedad del suelo, embalses destinados al riego y al uso doméstico así como a la reducción de los picos de crecida.

La agricultura supone alrededor del 70 por ciento del uso total de agua en todo el mundo y hasta un 95 por ciento en muchos países en desarrollo, influyendo así tanto en la cantidad como en la calidad del agua disponible para otros usos humanos (FAO, 2007b). Los cambios en las prácticas agrícolas pueden contribuir al incremento de la cantidad de agua, ayudando a la recarga de los acuíferos subterráneos, aunque la aportación más importante que puede realizar la agricultura para mejorar la cantidad y calidad de los recursos de agua disponibles quizá sea a través de un uso más eficiente del agua que consume. Otra posibilidad es la reutilización de aguas residuales con fines agrícolas;

actualmente, se riegan alrededor de 2 millones de hectáreas usando este método (Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture, 2007), y existe la capacidad para incrementar este ámbito de forma significativa.

Pretty *et al.* (2006) analizaron 144 proyectos de países en desarrollo en los que se había introducido una combinación de prácticas de ordenación orientadas a la conservación de recursos, como por ejemplo la gestión integrada de los nutrientes y la lucha contra las plagas, la labranza de conservación y la agroforestería. Se constató que estas prácticas también proporcionan una notable mejora en la productividad del agua, especialmente para sistemas agrícolas de secano. Los incrementos medios en la productividad del agua oscilaron entre el 16 por ciento para el arroz de regadío y el 29 por ciento para el algodón de regadío, hasta el 70, 102 y 108 por ciento para los cereales, las legumbres, y las raíces y tubérculos de secano, respectivamente.

Numerosos estudios han determinado el efecto positivo de los cultivos sin laboreo en la capacidad de infiltración de agua, el contenido de humedad del suelo, la erosión del suelo y la capacidad de retención de agua. En los Estados Unidos de América, por ejemplo, se constató que los sistemas sin laboreo reducen la escorrentía de agua hasta un 31 por ciento; aumentan la infiltración de agua, dependiendo del tipo de suelo, entre un 9 y un 100 por ciento; y reducen la erosión del suelo hasta un 90 por ciento, hecho que a su vez reduce la carga sólida en ríos y los contaminantes en masas de agua (Hebblethwaite, 1993). Asimismo, Guo, Choudhary y Rahman (1999) constataron un incremento en la infiltración causada por una mejora en la estructura del suelo en sistemas sin laboreo, que provocó un descenso de la erosión del suelo. En varios lugares del Brasil, en los que se practica una agricultura de conservación, se redujeron las pérdidas hasta un 87 por ciento, mientras que la escorrentía se redujo en un 66 por ciento aplicando rotaciones de trigo y soja (Saturnio y Landers, 1997).

Se necesita investigar más para cuantificar exactamente la recarga de acuíferos obtenida a través de la mejora de la infiltración del agua. Hasta ahora, existe constancia de que la introducción de una

cultura de conservación y de otras prácticas de conservación del suelo y del agua mejora los servicios de cuencas hidrográficas. En el Estado Paraná, Brasil, se observó que, después de la introducción de un sistema sin labranza, un pozo que normalmente estaba seco durante la mayor parte del año se había llenado otra vez y que el río cercano había empezado a llevar agua también en la estación seca (FAO, 2003b). En la India, Agrarwal y Narain (2000) observaron que los ríos Avari y Ruparel empezaron a llevar agua durante todo el año después de que se aplicasen en las cuencas hidrográficas un conjunto de prácticas de recogida de agua y medidas de conservación del suelo. En relación a la gestión del ganado, se constató que el pastoreo de rotación, la mejora de la distribución del ganado y el incremento de la cubierta arbórea en los pastos mejoran la recarga de agua (FAO, 2006a). No obstante, se necesita investigar más acerca de las relaciones exactas y los desfases temporales entre la introducción de una mejora en la ordenación agrícola para la conservación del agua y los aumentos de la cantidad de agua.

El Cuadro 3 resume en términos cuantitativos las probables consecuencias en la disponibilidad de agua generadas por los principales cambios en el uso de la tierra. Lamentablemente, las relaciones hidrológicas entre el uso de la tierra y la generación de agua en mayor cantidad y calidad son complejas y específicas para cada lugar, y a menudo los datos científicos disponibles son insuficientes (Robertson y Wunder, 2005; FAO, 2004b). La mayoría de estudios en este ámbito se han centrado en las consecuencias de la protección de los bosques y la reforestación en la proximidad de fuentes de agua, aunque incluso en estos estudios los resultados han sido a menudo ambiguos. El aumento de la cubierta arbórea puede causar una reducción o un incremento de la disponibilidad de agua. Dado que una cuenca hidrográfica típica se encuentra afectada por las actividades de muchos agricultores, se debería adoptar de forma generalizada una mejora de las prácticas agronómicas con el fin de obtener unos efectos cuantificables. Asimismo, la supervisión a largo plazo necesaria para evaluar los cambios en cuencas hidrográficas extensas puede ser costosa. No obstante,

aunque sean escasos los datos científicos acerca de la influencia que una mejora en la gestión genera en los niveles de agua y la recarga del agua subterránea, las investigaciones han constatado claramente lo contrario: es decir, que la degradación del suelo y la deforestación provocan una disminución de los acuíferos.

En el Mapa 3 se muestran las tierras de cultivo en Asia meridional y Asia sudoriental con niveles altos de erosión laminar, indicando las potenciales consecuencias fuera del lugar en forma de acrecimiento y sedimentación en los canales de agua. El Mapa 3 se basa en las conclusiones de la Evaluación del estado de degradación del suelo provocada por el hombre en Asia meridional y sudoriental, llevada a cabo entre 1994 y 1997 por el Centro Internacional de Referencia e Información en Suelos (ISRIC) y la FAO (van Lynden y Oldeman, 1997). No todas las áreas mostradas poseen necesariamente la capacidad para desempeñar una importante función en el suministro de servicios de cuenca hidrográfica mediante un cambio en el uso de la tierra, dependiendo de su ubicación con respecto a las funciones hidrológicas, pero aquéllas que sí muestran capacidad, siguen representando zonas importantes con un considerable número de productores agrícolas.

Calidad del agua

La Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) definió la calidad del agua como «las características físicas, químicas y biológicas del agua necesarias para sostener los usos de agua deseados» (CEPE, 1995, pág. 5). La mayoría de especies acuáticas son capaces de adaptarse a los cambios naturales en la calidad de agua, pero las actividades humanas han introducido contaminantes que amenazan muchas especies y exigen un tratamiento para suministrar agua potable.

La mayoría de los efectos de las actividades humanas en la calidad del agua se han producido durante el último siglo (Evaluación de ecosistemas del Milenio, 2005b). Mientras que en el pasado, los principales contaminantes eran de origen fecal y orgánico derivados de aguas residuales sin tratar (y así continúa siendo en muchos países en desarrollo), actualmente los principales contaminantes pueden

CUADRO 3**Breve exposición de las consecuencias hidrológicas relacionadas con las clases principales de alteración de la cubierta vegetal y del uso**

TIPO DE CAMBIO EN EL USO DE LA TIERRA	CONSECUENCIAS EN EL SERVICIO DE SUMINISTRO DE AGUA DULCE	NIVEL DE CONFIANZA
De bosque natural a bosque bajo gestión	Ligero descenso del flujo de agua dulce disponible y una disminución de la fiabilidad temporal (niveles inferiores de recarga a largo plazo de las aguas subterráneas)	Probable en la mayoría de climas templados y climas cálidos húmedos, aunque muy dependientes de las especies de árboles dominantes Unas prácticas de ordenación adecuadas pueden reducir los efectos hasta niveles mínimos
De bosque a pasto/agricultura	Fuerte aumento de la cantidad de escorrentía superficial con el incremento relacionado del flujo de sedimentos y nutrientes Descenso de la fiabilidad temporal (inundaciones, niveles inferiores de recarga a largo plazo de las aguas subterráneas)	Muy probable a nivel mundial con un efecto dependiente del porcentaje de la zona receptora cubierta Las consecuencias son menos graves si la conversión es en pastos en lugar de agricultura Muy importante para áreas con intensas precipitaciones durante periodos concentrados de tiempo (por ejemplo, monzones)
De bosque a uso urbano	Incremento muy intenso de escorrentía con el aumento relacionado de la carga de contaminantes Fuerte descenso de la fiabilidad temporal (inundaciones, niveles inferiores de recarga a largo plazo de las aguas subterráneas)	Muy probable a nivel mundial con un efecto dependiente del porcentaje de la zona receptora cubierta Efectos más intensos cuando se transforma la parte inferior de la cuenca receptora Más importante para áreas con frecuentes situaciones de lluvias intensas
Invasión por especies con tasas más elevadas de evapotranspiración	Fuerte descenso de escorrentía Fuerte descenso de la fiabilidad temporal (niveles inferiores de recarga a largo plazo de las aguas subterráneas)	Muy probable, aunque altamente dependiente de las características de las especies de árboles dominantes Escasamente documentado excepto para Sudáfrica, Australia y el río Colorado en los Estados Unidos de América

Fuente: Tomado de Evaluación de ecosistemas del Milenio, *Ecosystems and human well-being: current state and trends*. Copyright © 2005 del autor. Reproducida previa autorización de Island Press, Washington, DC.

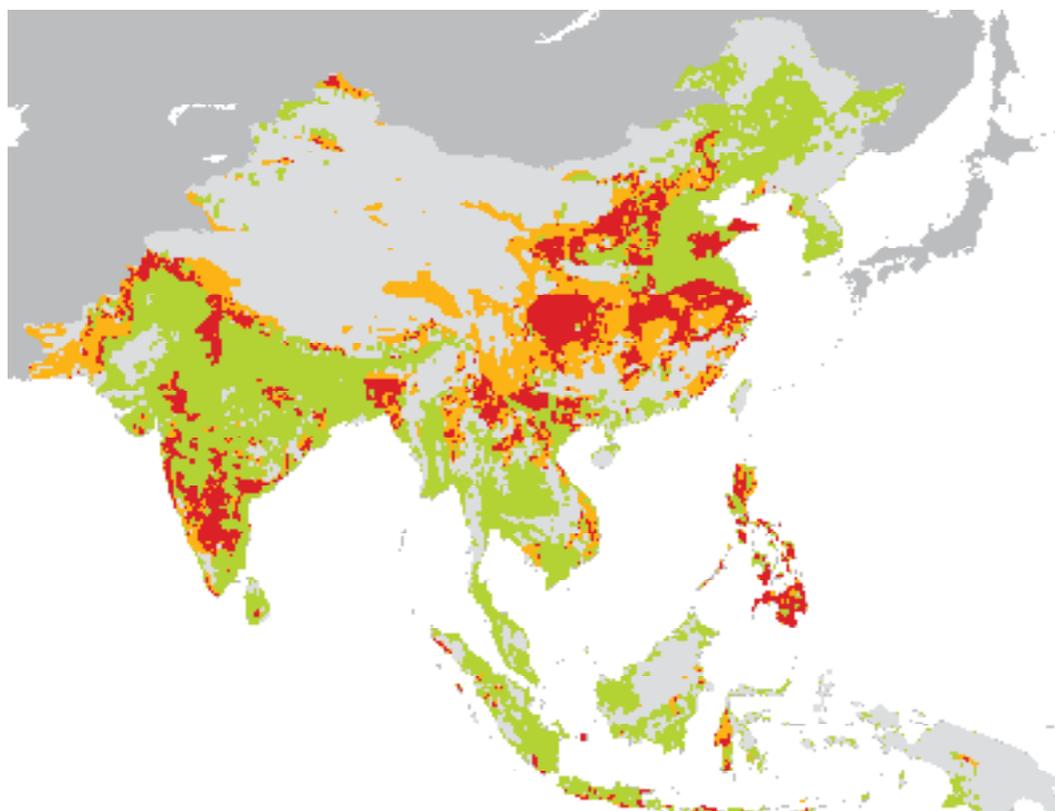
ser atribuidos a la producción agrícola e industrial. Dentro de la agricultura, predomina la contaminación relacionada con la erosión del suelo, la escorrentía de nutrientes y los pesticidas. En muchos países, el ganado es la mayor fuente de polución y la contaminación de nutrientes derivada de los residuos representa un problema cada vez más importante (FAO, 2006a). Debe establecerse una distinción entre la contaminación de «fuentes puntuales» (una liberación reducida de contaminantes en una masa de agua) y la polución de «fuentes no puntuales», con un origen de la polución difuso y difícil de detectar. Las grandes explotaciones ganaderas, con

una alta concentración, constituyen una excepción, ya que las consecuencias pueden ser atribuidas a una fuente identificable.

La mejora de la calidad del agua a través de cambios en los sistemas de producción agrícolas implica generalmente reducir la salinización y la escorrentía perjudicial de los campos en forma de erosión del suelo, pesticidas y otros productos químicos o residuos de la ganadería. Un medio es la mejora en la eficacia del uso de nutrientes mediante la aplicación del fertilizante más adecuado a la capacidad de las plantas para absorber nutrientes. Un control y una mejora en la programación de la utilización de fertilizantes, así como el uso de cultivos

MAPA 3

Tierras de cultivo con elevadas tasas de erosión inducida por el hombre



- Tierras de cultivo con elevadas tasas de erosión laminar inducida por el hombre
- Otras tierras con elevadas tasas de erosión laminar inducida por el hombre
- Otras tierras de cultivo

Nota: Disponible en http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/google.kml?id=31153&layers=croplands_humaninduced_erosion
Fuente: FAO.

de cobertura y una labranza reducida, son medios útiles para este objetivo (Tilman *et al.*, 2002). Las medidas para mejorar la gestión de los residuos de la ganadería también pueden contribuir a la mejora de la calidad del agua. Estas medidas incluyen cambios en los procesos de producción (gestión de los piensos) así como la recogida, almacenamiento, procesamiento y utilización del estiércol (FAO, 2006a).

En Francia existe un ejemplo positivo de medidas para reducir la contaminación de fuentes no puntuales causada por la producción ganadera. La compañía embotelladora de agua Vittel concluyó acuerdos con agricultores, para incentivar

el cambio de prácticas en la gestión de la tierra con el objetivo de reducir los nitratos en la fuente de agua (Perrot-Maître, 2006). La modificación de las prácticas supuso la eliminación del cultivo de maíz para alimentar al ganado y de la utilización de productos químicos para la agricultura, el uso de un pastoreo extensivo del ganado vacuno con un reducido número de animales, así como la modernización de las instalaciones agrícolas para minimizar la escorrentía de nutrientes.

Tal como ilustran los ejemplos de arriba, las medidas para reducir la contaminación causada por la producción ganadera implican cambios tanto para las prácticas

de cultivo en la producción de piensos como para las técnicas de cría del ganado. Los contaminantes en cuestión incluyen la excreción de nutrientes de niveles excesivos de nitrógeno, fósforo y metales pesados. Los residuos de la ganadería pueden también incluir una diversidad de microorganismos que constituyen un potencial peligro para la salud humana.

Conservación de la biodiversidad

El Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) define la diversidad biológica como «la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos... los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas» (CDB, 1993, Artículo 2°).

Normalmente se mide la biodiversidad en los niveles de la genética, de las especies y del ecosistema, aunque es difícil definir «unidades de biodiversidad» con el objeto de llevar a cabo transacciones. Dentro de cualquiera de estos tres niveles, la conservación de la biodiversidad implica mantener las siguientes dimensiones (Evaluación de ecosistemas del Milenio, 2005b):

- *la variedad*, que refleja el número de los diferentes tipos;
- *la cantidad y la calidad*, que refleja la cantidad de cada uno de los tipos;
- *la distribución*, que refleja donde se ubica esa característica de la biodiversidad.

La Evaluación de ecosistemas del Milenio llegó a la conclusión de que, a lo largo de los últimos 50 años, las actividades humanas han provocado una pérdida de la biodiversidad en el planeta más rápida que en ningún momento anterior de la historia de la humanidad. La Evaluación identifica cinco causantes principales de la pérdida de biodiversidad: el cambio de hábitat, el cambio climático, las especies exóticas invasivas, la sobreexplotación y la contaminación. La Evaluación sostiene que la pérdida de especies y la constante homogenización de muchos ecosistemas continúa siendo una de las mayores amenazas para la supervivencia de nuestros sistemas natural y socioeconómico (Evaluación de ecosistemas del Milenio, 2005b).

La biodiversidad relacionada con ecosistemas agrícolas se conoce como biodiversidad agrícola, y está considerada generalmente como la multitud de plantas, animales y microorganismos en los niveles genético, de las especies y del ecosistema, indispensable para sostener las funciones principales para la producción de alimentos y la seguridad alimentaria (CDB, 2000). La biodiversidad agrícola constituye la base de la seguridad alimentaria y los medios de subsistencia de todas las personas (FAO, 1997).

La biodiversidad agrícola es el producto de las interacciones entre el medio ambiente, los recursos genéticos y los sistemas de gestión y prácticas usados por los agricultores y, asimismo, el resultado de una selección cuidadosa y un desarrollo creativo a lo largo de milenios. Incluye la diversidad genética de los cultivos y el ganado así como la biodiversidad asociada con los cultivos (por ejemplo, los polinizadores de biodiversidad supresores de plagas, la biodiversidad del suelo).

En los últimos años ha aumentado la preocupación por la pérdida de la biodiversidad agrícola causada por la homogenización de los sistemas de producción agrícola (FAO, 1997). Con respecto a la diversidad genética del cultivo y del ganado se han puesto de relieve dos preocupaciones principales: el incremento de los niveles de vulnerabilidad genética y la erosión genética (FAO, 1997). La vulnerabilidad genética se produce en los sitios en que una variedad de cultivo o ganado de extenso uso queda bajo la amenaza de una plaga o un patógeno, con la consiguiente pérdida generalizada de cosechas. La erosión genética es la pérdida de recursos genéticos mediante la extinción de una variedad de ganado o de un cultivo. La causa principal de una erosión genética es la sustitución de las variedades autóctonas con otras variedades mejoradas. La pérdida de servicios de ecosistemas necesarios para la seguridad alimentaria es otra de las preocupaciones. Sin una gestión adecuada de la biodiversidad agrícola, alguna de las funciones principales del ecosistema agrícola puede perderse, como es el caso del mantenimiento de los ciclos del agua y los nutrientes, la regulación de las plagas y las enfermedades, la polinización y el control de la erosión de la tierra.

La conservación de la diversidad genética de los cultivos y el ganado puede garantizarse tanto de forma externa o *ex situ* como interna o *in situ*. Los métodos externos comprenden los bancos de semillas y genes, mientras que la conservación interna tiene lugar en los campos de los agricultores, los estanques o los bosques. Las dos estrategias son complementarias; las colecciones *ex situ* conservan un conjunto estático de recursos externos, mientras que los esfuerzos internos protegen un proceso dinámico de la evolución, ya que los recursos genéticos se adaptan a las presiones cambiantes de la selección natural y humana.

Las estrategias usadas para conservar la biodiversidad agrícola vinculan la conservación natural con el uso sostenible por parte de los seres humanos. Dadas las características específicas de la biodiversidad agrícola, los mecanismos e instrumentos usados para garantizar su gestión sostenible, incluyendo la conservación, a menudo son específicos y difieren de los utilizados normalmente para la biodiversidad silvestre (como es el caso de las áreas protegidas).

¿De qué forma los productores agrícolas pueden conservar la biodiversidad? Las medidas necesarias dependen no solamente del tipo de biodiversidad que se tenga que conservar, sino también de los sistemas de producción y la ubicación. Las siguientes secciones estudian tres formas principales mediante las cuales los productores agrícolas pueden contribuir a la conservación de la biodiversidad: la reducción de la expansión agrícola en tierras ricas en biodiversidad; la adopción de sistemas de producción agrícola que apoyen la producción conjunta de la conservación de la biodiversidad y los productos agrícolas; y la conservación de la biodiversidad agrícola.

Minimización de la expansión agrícola dentro de las zonas ricas en biodiversidad silvestre

La agricultura puede contribuir a la conservación de la biodiversidad silvestre evitando el uso de recursos de tierras y aguas ricas en diversidad de especies. Este tipo de estrategia incluye tanto el mantenimiento de zonas con ecosistemas relativamente intactos como el abandono de tierras y zonas de agua actualmente en producción y ubicadas cerca de zonas ricas en especies,

especialmente si tienen una adecuación limitada para la agricultura. Estas zonas pueden ser incorporadas a áreas protegidas como los parques nacionales y las reservas, que constituyen las piedras angulares de la conservación de la biodiversidad silvestre. Esta estrategia puede suponer también la eliminación, reducción o mejora de prácticas de producción agrícola y la gestión general de la tierra en zonas que han sido identificadas como «corredores» para la migración de la fauna silvestre y la conectividad de ecosistemas.

El Mapa 4 es uno de los diversos mapas generados por un estudio del cambio del uso de la tierra en los neotrópicos (Wassenaar *et al.*, 2007) e indica las áreas en riesgo de transformación en agricultura en diversas partes de América del Sur. El estudio identificó las zonas con riesgo más alto de transformación en pastos y tierras de cultivo usando un modelo que incorpora de forma explícita dimensiones como por ejemplo la ubicación, la adecuación y otros diversos factores que afectan a los valores económicos relativos de los usos de la tierra. El mapa identifica las zonas críticas de deforestación en rojo (con riesgo de transformación en pastos) y anaranjado (con riesgo de transformación en tierras de cultivo). Muchas de las ecoregiones que se verían afectadas por la deforestación prevista forman parte de las 200 ecoregiones prioritarias del mundo del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), una selección de los hábitat de la tierra más diversos y representativos desde el punto de vista biológico, mientras que otras áreas están incluidas dentro de la clasificación de Conservation International en zonas en situación crítica para la biodiversidad (Wassenaar *et al.*, 2007; WWF, 2007). En estas áreas los productores de cultivos y ganado podrían ofrecer importantes servicios de conservación de la biodiversidad evitando su conversión en uso agrícola o facilitando la conservación en las zonas agrícolas (por ejemplo, proporcionando corredores para la fauna salvaje que conecten las zonas del hábitat).

Conservación de la biodiversidad silvestre en ecosistemas agrícolas

Los productores agrícolas también pueden conservar la biodiversidad dentro de ecosistemas agrícolas. McNeely y

MAPA 4

Ampliación prevista de tierras de cultivo y de pastos, 2000-2010



Nota: Disponible en

http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/google.kml?id=31154&layers=cropland_pasture_expansion

Fuente: Wassenaar et al., 2007.

Scherr (2002) destacan una serie de medidas posibles:

1. Mejorar el hábitat de las especies silvestres en las explotaciones y establecer corredores de tierras agrícolas entre los espacios no cultivados;
2. Imitar los hábitat naturales mediante la integración de plantas perennes productivas;
3. Utilizar métodos de explotación agrícola que reduzcan la contaminación;

4. Modificar las prácticas de gestión de los recursos para mejorar la calidad del hábitat en las tierras agrícolas y en torno a ellas.

Un ejemplo del primer caso se encuentra en Costa Rica, donde se instalaron cortavientos mediante la plantación de una mezcla de especies de árboles autóctonos y exóticos en 150 hectáreas abarcando 19 comunidades agrícolas. Los cortavientos se utilizan como corredores

biológicos que conectan el resto de parcelas forestales de la zona, aunque también benefician a los agricultores mediante la reducción del daño causado por el viento (McNeely y Scherr, 2002). Otros ejemplos que podrían caer dentro de esta categoría incluyen tanto la instalación de setos como la agroforestería. Schroth *et al.* (2004) ofrecen un estudio general sobre la función de la agroforestería para la conservación de la biodiversidad mediante el suministro de corredores y nuevos hábitat para las especies silvestres.

El café de sombra constituye un ejemplo destacado del segundo tipo de estrategia. El café de sombra se produce bajo la cubierta de las copas de los árboles. Las plantaciones de café de sombra, protegidas por las copas de árboles de altura variada, proporciona un entorno que tiende a ser atractivo para las aves migratorias. En cambio, el café cultivado mediante los sistemas convencionales presenta bajos niveles de biodiversidad (Pagiola y Ruthenberg, 2002).

Existen muchos ejemplos que pueden ilustrar la tercera categoría, consistente en un cambio en las prácticas agrícolas para reducir la contaminación. En Viet Nam, el excesivo uso de pesticidas en el cultivo de arroz estaba generando una contaminación fuera de las explotaciones agrícolas que perjudicaba el hábitat local. Una campaña de divulgación orientada a la reducción del uso de pesticidas, ha beneficiado a la gran cantidad de especies de ranas y peces que habitan en los arrozales. En China, donde el uso intensivo de pesticidas para controlar el añublo de arroz se redujo considerablemente mediante la plantación de un conjunto diferente de variedades de arroz. En Filipinas, donde se evitó la erosión del suelo y la posterior contaminación mediante la introducción de cultivo en franjas (McNeely y Scherr, 2002).

La reintroducción de sistemas mejorados de barbecho breve (de uno a dos años de duración) en sistemas agrícolas de pequeños productores en Kenia y Zambia constituye un ejemplo de la cuarta categoría. Esta medida no ayudó solamente a recuperar la fertilidad del suelo, sino que también proporcionó un hábitat para especies silvestres (McNeely y Scherr, 2002).

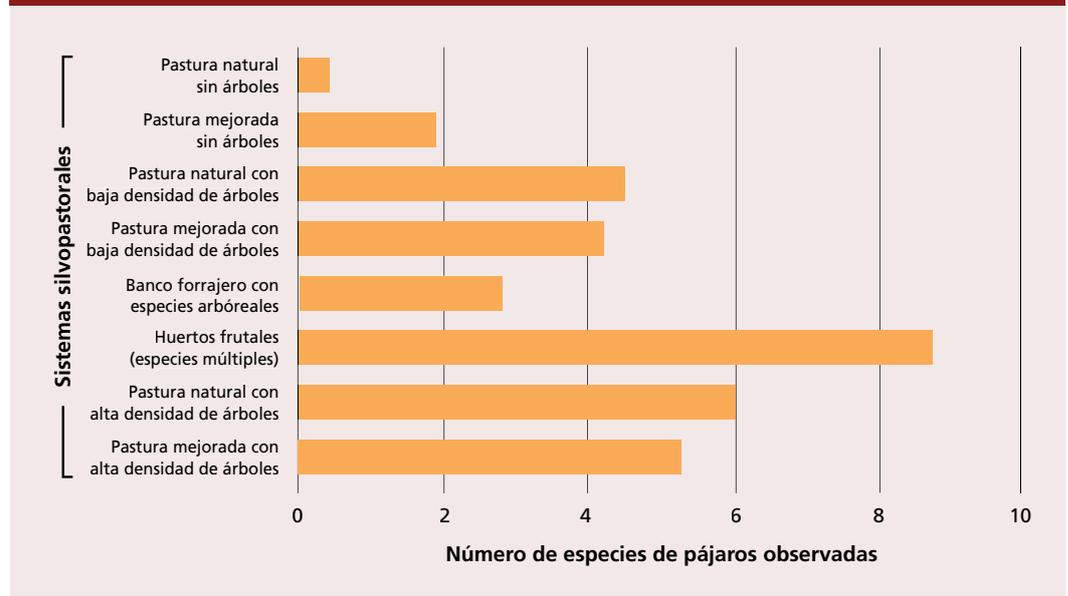
En determinadas áreas, las prácticas silvopastorales pueden ofrecer una alternativa a los sistemas de producción bovina basados únicamente en el pasto. Estas prácticas incluyen la plantación de altas densidades de árboles y arbustos en los pastos, los sistemas de corte y acarreo mediante los cuales se alimenta al ganado con follaje de árboles y arbustos plantados específicamente en áreas usadas anteriormente para otras prácticas agrícolas, y utilizando árboles y arbustos de crecimiento rápido como vallado y paravientos (Pagiola *et al.*, 2007). Los beneficios sobre el terreno de las prácticas silvopastorales para los usuarios de la tierra incluyen productos adicionales derivados de los árboles, como la fruta, la leña, el forraje o la madera; el mantenimiento o la mejora de la productividad de los pastos mediante el incremento del reciclaje de nutrientes; y la diversificación de la producción (Dagang y Nair, 2003).

Tal como muestra la Figura 5, las prácticas silvopastorales también tienen importantes beneficios para la biodiversidad. Este tipo de prácticas han desempeñado una función primordial para la supervivencia de especies silvestres, suministrando los recursos y la protección mínimos; para conseguir una tasa superior de propagación de plantas forestales autóctonas; y para prestar protección a aves silvestres. Además, estas prácticas también pueden ayudar a conectar áreas protegidas (Dennis, Shellard y Agnew, 1996; Harvey y Haber, 1999). Asimismo, las prácticas silvopastorales pueden fijar importantes cantidades de carbono en el suelo y en la biomasa arbórea permanente (Fisher *et al.*, 1994; Pfaff *et al.*, 2000) y tener un efecto beneficioso para los servicios de agua (Bruijnzeel, 2004).

Conservación de la biodiversidad agrícola

Existe un amplio conjunto de métodos para conservar la biodiversidad agrícola, dependiendo del componente específico objeto del interés. Los métodos difieren en las condiciones del grado de la intervención humana en el sistema natural, que se extiende desde bancos de genes y semillas gestionados *ex situ* al mantenimiento de especies afines a las cultivadas en áreas naturales silvestres. Las medidas también

FIGURA 5
Impacto sobre la biodiversidad de los sistemas silvopastorales adoptados en Esparza (Costa Rica)



Fuente: Pagiola, 2006.

incluyen la conservación y la utilización en las propias explotaciones agrícolas de las llamadas «variedades locales», o variedades tradicionales de cultivos y ganado, que a menudo están muy adaptadas a sus entornos locales. Se puede fomentar la diversidad mediante la prestación de incentivos para mantener un conjunto heterogéneo de variedades de cultivo en la producción, en especial variedades locales raras, o bien gestionando los límites de las tierras para estimular la función tanto de los enemigos naturales supresores de plagas como de los polinizadores. Jarvis, Padoch y Cooper (2007) ofrecen una amplia panorámica de los instrumentos usados por los agricultores para conservar y aumentar el desarrollo de la biodiversidad en sus campos.

Dado que la biodiversidad agrícola está relacionada directamente con la producción, trabajar dentro de unos canales de mercados agrícolas con el objeto de proporcionar incentivos a los agricultores para conservar la diversidad agrícola constituye una estrategia importante. En los últimos años, la comunidad internacional ha prestado ayuda a los agricultores para conservar la biodiversidad agrícola *in situ*. Estos programas pretenden aumentar la

disponibilidad y la productividad de la diversidad de los sistemas de producción, o incrementar los beneficios del mantenimiento de los diferentes sistemas. Una de las estrategias es aumentar la demanda de diferentes productos a través de la creación de un etiquetado, certificación u otros sistemas originales y el desarrollo de mercados especializados (Bioversity International, 2006). El aumento de la diversidad en los sistemas de suministros de semillas agrícolas constituye otra estrategia (FAO, 2006b). Un ejemplo que implica pagos directos a agricultores para mantener diversas variedades de cultivos es el proyecto financiado por el FMAM, *A Dynamic Farmer-Based Approach to the Conservation of African Plant Genetic Resources*, aplicado en Etiopía de 1992 a 2000 (FMAM, 2007a).

Otros servicios ambientales que pueden ofrecer los productores

Las secciones anteriores se han centrado en tres diferentes, aunque muy importantes, servicios ambientales. Sin embargo, se debería destacar que, aparte de estos servicios, los productores agrícolas pueden prestar, y así lo hacen, muchos otros

servicios. Uno de ellos es la estética del paisaje, del cual algunos agricultores ya están recibiendo importantes beneficios económicos en forma de ecoturismo y agroturismo (Recuadro 3). Otras prestaciones que se pagan a agricultores incluyen los servicios de polinización y la reducción tanto de la propagación de enfermedades de los animales y de los cultivos como de especies invasivas. Por ejemplo, algunos agricultores en áreas afectadas han recibido pagos por sacrificar pollos como medida para prevenir la propagación de la gripe aviar.

La importancia de la escala, ubicación y coordinación en la prestación de servicios ambientales

Tal como se ha expuesto anteriormente, los productores agrícolas pueden aplicar numerosos cambios para mejorar el equilibrio de servicios prestados por ecosistemas agrícolas. La atención se ha centrado en los cambios que los agricultores individuales pueden realizar para aumentar la oferta de cada uno de los tres servicios ambientales. Sin embargo, especialmente en los casos de los servicios de ordenación de cuencas hidrográficas y de la conservación de la biodiversidad, tanto la dimensión como la ubicación son muy importantes para la eficacia de los cambios, que a su vez tiene consecuencias para las necesidades de coordinación. De hecho, los cambios introducidos por parte de un productor, destinados a la mejora de un hábitat o a la reducción de la erosión en una cuenca hidrográfica, es improbable que sean suficientes para suministrar esos servicios ambientales, a menos que el productor controle una gran proporción de los recursos de tierra y agua imprescindibles para la provisión del servicio. Esto supone que considerar un cambio en el ámbito del paisaje es tan importante como tener en cuenta sus efectos en la dimensión de la unidad de producción individual. También significa que la eficacia de cualquier cambio puede depender de forma decisiva de la coordinación entre las acciones de varios productores.

El Cuadro 4 (págs. 34-35) resume un conjunto de cambios en la gestión que los productores agrícolas pueden aplicar para

aumentar la oferta de los tres servicios ambientales analizados. Los cambios se presentan en relación con la gestión del paisaje y el grado de coordinación necesario entre los productores para lograr una provisión eficaz.

Capacidad técnica frente a capacidad económica para suministrar servicios ambientales

Las secciones anteriores han analizado la capacidad técnica de la agricultura para prestar servicios ambientales. Esta capacidad nos muestra principalmente la cantidad de un servicio ambiental que podrían prestar los agricultores, aunque es importante reconocer que no coincidiría con lo que probablemente suministrarían en caso de ausencia de incentivos adicionales. La distinción se corresponde con la diferencia entre la capacidad técnica y la capacidad económica para prestar servicios ambientales.

Por ejemplo, desde una perspectiva meramente técnica, la mejora de la gestión de la tierra durante los próximos 50-100 años podría teóricamente suponer una gran contribución para la absorción de carbono en todo el mundo. Así, Lal (2000) ha estimado que el incremento anual de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera podría compensarse con la restauración de 2 000 millones de hectáreas de tierras degradadas para aumentar su contenido medio de carbono en 1,5 toneladas por hectárea en los suelos y la vegetación mediante la mejora de prácticas de gestión del suelo como por ejemplo la reducción de la labranza y la fertilización (véase también Rasmussen, Albrecht y Smiley, 1998; Sa *et al.*, 2001). Sin embargo, la cantidad real de absorción de carbono que los agricultores están dispuestos a suministrar depende de la cantidad que se les pagará y de los costos que asumirían con la prestación. Estudios económicos realizados en los Estados Unidos de América muestran que con unos precios del carbono fluctuando entre 50 y 100 dólares EE.UU. por tonelada, la capacidad económica se sitúa bastante por debajo de la capacidad técnica (Lewandrowski *et al.*, 2004; Paustian *et al.*, 2006).

RECUADRO 3 La estética del paisaje

Aunque en el presente informe no se aborde de forma detallada, la ordenación de la estética del paisaje es otro servicio ambiental que ha desarrollado también un mercado. La estética del paisaje, o «servicios públicos rurales», incluye el placer que las personas obtienen por ver, visitar o incluso conocer la existencia de ciertas características del paisaje. El placer puede generarse por la novedad (la observación de la erupción de un géiser), la diversidad (una ladera cultivada usando una variedad de prácticas), la belleza natural (las vistas del Himalaya), la cultura (las visitas a un lugar sagrado) o existencia de especies en peligro en un lugar remoto.

En consecuencia, los paisajes poseen distintos valores por sí mismos que pueden ser clasificados de diferentes formas. La gente puede estar interesada simplemente en asegurar la existencia de determinados paisajes, hábitat o ecosistemas, aunque no se beneficien de los mismos de forma directa o indirecta. Sin embargo, los paisajes también pueden tener otros valores de uso directo, explotados a través de actividades como el turismo natural, el ecoturismo o el agroturismo. El turismo natural consiste en la visita a un lugar con el objetivo principal de apreciar algún elemento de la naturaleza. El término «ecoturismo», en este contexto, se usa para describir las visitas a lugares con

una fauna y una flora singulares, como la cuenca del Amazonas o las llanuras del Serengeti. El agroturismo consiste en la visita a paisajes en los que la práctica de la agricultura por parte del ser humano ha generado un paisaje atractivo, con unos productos y una cocina propios.

A menudo, la provisión de servicios de estética del paisaje genera importantes sinergias con la prestación de otros servicios ambientales, especialmente la conservación de la biodiversidad. Se han creado algunas destinaciones para permitir a los visitantes ver colecciones únicas de diversas especies. Muchas de estas destinaciones están protegidas, con lo que aumenta la probabilidad de que se mantengan especies en peligro en zonas circundantes o se regule la calidad y la cantidad del agua. El turismo natural puede contribuir a la mejora de la conservación de la diversidad biológica, especialmente cuando las comunidades locales participan directamente con los operadores turísticos. Si las comunidades locales reciben ingresos directamente de una empresa turística, es más probable que se genere una mayor protección y conservación de los recursos locales.

La agricultura puede desempeñar distintas funciones, aunque no con la misma intensidad, para garantizar la provisión de unos servicios de estética del

La capacidad económica para prestar servicios ambientales es un criterio fundamental para evaluar la eficacia de los PSA como medio para aumentar los beneficios económicos y ambientales disponibles de los agroecosistemas. Tal como se ha expuesto en los párrafos iniciales del presente capítulo, esta capacidad es una función de las condiciones de la economía agrícola en cuestión. La densidad de la población, las condiciones agroecológicas, el nivel de integración de los mercados y la tecnología primaria empleada en la agricultura son determinantes fundamentales de la rentabilidad actual de la tierra y la mano de obra empleada en

la agricultura y de los potenciales costos y beneficios de la introducción de cambios que generarían servicios ambientales adicionales. Estos mismos factores también afectan al desarrollo económico y, en consecuencia, a la demanda y disposición para pagar por servicios ambientales a nivel local.

Conclusiones

La agricultura tiene la capacidad de incrementar significativamente la prestación de servicios ambientales como la mitigación del cambio climático, la conservación de la biodiversidad, la protección de las cuencas

paisaje que van desde la transformación o el mantenimiento de unas áreas o paisajes determinados en tierras de producción agrícola, hasta la gestión de tierras que ya se encuentran bajo producción agrícola. Es posible que los agricultores no tengan en cuenta que sus tierras pueden prestar servicios públicos rurales al gestionar y decidir la forma de desarrollarlas. De hecho, en varios países desarrollados, el suministro de servicios públicos rurales constituye uno de los principales motivos para la aplicación de diferentes programas financiados con fondos públicos (Nickerson y Hellerstein, 2003).

Existe un creciente mercado privado para servicios de estética del paisaje. El ecoturismo está creciendo rápidamente, impulsado por un incremento de los ingresos en todo el mundo, una mayor facilidad para viajar con costos más reducidos, y un aumento de la información disponible. Se prevé que el gasto mundial en turismo crezca más de un 6 por ciento anual (OMT, 1998, tal como se menciona en Hawkins y Lamoureux, 2001), y las actividades turísticas se centran cada vez más en los entornos naturales.

Parece probable que el tamaño general del mercado para la estética del paisaje y los servicios de esparcimiento que los paisajes agrícolas suministran continúe siendo de menor importancia y que

los pagos a las comunidades agrícolas se limiten a aquéllas que habitan en áreas de gran atractivo turístico o en las zonas adyacentes. En muchos países desarrollados, se ha formado un sector de la industria turística alrededor de paisajes agrícolas y de pastoreo, y la estética y las actividades que ofrecen, aunque en los países en desarrollo todavía no se ha creado una industria comparable.

Los compradores más importantes de servicios de estética del paisaje y esparcimiento serán probablemente los operadores turísticos y otras actividades lucrativas relacionadas, ya sea de forma directa o en grupos, trabajando en un área determinada con un paisaje de gran belleza. Tanto los aficionados a la caza y a la pesca como los visitantes privados de los parques también podrían convertirse en compradores de servicios de estética del paisaje y esparcimiento. Actualmente existen muchos ejemplos de utilización de los ingresos obtenidos por las visitas a parques públicos para beneficiar a los grupos de comunidades que protegen los valores del paisaje y el esparcimiento. Algunas de estos ejemplos de utilización podrían adquirir un valor muy significativo en el futuro.

hidrográficas, entre otros servicios, pero esta capacidad exige cambios en la forma en que se gestionan los agroecosistemas. El modo en que se pueden generar servicios ambientales varía en función del servicio, del tipo de sistema productivo y del contexto agroecológico. Los tipos de cambio para mejorar el suministro de servicios de ecosistemas van desde los cambios en el uso de la tierra o del agua (por ejemplo, abandonando los cultivos o la pesca y adoptando usos menos intensivos como por ejemplo los pastizales o los bosques) hasta las transformaciones dentro de un sistema productivo determinado (por ejemplo, la adopción de sistemas de explotación agrícola

que proporcionen niveles más elevados de servicios ambientales).

Los procesos biofísicos implicados en los diferentes servicios de ecosistemas tienen importantes consecuencias para las respuestas de carácter normativo. Por ejemplo, no existen límites geográficos para las reducciones o la atenuación de las emisiones de carbono; una tonelada de carbono almacenada por un agricultor pobre situado a cientos de millas de una carretera tiene exactamente el mismo valor que una tonelada absorbida por una plantación comercial situada cerca de la capital. En cambio, la conservación de la biodiversidad y los servicios de protección de

CUADRO 4
Opciones de gestión y necesidades de coordinación para tres servicios ambientales

SERVICIO AMBIENTAL	OPCIONES DE GESTIÓN EN EL ÁMBITO DE EXPLOTACIONES AGRÍCOLAS	OPCIONES DE GESTIÓN EN EL ÁMBITO DEL PAISAJE	GRADO DE COORDINACIÓN NECESARIO ¹	
Absorción de carbono y compensación de gases de efecto invernadero	Absorción de carbono en los suelos	Gestión y enriquecimiento de la materia orgánica del suelo, frecuencia reducida de cultivos, adopción de una agricultura de conservación, conservación del suelo, mejora la ordenación de los pastizales	Bajo	
	Absorción de carbono en plantas perennes	Aumento del uso/área de cultivos perennes, ordenación de explotaciones forestales, agroforestería, regeneración natural, prolongación de los períodos de barbecho, sistemas silvopastorales	Bajo	
	Reducción de la emisión de carbono	Gestión de la emisión de la maquinaria agrícola, evita la deforestación	Reducción de los incendios del bosque y de los incendios causados por la práctica del barbecho	Bajo
	Reducción de la emisión de metano	Mejora en la alimentación del ganado, gestión del suelo húmido	Protección de suelos húmidos de perturbaciones	Bajo
Protección de las cuencas hidrográficas	Regulación del flujo de agua	Mayor eficiencia en el uso del riego, protección de humedales, drenaje de la explotación agrícola, ordenación de pastizales	Bajo	
	Mantenimiento de la calidad del agua	Reducción del uso de productos agroquímicos, filtro de escorrentía agrícola, mejora de la eficiencia en el uso de nutrientes	Mantenimiento de filtros vegetales perennes que protegen las canalizaciones de agua	Alto
	Control de la erosión y la sedimentación	Conservación de los suelos, gestión de la escorrentía y de la capa perenne del suelo, adopción de una agricultura de conservación, ordenación de pastizales	Construcción de carreteras, caminos y asentamientos; revegetación de las riberas	Moderado
	Salinización y regulación de la capa freática	Cultivo de árboles	Plantación estratégica de árboles en el paisaje	Moderado
	Recarga de acuíferos	Recogida de aguas tanto en el ámbito de parcelas como en el de explotaciones agrícolas	Recogida de aguas de la comunidad/subcuencas hidrográficas	Moderado
	Control de inundaciones	Derivación y estanques de almacenamiento	Canales de drenaje y estanques de almacenamiento, mantenimiento de inundaciones naturales	Alto
Conservación de la biodiversidad silvestre	Protección de zonas de cría, mantenimiento de fuentes de agua pura, fuentes de alimentos naturales, dentro y alrededor de parcelas, programación de cultivos, aumento de especies de cultivos/diversidad varietal	Redes de áreas naturales dentro y alrededor de explotaciones agrícolas, áreas protegidas públicas y privadas	Moderado	

CUADRO 4 (cont.)

SERVICIO AMBIENTAL	OPCIONES DE GESTIÓN EN EL ÁMBITO DE EXPLOTACIONES AGRÍCOLAS	OPCIONES DE GESTIÓN EN EL ÁMBITO DEL PAISAJE	GRADO DE COORDINACIÓN NECESARIO ¹	
Conservación de la biodiversidad silvestre	Conectividad para especies móviles	Setos vivos, cortavientos, eliminación de barreras impenetrables	Redes de áreas naturales dentro y fuera de las explotaciones agrícolas	De moderado a alto
	Protección de comunidades amenazadas desde el punto de vista ambiental	Restauración o protección de parcelas cultivadas de hábitat natural	Mantenimiento de corredores que conectan hábitat naturales a través de explotaciones agrícolas y otras tierras	De moderado a alto
	Protección de especies silvestres	Eliminación de amenazas procedentes de productos químicos tóxicos, protección de zonas de cría, prácticas no letales de control de plagas	Barreras para excluir la fauna silvestre de las tierras agrícolas, compensación a los agricultores de los daños causados por la fauna silvestre a las reservas y los cultivos	De bajo a moderado
	Protección del hábitat de especies acuáticas	Prevención de la contaminación del curso del agua causada por residuos de los cultivos y la ganadería, así como por productos agroquímicos; protección o restauración de humedales en las explotaciones agrícolas	Revegetación natural a lo largo de las riberas, protección o restauración de humedales	De bajo a moderado

¹ Las razones para una intervención coordinada pueden incluir la necesidad de inversiones colectivas (por ejemplo, para construir un cortavientos para toda la comunidad), la indivisibilidad de las inversiones (por ejemplo, para restaurar una cárcava importante), o la necesidad de una coordinación espacial para obtener el resultado deseado (por ejemplo, el reestablecimiento de la vegetación de las orillas sólo generará una mayor calidad del agua si participan todos los propietarios de tierras que bordean el curso del agua).

Fuente: Adaptado de FAO, 2007c.

las cuencas hidrográficas son generalmente específicas para cada lugar: mientras que el primer servicio proporciona beneficios para todo el mundo, el segundo genera efectos positivos principalmente para usuarios locales y regionales.

A menudo existen sinergias entre el suministro de diferentes servicios de ecosistemas. Las prácticas de producción adoptadas para mejorar un servicio de ecosistemas pueden suponer al mismo tiempo una mejora de los otros servicios. Por ejemplo, el aumento de la retención del carbono en el suelo a través de la adopción de una agricultura de conservación puede tener consecuencias beneficiosas no solamente para la mitigación del cambio climático y la calidad del agua, sino también para el suministro de servicios de producción de alimentos. Sin embargo, es importante

comprender las compensaciones que existen a menudo entre el suministro de los diferentes servicios de ecosistemas.

El presente capítulo se ha centrado en la capacidad técnica de la agricultura para proporcionar mejores niveles de servicios ambientales. La viabilidad económica de los cambios necesarios es crucial para determinar si pueden ser conseguidos y qué nivel de pagos sería necesario para llevarlos a cabo. El siguiente capítulo aborda la cuestión de la demanda de servicios ambientales: ¿quién debería pagar por los servicios ambientales, por qué razones se deberían pagar y qué cantidad estarían dispuestos a pagar?