



Los servicios de los ecosistemas y la producción agrícola en América Latina y el Caribe

Luiz Antonio Martinelli

**Banco
Interamericano de
Desarrollo**

Unidad de
Salvaguardias
Ambientales

NOTAS TÉCNICAS
BID-NT-382

Febrero 2012

Los servicios de los ecosistemas y la producción agrícola en América Latina y el Caribe

Luiz Antonio Martinelli



Banco Interamericano de Desarrollo

2012

<http://www.iadb.org>

Las Notas Técnicas y Presentaciones del Banco Interamericano de Desarrollo son preparadas para los eventos por personal tanto interno como externo como materiales de apoyo y suelen confeccionarse en un plazo muy corto de publicación, sin edición ni revisión formal. La información y las opiniones que se presentan en estas publicaciones son exclusivamente de los autores y no expresan ni implican el aval del Banco Interamericano de Desarrollo, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representan.

Luiz Martinelli es Titular de Cátedra en el Centro de Energía Nuclear na Agricultura, un instituto de la Universidad de São Paulo. Martinelli se desempeñó en 2004 como Profesor Filósofo Invitado en el Centro de Estudios Latinoamericanos de la Universidad de Stanford. En 2009, regresó a Stanford como colaborador del Centro de Seguridad Alimenticia y Medio Ambiente. En 2010, Martinelli fue seleccionado para la Academia Brasileira de Ciencias.

Este documento puede reproducirse libremente.

Tabla de Contenidos

Siglas

1. Contexto	1
2. Panorama de la agricultura en ALC	1
Expansión	1
Intensificación	6
El impacto ambiental de la expansión y la intensificación	7
3. La agricultura y los servicios de los ecosistemas en ALC	11
Servicios de regulación	12
Servicios de provisión	13
Referencias bibliográficas.....	16

Siglas

ALC	América Latina y el Caribe
EM	Evaluación de los Ecosistemas del Milenio
INB	Ingreso Nacional Bruto

1. Contexto

La región de América Latina y el Caribe (ALC) está enfrentando un desafío de enormes proporciones: producir alimentos, fibras textiles y combustibles y conservar, a la par, su mega biodiversidad y los servicios de los ecosistemas asociados¹. Es importante recordar que esta es una de las pocas regiones del mundo que, debido a su superficie y relativamente baja densidad de población, puede equilibrar la producción y conservación de alimentos. Reviste también importancia el hecho de que la agricultura como servicio de los ecosistemas tiene un impacto considerable sobre la economía de ALC². La agricultura y la ganadería están en enérgica expansión en ALC debido a una serie de cambios políticos y económicos implementados en la década de los 90³. Como resultado, esta región se convirtió en una importante productora de alimentos a nivel mundial. Por ejemplo, ALC es productora y exportadora líder de soja, azúcar, café, frutas, carne de ave, carne vacuna y, más recientemente, etanol.

Lamentablemente, el crecimiento de la agricultura ha implicado el deterioro del medio ambiente. Actualmente, ALC es líder mundial de la quema de biomasa, lo cual pone en riesgo a una miríada de importantes biomas y su mega biodiversidad. Por otro lado, con algunos ajustes de por medio, la agricultura en ALC tiene la capacidad de promocionar no solo el crecimiento, sino también el desarrollo económico⁴. No obstante, si bien la agricultura es uno de los servicios de los ecosistemas más valiosos, depende de los servicios prestados por ecosistemas saludables y resistentes.

2. Panorama de la agricultura en ALC

Expansión

En las últimas décadas, la agricultura de ALC ha experimentado un crecimiento sin precedentes⁵. En 1961, la tierra cultivable de ALC representaba únicamente el 7 por ciento del total mundial; en 2009, esta proporción aumentó al 11 por ciento. En otras áreas del mundo, solo África

¹ Franko 2007; Grau y Mitchell 2008.

² David et al. 2000; Barbier 2004.

³ Barbier 2004; CEPAL 2005.

⁴ Banco Mundial 2008; Martinelli et al. 2010.

⁵ David et al. 2000; Barbier 2004; CEPAL 2005.

demostró un aumento equivalente en la tierra cultivable. En Europa y América del Norte, las proporciones disminuyeron con respecto al total mundial y, en Asia y Oceanía, hubo leves aumentos, de menos de 2 puntos porcentuales en el mismo período (1961–2009). La ganadería presentó la misma tendencia. El número de cabezas de aves aumentó exponencialmente en las últimas cinco décadas y, si bien no exponencial, el crecimiento de ganado bovino en ALC fue también muy marcado.

América Latina y el Caribe, en particular América Central y la región andino-amazónica⁶, fueron importantes centros de domesticación de especies vegetales y una de las cunas de la agricultura mundial⁷. Más de 15 cultivos empleados hoy en día fueron domesticados en ALC⁸. Entre ellos figuran algunos cultivos básicos de varias poblaciones del mundo: mandioca, frijoles comunes y maíz⁹. Asimismo, se cultivan enormes variedades de plantas a nivel doméstico y local para obtener alimentos, fibras textiles y medicinas¹⁰, lo cual ilustra el alto grado de agrobiodiversidad de ALC.

A nivel regional, sin embargo, la tendencia está totalmente diversificada. Las tierras de pastoreo dominan solas casi el 80 por ciento de las tierras agrícolas y parecería que la ganadería continuará representando el principal uso de la tierra en el futuro¹¹. Ocho cultivos dominan el 80 por ciento de la superficie de tierra cultivable cosechada. Entre ellos, la mandioca, los frijoles y el maíz, domesticados originalmente en la región, todavía están presentes. Por otro lado, la soja, que prácticamente no existía aquí 50 años atrás, ocupaba en 2009 un tercio de la tierra cultivable cosechada y, junto con el maíz, más de la mitad de la superficie de tierra cultivable. Otros cultivos importantes, en orden decreciente de superficie cosechada, son la caña de azúcar, el trigo, el arroz y el café. (Ver Cuadro N° 1). Los frijoles, la mandioca y el arroz son cultivos básicos de gran importancia para la población de esta región. No obstante, curiosamente, la superficie cosechada de mandioca se ha mantenido relativamente constante durante un largo período y, más importante aún, la superficie cosechada de frijoles y arroz ha ido disminuyendo desde la década de los 90. Los tres cultivos que están ganando superficie de cosecha en ALC son el maíz, la caña de azúcar y la soja.

⁶ Piperno et al. 2000.

⁷ Diamond 2002; Purugganan y Fuller 2009.

⁸ Simpson y Ogorzaly 2001.

⁹ Duputié et al. 2011; Martínez-Romero 2003; Matsuoka et al. 2002.

¹⁰ Clement 1999; Fraser et al. 2011.

¹¹ Wassenaar et al. 2007.

Cuadro N° 1

La superficie de uso de la tierra y la producción ganadera en ALC y su contribución relativa al uso de la tierra y la producción ganadera mundiales

Cultivos	Superficie (millones de ha)	Producción (millones de toneladas)	Mundial (porcentaje)
Área agrícola ¹	722		15
Tierras de pastoreo ¹	550		15
Tierra cultivable ¹	150		11
Soja	43	95	42
Maíz	27	100	12
Caña de azúcar	11	900	54
Trigo	9	21	3
Frijoles	7	6	29
Café	5	0,5	58
Mandioca	2,5	33	15

Ganadería	Cabezas (millones)	Producción (millones de toneladas)	Mundial (porcentaje)
Avícola	2700	15	18
Bovina	400	14	22
Porcina	80	6	6

La distribución espacial de estos cultivos reviste suma importancia en términos de la pérdida de hábitats y la mega biodiversidad que posee ALC. Los muy perceptivos mapas confeccionados por el proyecto Global Landscapes Initiative (iniciativa de descripción de los paisajes globales del Instituto del Medio Ambiente, Universidad de Minnesota) han sido utilizados para analizar la distribución. Estos mapas muestran la intensidad de ocupación de la tierra de los principales cultivos a nivel mundial¹². Si se consideran los cuatro cultivos más importantes en términos de superficie cosechada (ver Cuadro n.º 1), existe una tendencia hacia la

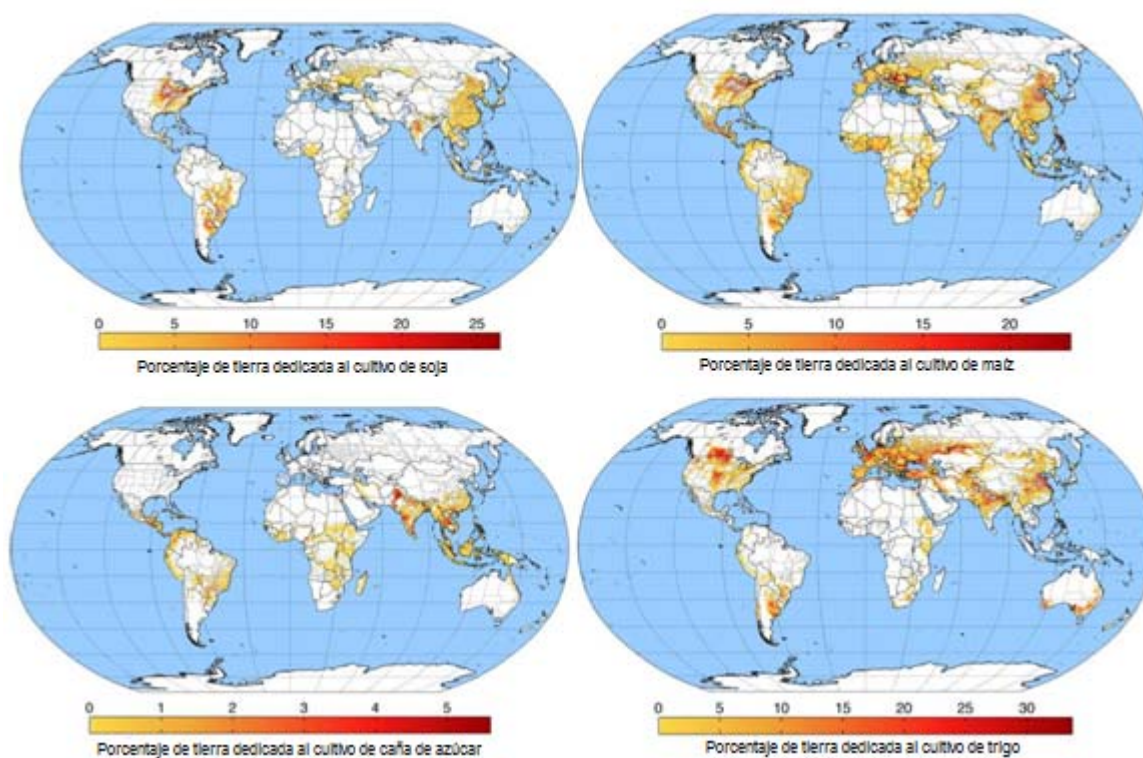
¹² Ramankutty et al. 2008.

alta concentración entre el sureste de Brasil y el noreste de Argentina, incluidos Uruguay y Paraguay. (Ver .) Además de esta área central, la soja se ha expandido en Brasil, primero hacia la región centro-oeste y más recientemente hacia la cuenca del Amazonas, a raíz de lo cual alcanzó la ciudad de Santarém en el estado de Pará. Fuera de esta área central, la soja también se encuentra presente en Bolivia, México, Ecuador, Venezuela y Colombia. El maíz se extiende a lo largo de ALC, con la excepción del norte de Chile, el cono sur de América del Sur y la cuenca del Amazonas. En términos de superficie cosechada, no obstante, solamente Brasil y México representan el 70 por ciento del total; si se incluye a Argentina, Colombia, Guatemala, Paraguay y Venezuela, se cubre el 90 por ciento de la superficie cosechada. La caña de azúcar también se encuentra en varios países, pero únicamente Brasil representa más del 70 por ciento de la superficie cosechada. El trigo se limita más a las regiones sureñas de América del Sur ya que es un cultivo templado. Argentina cosecha casi la mitad del total de esa superficie; sumando a Brasil, ambos países cosechan más del 70 por ciento del trigo.

Figura n.º 1.

Intensidad de ocupación de la tierra de los cuatro cultivos principales en ALC

Fuente: Global Landscape Initiative Project – Instituto del Medio Ambiente, Universidad de Minnesota (<http://environment.umn.edu/atlas/>).



Intensificación

A la extensión de la agricultura en América Latina le siguió un proceso de intensificación¹³. Uno de los efectos de este proceso fue el aumento de la productividad de varios cultivos. Los principales cultivos de la región han experimentado considerables aumentos de productividad, con la excepción de la mandioca, un cultivo básico de varios países y pueblos indígenas, pero con la menor tasa de aumento de productividad.

El aumento general de productividad se debe a diversas razones. Una de ellas es el desarrollo de una agricultura tropical que reemplazó las técnicas tradicionales empleadas en países industriales templados junto con el desarrollo de las variedades adaptadas a las condiciones tropicales¹⁴. También aumentó el consumo de fertilizantes, tanto en consumo total como por área. El uso de fertilizantes con nitrógeno aumentó en los últimos 50 años de 5 kg/ha a casi 45 kg/ha; el uso de fósforo y potasio en el mismo período aumentó de menos de 5 kg/ha a aproximadamente 35 kg/ha. Los datos sobre agroquímicos tales como insecticidas y herbicidas son más escasos y difíciles de recabar. Los datos disponibles sobre Brasil desde 1990 hasta 2001 mostraron un aumento constante y marcado en el consumo de estos compuestos¹⁵. Brasil posee más de 400 fórmulas de pesticidas registradas para el uso con soja en el campo y, para la caña de azúcar, al menos más de 200 —más que en cualquier otro país en el mundo¹⁶. Aproximadamente el 40 por ciento de estas fórmulas se considera “sumamente tóxica” o “altamente tóxica” para el hombre, y aproximadamente la mitad se considera “altamente peligrosa” o “muy peligrosa” para el medio ambiente¹⁷. De acuerdo con la consultora Kleffmann Group, en 2008 Brasil se convirtió en líder mundial en consumo de agroquímicos, un mercado de USD 7 mil millones¹⁸. ALC, con el 11 por ciento de la tierra cultivable del mundo, es responsable del 20 por ciento del mercado agroquímico mundial. Asimismo, se estima que en esta región tendrá lugar el mayor aumento en las ventas de agroquímicos¹⁹.

¹³ Green et al. 2005.

¹⁴ Martinelli et al. 2010.

¹⁵ Martinelli y Filoso 2009.

¹⁶ Schiesari y Grillitsch 2011.

¹⁷ Ibíd.

¹⁸ Pacheco 2009.

¹⁹ McDougall 2008.

El impacto ambiental de la expansión y la intensificación

El impacto inicial del proceso agrícola ocurre al reemplazar la vegetación original por un cultivo. Probablemente, este es el impacto más importante de la agricultura en ALC ya que, en contraste con aquellas regiones en las que se ha practicado la agricultura en áreas convertidas varios años atrás, ALC todavía posee una vasta superficie ocupada por vegetación original que puede convertirse en superficie agrícola. En 2010, ALC tenía aproximadamente 670 millones de hectáreas de bosques primarios, equivalentes a aproximadamente el 30 por ciento de su superficie terrestre y casi el 60 por ciento de las zonas de bosques primarios de toda la Tierra²⁰. Sin embargo, entre 1990 y 2010, esta región perdió casi 90 millones de hectáreas de bosques²¹. Las pérdidas de vegetación primaria fueron mayores en las selvas tropicales, principalmente en las Selvas Amazónica y Atlántica. No obstante, esta pérdida no se limitó a dichos tipos de selva, ya que también afectó otros tipos de vegetación, incluidas las sabanas del Cerrado brasileiro, los bosques secos de Chaco, las selvas de montaña de Ecuador y las praderas de las Pampas²².

La mayor parte de la vegetación original se quema antes de cultivar el suelo en ALC. Chuvieco y otros estimaron que en 2004, se quemaron un total de 15 millones de hectáreas,, mientras que Lauk y Erb calcularon el doble de esa cifra²³. Yevich y Logan estimaron que en ALC se queman aproximadamente 350 millones de toneladas de madera para combustible por año, en cuyo caso solamente Brasil representa la mitad de esta cifra²⁴. Asimismo, Lauk y Erb concluyeron que la quema de vegetación provocada por el hombre consume alrededor de 800 millones de toneladas de biomasa²⁵. La magnitud de los incendios puede apreciarse por medio de imágenes satelitales tomadas en 2010 por el Instituto Nacional de Investigación Espacial del Brasil. En estas imágenes se observa claramente que, con la excepción de partes de la Amazonia occidental y la región norte de Chile, existieron varias zonas de incendio en los países de América del Sur. (Ver Figura n° 2).

²⁰ FAO 2011.

²¹ *Ibíd.*

²² Klink y Machado 2005; Grau y Mitchell 2008.

²³ Chuvieco y otros 2008; Lauk y Erb 2009.

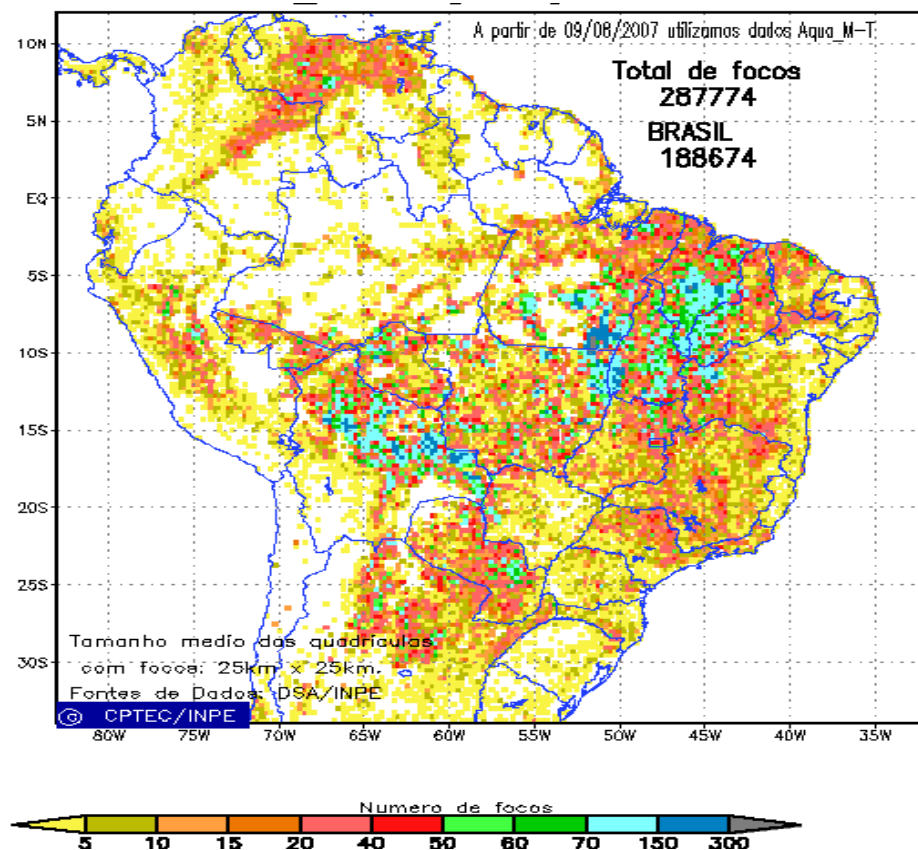
²⁴ Yevich y Logan 2003.

²⁵ Lauk y Erb 2009.

Figura N° 2

Número acumulado de focos de calor en la parte central de América del Sur en 2010

Fuente: CPTEC-INPE (<http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/>).



Los grandes incendios en ALC tienen diversas e importantes consecuencias sobre los ecosistemas, la atmósfera y la salud pública. En ecosistemas terrestres, el aumento de la temperatura del suelo debido a la quema de vegetación tiene varios efectos perniciosos, como la disminución del contenido de agua en el suelo y el incremento en la densidad aparente, lo cual a su vez resulta en la compactación del suelo y la posibilidad de aumento de la erosión²⁶. Los nutrientes existentes en la vegetación quemada son transferidos a la atmósfera o el suelo²⁷. Una vez en el suelo, parte de esos nutrientes se transfieren a los sistemas acuáticos²⁸; posteriormente, los nutrientes se pierden por las filtraciones profundas, la erosión y los productos agrícolas, lo cual resulta en un empobrecimiento de los nutrientes del sistema original si no son reemplazados constantemente por fertilizantes orgánicos o minerales.

El nitrógeno, un nutriente limitante, se transfiere de la vegetación a la atmósfera como NO_x y NH_3 , así como las partículas de nitrato y amonio²⁹. Parte del nitrógeno emitido a la atmósfera vuelve al ecosistema por medio de la deposición húmeda y seca. Dentener y otros confeccionaron un modelo de la deposición total de nitrógeno en ALC y descubrieron dos regiones donde la deposición es similar a las cifras más altas registradas en el resto del mundo³⁰. Una de las áreas se superpone con el área principal de desarrollo agrícola y comprende el sureste de Brasil, Uruguay, Paraguay y el norte de Argentina. Al mismo tiempo, el modelo señaló la existencia de un área de alta deposición de nitrógeno al norte de América del Sur, que incluye Colombia, Venezuela y Ecuador. Una de las consecuencias de este nitrógeno adicional presente en la atmósfera es la formación de HNO_3 y, por consiguiente, el fenómeno de la lluvia ácida³¹. A su vez, la lluvia ácida puede resultar en un mayor empobrecimiento de cationes en los suelos tropicales ya faltos de ellos³². Aun más interesante es el hecho de que tal empobrecimiento puede tener lugar lejos de la zona de quema, como es el caso de los bosques de la montaña andina al norte de Ecuador, que recibe el humo de la biomasa quemada en las tierras bajas de la

²⁶ Dourado-Neto y otros 1999; Oliveira y otros 2000.

²⁷ Martinelli 2003.

²⁸ Neill y otros 2001; Thomas y otros 2004.

²⁹ Mace y otros 2003; Rocha y otros 2005; Trebs y otros 2006.

³⁰ Dentener y otros 2006.

³¹ Lara y otros 2005.

³² Krusche y otros 2003.

Amazonia³³. Otra de las consecuencias es que el aumento de las deposiciones de nitrógeno a valores superiores a los de la deposición natural interfiere con la biodiversidad local³⁴.

La emisión de aerosoles a la atmósfera como consecuencia de las quemadas de vegetación es otro motivo de preocupación debido a la magnitud de los incendios en ALC. En la cuenca del Amazonas, los incendios emiten una enorme cantidad de partículas a la atmósfera³⁵; lo mismo sucede en las zonas de plantaciones de caña de azúcar en el sureste de Brasil³⁶. Los aerosoles pueden alterar diversas características de la atmósfera y el proceso climatológico relacionado; por ejemplo, la alta emisión de aerosoles disminuyen el forzamiento radiativo del clima; por consiguiente, llega al suelo menos energía radiativa³⁷. Los aerosoles también actúan como núcleos de condensación de nubes, los cuales, a su vez, según su magnitud, determinarán la intensidad de las precipitaciones³⁸. Mediante el control de la intensidad de las precipitaciones, los aerosoles influyen en el ciclo hidrológico, lo cual a su vez afectará el funcionamiento del ecosistema³⁹.

Los fertilizantes con nitrógeno son otra fuente de nitrógeno reactivo en los ecosistemas de ALC⁴⁰. La media del consumo de fertilizantes con nitrógeno por área en ALC varió en los últimos tres años de 40 a 46 kg N/ha/año. Estos valores están muy por debajo del promedio mundial de aproximadamente 75 kg N/ha/año. No obstante, el uso de fertilizantes con nitrógeno en ALC ha sufrido el aumento proporcional más grande a nivel mundial en las últimas décadas⁴¹. Asimismo, se sabe perfectamente que los cultivos no pueden absorber todo el fertilizante aplicado a la tierra, incluso en agrosistemas de bajo consumo de nitrógeno⁴². El nitrógeno no absorbido por las plantas puede llegar a causar problemas de contaminación en distintas zonas del ecosistema⁴³. Debido a que el uso de fertilizantes con nitrógeno tiende a aumentar en ALC, es probable que también surjan problemas de contaminación ambiental⁴⁴.

Una de las maneras en que el fertilizante puede llegar a un ecosistema acuático es a través de la erosión del suelo y el escurrimiento superficial. La erosión del suelo es considerada como

³³ Boy et al. 2008.

³⁴ Bobbink et al. 2010.

³⁵ Artaxo et al. 1998, 2002; Andreae et al. 2002; Martin et al. 2010.

³⁶ Lara et al. 2005.

³⁷ Hobbs et al. 1997.

³⁸ Rosenfeld et al. 2008.

³⁹ Barth et al. 2005; Martin et al. 2010.

⁴⁰ Martinelli et al. 2006.

⁴¹ *Ibid.*

⁴² Balasubramanian et al. 2004.

⁴³ Goulding 2004; Galloway et al. 2008.

⁴⁴ Martinelli et al. 2006.

la principal causa de la degradación del suelo⁴⁵. Numerosas investigaciones demuestran que los problemas relacionados con la erosión del suelo se han generalizado en la región (ver Metternicht et al., una compilación de diversas investigaciones)⁴⁶. Sin embargo, es difícil calcular un valor para la totalidad de la zona debido a diversos factores. El único trabajo disponible fue llevado a cabo por la Global Assessment of Human-induced Soil Degradation (evaluación mundial de la degradación de los suelos inducida por el hombre)⁴⁷. Si bien esta encuesta tenía sus limitaciones⁴⁸, resulta útil para señalar áreas críticas que deberían tener en cuenta los conservacionistas del suelo. Para el caso de ALC, la erosión total del suelo (agua más viento) fue calculada en aproximadamente 200 millones de hectáreas, el equivalente al 30 por ciento de su tierra agrícola.

La erosión de los suelos no afecta meramente al suelo mismo, sino también a la zona que recibe los productos de la erosión, particularmente los cursos de agua⁴⁹. El cultivo del suelo tiende a aumentar las pérdidas del carbono y los nutrientes del suelo⁵⁰; la erosión expone al carbono de esos suelos a reacciones químicas y físicas futuras. Las partículas de los suelos erosionados también transportan los pesticidas utilizados en los campos agrícolas hacia los ecosistemas acuáticos, donde pueden afectar la vida acuática y la salud humana⁵¹.

3. La agricultura y los servicios de los ecosistemas en ALC

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM) representó el estudio de mayor amplitud sobre los servicios de los ecosistemas. Según la definición de la EM, “los servicios de los ecosistemas son los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas”⁵². Los autores agruparon este tipo de servicios en tres grandes categorías: de *provisión*, de *regulación* y *culturales*. La *provisión* comprende los alimentos, la madera y las fibras textiles, el combustible y el agua potable, entre otros. La *regulación* se refiere al clima, las enfermedades, los desechos, las inundaciones y la calidad del agua. Los servicios *culturales* abarcan servicios estéticos, espirituales, educacionales y recreacionales. Los servicios de *provisión* y *regulación* dependen

⁴⁵ Lal 2001.

⁴⁶ Metternicht et al. 2010.

⁴⁷ Oldeman et al. 1991.

⁴⁸ Bai et al. 2008.

⁴⁹ Starr et al. 2000.

⁵⁰ Guo y Gifford 2002.

⁵¹ Gilden et al. 2010.

⁵² EM 2005.

de servicios esenciales de *respaldo*, tales como la formación del suelo, el proceso de fotosíntesis y el ciclo de los nutrientes. La EM señaló que el bienestar humano comprende múltiples necesidades: *bienes materiales básicos para una buena vida, salud, seguridad, buenas relaciones sociales y libertad de elección y acción*⁵³.

Esta sección explica cómo los cambios resultantes de la agricultura afectan los servicios de *regulación y provisión* en América Latina y el Caribe. Ello no implica que los servicios *culturales* revistan menor importancia, sino que escapan al alcance de esta investigación.

Servicios de regulación

Los servicios de regulación son aquellos servicios esenciales para satisfacer necesidades básicas como lo son los alimentos y el agua. Algunos ejemplos de estos servicios son el clima, las enfermedades y la calidad del agua⁵⁴. El clima comprende varios aspectos distintos, tales como los atributos físicos, que interfieren directamente con las funciones de los ecosistemas, tales como las precipitaciones y la temperatura del aire. Se supone que los cambios globales en el clima afectarán la capacidad de los ecosistemas de satisfacer las necesidades básicas del hombre. Según Marengo et al., se espera para fines de este siglo un calentamiento consistente a lo largo del año en América del Sur (América Central y el Caribe no fueron incluidos en el estudio)⁵⁵. Si bien los cambios en los padrones de las precipitaciones son más variables, parece más probable que haya una disminución en las precipitaciones en el este de la Amazonia y el noreste de Brasil, así como un aumento de las precipitaciones en la costa noroeste de Perú y Ecuador y el sur de Argentina⁵⁶. Además, es también probable que, si bien las precipitaciones anuales no cambiarán drásticamente, el granero de la región de ALC comprendida entre el sur de Brasil y el norte de Argentina enfrentará fenómenos extremos de precipitaciones, posiblemente con consecuencias nocivas para la agricultura⁵⁷.

Los servicios de regulación del clima también establecen uno de los vínculos más claros entre la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas. La cuenca del Amazonas origina la humedad que luego se transporta por un corredor que une la cuenca con la región agrícola⁵⁸. La

⁵³ Ibid.

⁵⁴ Ibid.

⁵⁵ Marengo et al. 2009.

⁵⁶ Ibid.

⁵⁷ Ibid.

⁵⁸ Ibid.

humedad proveniente del Amazonas también alcanza a la región centro-oeste de Brasil, donde se produce la mayor parte de la soja del país. Esta es la misma fuente de vapor de agua que puede causar fenómenos extremos de precipitaciones dentro de un marco de cambio climático a fines de este siglo. El papel fundamental que desempeñan los árboles en la Amazonia ya ha sido demostrado en el ciclo local del agua, dentro del cual cumplen la función de bombear agua del suelo de vuelta a la atmósfera⁵⁹. Más recientemente, se ha demostrado que, además de a través de la evapotranspiración, los árboles también contribuyen a la formación de las lluvias emitiendo isopreno hacia la atmósfera, el cual se luego se transforma en partículas de 2-methylthertion, una partícula higroscópica que coadyuva a la formación de gotas de agua⁶⁰. Recientemente, Ekström et al. demostraron de manera preliminar la existencia de un tercer mecanismo mediante el cual los microorganismos pueden contribuir a la formación de gotas de lluvia actuando como partículas de 2-methylthertion, liberando agentes tensoactivos biológicos hacia la atmósfera⁶¹. Por lo tanto, estos mecanismos indican que la biodiversidad juega un papel fundamental incluso en el ciclo del agua, que es impulsado principalmente por factores físicos.

Servicios de provisión

Tal vez el servicio de los ecosistemas más importante en ALC es la agricultura misma: la provisión de alimentos, fibras textiles y combustible. El suministro de alimentos en la región, con la excepción del Caribe, ha presentado un crecimiento sostenido en las últimas décadas, con valores similares al suministro promedio mundial de alimentos, o incluso más altos. Otra característica importante de la economía de los alimentos es la proporción de alimentos de origen animal, la cual está en aumento en América Central y, particularmente, en América del Sur, y alcanza valores considerablemente mayores que el promedio mundial. Asimismo, el hecho de que la agricultura como servicio de los ecosistemas tiene un impacto considerable sobre la economía de ALC es importante⁶². Si bien la participación relativa de la agricultura en el ingreso nacional bruto (INB) per cápita ha ido en constante disminución desde la década de los 80, desde 2001 ha habido un aumento en términos absolutos en el INB ligado a la agricultura. Un aspecto importante de la agricultura en ALC es que varios países se convirtieron en exportadores netos

⁵⁹ Salati et al. 1979.

⁶⁰ Claeys et al. 2004.

⁶¹ Ekström et al. 2010.

⁶² David et al. 2000; Barbier 2004.

de *commodities* agrícolas y ello ha coadyuvado a la obtención de una balanza comercial neta positiva⁶³. Por ejemplo, en 2007 la agricultura representó el 40 por ciento del superávit comercial de Brasil⁶⁴.

Si bien la agricultura es tan importante para los países de ALC, ya no es posible promover una agricultura insostenible que deriva en consecuencias nocivas para el medio ambiente. Consecuentemente, es necesario cambiar el paradigma agrícola de inversión en la producción de cultivos únicamente mediante la expansión de las áreas agrícolas o la intensificación de los campos de cultivo existentes. Los países deben desarrollar y promover la denominada agricultura sostenible⁶⁵. En este tipo de agricultura es de vital importancia maximizar la productividad agrícola por un lado, a la par que se fomentan los servicios ambientales. Además de proveer alimentos, fibras textiles y combustible, los campos agrícolas administrados de manera adecuada pueden proporcionar una serie de distintos servicios ambientales —un panorama beneficioso para ambas partes⁶⁶. La captura de carbono por parte de los suelos agrícolas, por ejemplo, representa uno de dichos servicios.

Los agroecosistemas son, de hecho, una simplificación de ecosistemas naturales más complejos. Los principales objetivos de la agricultura sostenible son imitar los ecosistemas naturales, añadiendo las capas de complejidad de los agroecosistemas, y aumentar la diversidad funcional⁶⁷. Asimismo, la agricultura sostenible reconoce el rol de los paisajes vecinos en la provisión de servicios fundamentales para la agricultura⁶⁸. Los servicios de mayor reconocimiento son la polinización y el control biológico de plagas⁶⁹.

La mayoría de los cultivos básicos no depende de polinizadores, pero diversas especies de frutas, vegetales, nueces y cultivos estimulantes como el café dependen de ellos en gran medida⁷⁰. Es importante recordar que ALC es una importante productora de frutas y vegetales y la mayor exportadora de café del mundo. Gallai et al. calcularon el valor económico que representa la polinización de insectos para ALC en aproximadamente €12 billones y estimaron que la mayoría de las pérdidas se sentirían debido a las pérdidas en la producción de café⁷¹.

⁶³ CEPAL 2005

⁶⁴ Martinelli et al. 2010.

⁶⁵ Pretty et al. 2003, 2006; Pretty 2008; Keating et al. 2010; Godfray et al. 2010; Phalan et al. 2011.

⁶⁶ Swinton et al. 2007; Power 2010.

⁶⁷ Scherr y McNeely 2008; Tilman 1997.

⁶⁸ De Marco y Coelho 2004; Ricketts 2004.

⁶⁹ Power 2010.

⁷⁰ Ghazoul 2005; Klein et al. 2007.

⁷¹ Gallai et al. 2009.

Los pocos estudios realizados con respecto a la polinización en ALC se centran en el café, el maracuyá y el pomelo⁷². Estos y otros estudios han arribado a la conclusión de que el número de polinizadores y otros insectos útiles disminuye de manera proporcional a la distancia de los campos agrícolas de los ecosistemas naturales⁷³. Por lo tanto, es fundamental que los campos agrícolas estén emplazados en un paisaje donde los campos naturales puedan proveer un refugio para los polinizadores y otros insectos enemigos de las plagas de los cultivos⁷⁴. Las dos amenazas más importantes para los polinizadores son la deforestación (pérdida del hábitat) y el uso de insecticidas que matan no solo a las plagas agrícolas, sino también a otros insectos⁷⁵. Como se mencionó anteriormente, el uso de insecticidas está experimentando un aumento sin precedentes en esta región.

La sostenibilidad agrícola comprende también una serie de actividades de administración de campos para poder añadir capas de complejidad a los campos agrícolas. Estas técnicas incluyen la siembra directa, los cultivos de abono y la administración de nutrientes. La siembra directa o labranza reducida implica permitir que los rastrojos de la última cosecha cubran el suelo alterándolo mínimamente. Con ello se imitaría a los ecosistemas naturales, donde el suelo descubierto raramente se ve expuesto. Esta técnica está inspirada en las técnicas antiguas empleadas en los *roçados* de los indígenas brasileiros y las *chinampas* de los aztecas en México⁷⁶. Hoy en día, este tipo de práctica de labranza se ha difundido en ALC, especialmente en Brasil, Uruguay, Paraguay y Argentina⁷⁷. Únicamente en Brasil, más de 27 millones de hectáreas han adoptado este tipo de sistema de cultivos⁷⁸. La siembra directa tiene diversas ventajas en comparación con la labranza convencional: el fortalecimiento de la materia orgánica del suelo, el aumento de la fertilidad del suelo, la mejora de la fijación biológica de nitrógeno y la prevención de la erosión del suelo⁷⁹. En el primer caso, se calculó que la tasa promedio de aumento de carbono en el suelo empleando la técnica de siembra directa era de casi 0,50 Mg/ha/año en el sur de Brasil, con una disminución a 0,35 Mg/ha/año en la región de Cerrado⁸⁰. Un aspecto negativo de la siembra directa es que la superficie de soja resistente al glifosato está en aumento en ALC y

⁷² De Marco y Coelho 2004; Ricketts 2004; Yamamoto et al. 2010; Chacoff y Aizen 2006.

⁷³ Philpott et al. 2008; Maués et al. 2010; Garibaldi et al. 2011; Teodoro et al. 2011.

⁷⁴ Scherr y McNeely 2008; Priess et al. 2007; Gardiner et al. 2009.

⁷⁵ Imperatriz-Fonseca et al. 2007; Freitas et al. 2009.

⁷⁶ Patiño-Zúñiga et al. 2008.

⁷⁷ Díaz-Zorita et al. 2002; García-Préhaç et al. 2004; Pinheiro et al. 2010.

⁷⁸ Boddey et al. 2010.

⁷⁹ Diekow et al. 2005; Hungria y Vargas 2000; García-Préhaç et al. 2004; Bernoux et al. 2006.

⁸⁰ Bayer et al. 2006.

cada vez más hierbas se tornan resistentes al glifosato, lo cual exige el reemplazo de este herbicida de bajo impacto ambiental con herbicidas menos respetuosos del medio ambiente⁸¹.

La rotación de cultivos también es importante como estrategia para conservar el suelo cubierto durante todo el año y mantener un ciclo de nutrientes más cerrado en los agroecosistemas, lo cual aumenta el contenido de materia orgánica del suelo⁸². Por lo general, la rotación de cultivos se lleva a cabo con un cultivo comercial y un cultivo de abono que es, normalmente, una legumbre fijadora de nitrógeno⁸³. Parte del nitrógeno fijado se utiliza para el cultivo siguiente⁸⁴. Este nitrógeno adicional resultante de la fijación biológica disminuye también la utilización de fertilizantes con nitrógeno que pueden conllevar efectos perniciosos sobre el medio ambiente, como ya se ha explicado. Una importante consecuencia no intencional del uso de legumbres como cultivos de abono es el aumento de la emisión de N₂O, un poderoso gas de efecto invernadero⁸⁵. En consecuencia, es importante maximizar la absorción de nitrógeno por parte de las plantas ni bien este se encuentra disponible a través del proceso de mineralización y nitrificación⁸⁶.

Los sistemas agropecuarios representan la última capa de complejidad que puede añadirse a la agricultura sostenible. Estos sistemas consisten en añadir animales a los sistemas de siembra directa y rotación de cultivos. En ellos, los animales actúan como recicladores de nutrientes, tomándolos de la vegetación y devolviéndolos al suelo por medio de sus excrementos. Los resultados esperados son una mejora en la fertilidad del suelo y una acumulación de carbono en el suelo. Con el fin de que este sistema funcione de manera adecuada, es sumamente importante seleccionar la carga correcta de animales, asegurándose de que la absorción de nutrientes por parte de los animales no sea excesiva y que la biomasa de vegetación de cultivos forrajeros sea suficiente para acobijar el cultivo siguiente.

Los sistemas agropecuarios se comenzaron a utilizar inicialmente en ALC para establecer tierras de pastoreo, donde el arroz se cultivaba primero para ser utilizado como cultivo comercial y, además, para utilizar los nutrientes disponibles en el suelo debido a la quema de biomasa

⁸¹ Valverde 2007; Cerdeira et al. 2011.

⁸² Zanatta et al. 2007; Vieira et al. 2009.

⁸³ Hungria y Vargas 2000.

⁸⁴ Rosolem et al. 2004.

⁸⁵ Jantalia et al. 2008.

⁸⁶ Gomes et al. 2009.

original⁸⁷. Desde la década de los 60, la integración agropecuaria ha sido el sistema de administración predominante en Uruguay⁸⁸. De acuerdo con Díaz-Zorita, este sistema ha sido utilizado en parte en las pampas argentinas desde la década de los 90⁸⁹. En otras áreas, tales como la región amazónica y el cerrado brasileiro, este sistema fue empleado para mejorar la fertilidad de las tierras de pastoreo degradadas y nuevamente se utilizó un cultivo de granos como cultivo comercial para financiar las mejoras de estas tierras de pastoreo degradadas⁹⁰. Más recientemente, ciertas áreas de la Amazonia y el cerrado han adoptado el sistema agropecuario como una práctica de administración a largo plazo⁹¹. Este sistema está particularmente desarrollado en el sur de Brasil, donde existen diversos sistemas agropecuarios. Por ejemplo, en las propiedades extensas, la soja mecanizada se cultiva en verano y el forraje para el ganado para la producción de carne se cultiva en invierno; en las propiedades más pequeñas, se combinan el maíz, el arroz, los frijoles y otros cultivos con el ganado para la producción de leche o el ganado ovino y caprino⁹². Las principales ventajas de los sistemas agropecuarios son un mejor rédito económico para el productor agrícola, la mejora de las propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo, y una mejora en la productividad del cultivo posterior⁹³.

Los sistemas que caracterizan la preservación o la agricultura sostenible descriptas tienen el potencial de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. Con la agricultura tradicional se ha demostrado que, en la mayoría de los casos, existe una disminución en la cantidad de carbono presente en el suelo, probablemente debido al aumento de la mineralización de la materia orgánica del suelo así como a las pérdidas de carbono por erosión⁹⁴. Las prácticas agrícolas como la siembra directa, la rotación de cultivos y los sistemas agropecuarios parecen revertir estas pérdidas y, en varios casos, incentivan la acumulación de carbono en el suelo⁹⁵. Este es un importante servicio del agroecosistema ya que el aumento de materia orgánica tiene incidencia sobre diversas propiedades del suelo, lo que resulta en un aumento de la productividad de los cultivos⁹⁶. Sin embargo, la administración de la siembra directa y el uso de cultivos de

⁸⁷ Carvalho et al. 2010a.

⁸⁸ García-Préhac et al. 2004.

⁸⁹ Díaz-Zorita et al. 2002

⁹⁰ Carvalho et al. 2010a.

⁹¹ Carvalho et al. 2010b.

⁹² Balbinot et al. 2009.

⁹³ *Ibid.*; Carvalho et al. 2010a.

⁹⁴ Don et al. 2011.

⁹⁵ Bernoux et al. 2006; Pinheiro et al. 2010; Govaert et al. 2009; Powlson et al. 2011.

⁹⁶ Powlson et al. 2011.

abono como las legumbres pueden aumentar las emisiones de N_2O , lo cual contrarrestaría la acumulación de carbono en el suelo⁹⁷. Aún existen pocos estudios que evalúen integralmente el rol de las emisiones de N_2O en distintos sistemas de cultivos en ALC. En condiciones tropicales y subtropicales, las emisiones de N_2O en los sistemas de cultivo de siembra directa eran bajas, sin llegar a contrarrestar los beneficios de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero del sistema⁹⁸. No obstante, para prevenir pérdidas de nitrógeno hacia la atmósfera o a través de filtraciones profundas, es recomendable sincronizar la disponibilidad de nitrógeno con la absorción de las plantas, como fue explicado⁹⁹.

En síntesis, la agricultura puede proveer no solo alimentos, fibras textiles y combustible, sino también una serie de servicios de ecosistemas según cómo sea desarrollada. Pero para que ello suceda, los campos agrícolas deben integrarse al paisaje y debe coexistir una combinación de vegetación natural y campos de cultivo. Ello implica que gran parte de la deforestación en ALC debe llegar a su fin y los aumentos de la producción agrícola deben provenir de una intensificación sostenible, lo cual a su vez implica la implementación de una serie de ciertas prácticas de administración sostenible.

⁹⁷ Patiño-Zúñiga et al. 2008; Jantalia et al. 2008; Gomes et al. 2009.

⁹⁸ Jantalia et al. 2008; Gomes et al. 2009.

⁹⁹ Gomes et al. 2009.

Referencias bibliográficas

- Andreae, M. O., P. Artaxo, C. Brandão, F. E. Carswell, P. Ciccioli, A. L. da Costa, A. D. Culf et al. 2002. Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases, and aerosols in Amazonia: The LBA-EUSTACH experiments. *Journal of Geophysical Research* 107: 8066.
- Artaxo, P., E. T. Fernandes, J. V. Martins, M. A. Yamasoe, P. V. Hobbs, W. Maenhaut, K. M. Longo et al. 1998. Large-scale aerosol source apportionment in Amazonia. *Journal of Geophysical Research* 103: 31837–47.
- Artaxo, P., J. V. Martins, M. A. Yamasoe, A. S. Procópio, T. M. Pauliquevis, M. O. Andreae, P. Guyon et al. 2002. Physical and chemical properties of aerosols in the wet and dry seasons in Rondônia, Amazonia. *Journal of Geophysical Research* 107: 1–14.
- Bai, Z. G., D. L. Dent, L. Olsson y M. E. Schaepman. 2008. Proxy global assessment of land degradation. *Soil Use and Management* 24: 223–34.
- Balasubramanian, V., B. Alves, M. Aulakh, M. Bekunda, Z. Cai, L. Drinkwater, D. Mugendi et al. 2004. Crop, environment, and management factors affecting nitrogen use efficiency. En A. R. Mosier y J. R. Freney (editores). *Agriculture and the Nitrogen Cycle*, 19–34. SCOPE 65, Washington, D.C.: Island Press.
- Balbinot, A. A. Jr., A. de Moraes, M. da Veiga, A. Pelissari y J. Dieckow. 2009. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. *Ciência Rural* 39: 1925–33.
- Banco Mundial, *Informe sobre el Desarrollo Mundial 2008*. Washington, D.C.: Banco Mundial.
- Barbier, E. 2004. Agricultural expansion, resource booms and growth in Latin America: Implications for long-run economic development. *World Development* 32 (1): 137–57.
- Barth, M., J. P. McFadden, J. Sun, C. Wiedinmyer, P. Chuang, D. Collins, R. Griffin et al. 2005. Coupling between land ecosystems and the atmospheric hydrologic cycle through biogenic aerosol pathways. *Bulletin of the American Meteorological Society* 86: 1738–42.
- Bayer, C., L. Martin-Neto, J. Mielniczuk, A. Pavinato y J. Dieckow. 2006. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil and Tillage Research* 86: 237–45.
- Bernoux, M. B., C. C. Cerri, C. E. Cerri, M. Siqueira-Neto y A. M. Metay. 2006. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. *Agronomy Sustainable Development* 26: 1–8.
- Bobbink, R., K. Hicks, J. Galloway, T. Spranger, R. Alkemade, M. Ashmore, M. Bustamante et al. 2010. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: A synthesis. *Ecological Applications* 20 (1): 30–59.

- Boddey, R. M., C. P. Jantalia, P. C. Conceição, J. A. Zanata, B. Cimélio, J. Mielniczuk, J. Dieckow et al. 2010. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. *Global Change Biology* 16: 784–95.
- Boy, J., R. Rollenbeck, C. Valarezo y W. Wilcke. 2008. Amazonian biomass burning-derived acid and nutrient deposition in the north Andean montane forest of Ecuador. *Global Biogeochemical Cycles* 22 (4): 1–16.
- Carvalho, P. C., I. Anghinoni, A. Moraes, E. D. Souza, R. M. Sulc, C. R. Lang, J. P. C. Flores et al. 2010a. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 88 (2): 259–73.
- Carvalho, J. L. N., G. S. Raucci, C. E. P. Cerri, M. Bernoux, B. J. Feigl, F. J. Wruck y C. C. Cerri. 2010b. Soil & tillage research impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. *Soil and Tillage Research* 110: 175–86.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2005. El nuevo patrón de desarrollo de la agricultura en América Latina y el Caribe. Panorama 2005, Santiago de Chile, Chile.
- Cerdeira, A. L., D. L. P. Gazziero, S. O. Duke y M. B. Matallo. 2011. Agricultural impacts of glyphosate-resistant soybean cultivation in South America. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59: 5799–807.
- Chacoff, N. P. y M. A. Aizen. 2006. Edge effects on flower-visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. *Journal of Applied Ecology* 43: 18–27.
- Chuvieco, E., S. Opazo, W. Sione, H. Del Valle, J. Anaya, C. Di Bella, I. Cruz, et al. 2008. Global burned-land estimation in Latin America using MODIS composite data. *Ecological Applications* 18: 64–79.
- Claeys, M., B. Graham, G. Vas, W. Wang, R. Vermeylen, V. Pashynska, J. Cafmeyer et al. 2004. Formation of secondary organic aerosols through photooxidation of isoprene. *Science* 303: 1173–76.
- Clement, C. R. 1999. 1492 and the loss of Amazonian crop genetic resources. I. The relation between domestication and human population decline. *Economic Botany* 53: 188–202.
- David, M., D. Martine y F. Vogelgesang. 2000. The impact of the new economic model on Latin America's agriculture. *World Development* 28 (9): 1673–88.
- De Marco, P. y F. M. Coelho. 2004. Services performed by the ecosystem: Forest remnants influence agricultural cultures' pollination and production. *Biodiversity and Conservation* 13: 1245–55.

- Dentener, F., J. Drevet, J. F. Lamarque, I. Bey, B. Eickhout, a. M. Fiore, D. Hauglustaine et al. 2006. Nitrogen and sulfur deposition on regional and global scales: A multimodel evaluation. *Global Biogeochemical Cycles* 20 (4): GB403.
- Diamond, J. 2002. Evolution, consequences and future of plant and animal domestication. *Nature* 418 (6898): 700–07.
- Díaz-Zorita, M., G. A. Duarte y J. H. Grove. 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research* 65: 1–18.
- Diekow, J., J. Mielniczuk, H. Knicker, C. Bayer, D. Dick y I. Kogelknabner. 2005. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil and Tillage Research* 81: 87–95.
- Don, A., J. Schumacher y A. Freibauer. 2011. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – A meta-analysis. *Global Change Biology* 17: 1658–70.
- Dourado-Neto, D., C. Timm, J. C. M. Oliveira, K. Reichardt, O. O. S. Bacchi, T. T. Tominaga y F. A. M. Cassaro. 1999. State-space approach for the analysis of soil water content and temperature in a sugarcane crop. *Scientia Agricola* 56:1215–21.
- Duputié, A., J. Salick y D. McKey. 2011. Evolutionary biogeography of *Manihot* (*Euphorbiaceae*), a rapidly radiating Neotropical genus restricted to dry environments. *Journal of Biogeography* 38 (6): 1033–43.
- Ekström, S., B. Nozière, M. Hultberg, T. Alsberg, J. Magnér, E. D. Nilsson y P. Artaxo. 2010. A possible role of ground-based microorganisms on cloud formation in the atmosphere. *Biogeosciences* 7: 387–94.
- EM (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio). 2005. *Ecosistemas y Bienestar Humano: Síntesis*. Washington, D.C.: Island Press.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. *The State of World's Forests 2011*. Roma.
- Fraser, J. A. 2010. Caboclo horticulture and Amazonian dark earths along the Middle Madeira river, Brazil. *Human Ecology* 38 (5): 651–62.
- Franko, P. 2007. *The Puzzle of Latin American Economic Development*. Tercera edición. Lanham, MD: Rowman & Littlefield Publishers.
- Freitas, B. M., V. L. Imperatriz-Fonseca, L. M. Medina, A. de M. P. Kleinert, L. Galetto, G. Nates-Parra y J. J. G. Quezada-Euán. 2009. Diversity, threats and conservation of native bees in the neotropics. *Apidologie* 40: 332–46.

- Gallai, N., J. Salles, J. Settele y B. Vaissiere. 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics* 68: 810–21.
- Galloway, J. N., A. R. Townsend, J. W. Erisman, M. Bekunda, Z. Cai, J. R. Freney, L. A. Martinelli et al. 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science* 320: 889–92.
- García-Préhaç, F., O. Ernst, G. Siri-Prieto y J. A. Terra. 2004. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. *Soil and Tillage Research* 77: 1–13.
- Gardiner, M. M., D. A. Landis, C. Gratton, C. D. Di Fonzo, M. O’Neal, J. M. Chacon, M. T. Wayo et al. 2009. Landscape diversity enhances biological control of an introduced crop pest in the north-central USA. *Ecological Applications* 19: 143–54.
- Garibaldi, L. A., M. A. Aizen, A. M. Klein, S. A. Cunningham y L. D. Harder. 2011. Global growth and stability of agricultural yield decrease with pollinator dependence. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108: 5909–14.
- Ghazoul, J. 2005. Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *Trends in Ecology & Evolution* 20: 367–73.
- Gilden, R. C., K. Huffling y B. Sattler. 2010. Pesticides and health risks. *Journal of Obstetric, Gynecology and Neonatal Nursing* 39:103–10.
- Godfray, H. C., J. I. R. Crute, L. Haddad, D. Lawrence, J. F. Muir, N. Nisbett, J. Pretty et al. 2010. The future of the global food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 365: 2769–77.
- Gomes, J., C. Bayer, F. de Souza Costa, M. C. Piccolo, J. A. Zanatta, F. C. B. Vieira y J. Six. 2009. Soil nitrous oxide emissions in long-term cover crops-based rotations under subtropical climate. *Soil and Tillage Research* 106: 36–44.
- Goulding, K. 2004. Pathways and losses of fertilizer nitrogen at different scales. En A. R. Mosier y J. R. Freney (editores). *Agriculture and the Nitrogen Cycle*, 209–20. SCOPE 65, Washington, D.C.: Island Press.
- Govaerts, B., N. Verhulst, A. Castellanos-Navarrete, K. D. Sayre, J. Dixon y L. Dendooven. 2009. Conservation agriculture and soil carbon sequestration: Between myth and farmer reality. *Critical Reviews in Plant Sciences* 28: 97–122.
- Grau, H. R. y A. Mitchell. 2008. Globalization and land-use transitions in Latin America. *Ecology and Society* 13 (2): 16.
- Green, R. E., S. J. Cornell, J. P. W. Scharlemann y A. Balmford. 2005. Farming and the fate of wild nature. *Science* 307: 550–55.

- Guo, L. B. y R. M. Gifford. 2002. Soil carbon stocks and land use change: A meta analysis. *Global Change Biology* 8: 345–60.
- Hobbs, P. V., J. S. Reid, R. A. Kotchenruther, R. J. Ferek y R. Weiss. 1997. Direct radiative forcing by smoke from biomass burning. *Science* 275:1776– 1778.
- Hungria, M. y A. T. M. Vargas. 2000. Environmental factors affecting N₂ fixation in grain legumes in the tropics, with an emphasis on Brazil. *Field Crops Research* 65: 151–64.
- Imperatriz-Fonseca, V. L., A. M. Saraiva y L. Goncalvez. 2007. The Brazilian pollinators initiative and the advances for the comprehension of the role of pollinators as ecosystem services providers. *Bioscience Journal* 23: 100–06.
- Jantalia, C. P., H. P. dos Santos, S. Urquiaga, R. M. Boddey y B. J. R. Alves. 2008. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 82: 161–73.
- Keating, B. A., P. S. Carberry, P. S. Bindraban, S. Asseng, H. Meinke y J. Dixon. 2010. Eco-efficient agriculture: Concepts, challenges, and opportunities. *Crops Science* 50: 109–19.
- Klein, A.-M., B. E. Vaissière, J. H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S. A. Cunningham, C. Kremen y T. Tschardt. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society. B: Biological Sciences* 274: 303–13.
- Klink, C. A. y R. B. Machado. 2005. Conservation of the Brazilian cerrado. *Conservation Biology* 19: 707–13.
- Krusche, A. V., P. B. de Camargo, C. E. Cerri, M. V. Ballester, L. B. L. S. Lara, R. L. Victoria y L. A. Martinelli. 2003. Acid rain and nitrogen deposition in a sub-tropical watershed (Piracicaba): ecosystem consequences. *Environmental Pollution* 121 (3): 389–99.
- Lal, R. 2001. Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development* 12: 519–39.
- Lara, L. L., P. Artaxo, L. A. Martinelli, P. B. Camargo, R. L. Victoria y E. S. B. Ferraz. 2005. Properties of aerosols from sugar-cane burning emissions in Southeastern Brazil. *Atmospheric Environment* 39: 4627–37.
- Lauk, C. y K. H. Erb. 2009. Biomass consumed in anthropogenic vegetation fires: Global patterns and processes. *Ecological Economics* 69: 301–09.
- Mace, K. A., P. Artaxo y R. A. Duce. 2003. Water-soluble organic nitrogen in Amazon Basin aerosols during the dry (biomass burning) and wet seasons. *Journal of Geophysical Research* 108 (D16): 4512.
- Marengo, J. A., T. Ambrizzi, R. P. da Rocha, L. M. Alves, S. V. Cuadra, M. C. Valverde, R. R. Torres et al. 2009. Future change of climate in South America in the late twenty-first

- century: Intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Climate Dynamics* 35: 1073–97.
- Martin, S. T., M. O. Andreae, P. Artaxo, D. Baumgardner, Q. Chen, A. H. Goldstein, A. Guenther et al. 2010. Sources and properties of Amazonian aerosol particles. *Rev. Geophysics* 48: RG2002.
- Martinelli, L. A. 2003. Element interactions in Brazilian landscapes as influenced by human interventions. En J. M. Mellilo, C. B. Field y B. Moldan (editores). *Interactions of the Major Biogeochemical Cycles – Global Change and Human Impacts*. SCOPE 61. Washington, D.C.: Island Press.
- Martinelli, L. A. y S. Filoso. 2009. Balance between food production, biodiversity and ecosystem services in Brazil: A challenge and an opportunity. *Biota Neotropica* 9 (4): 21–25.
- Martinelli, L. A., R. W. Howarth, E. Cuevas, S. Filoso, A. T. Austin, L. Donoso, V. Huszar et al. 2006. Sources of reactive nitrogen affecting ecosystems in Latin America and the Caribbean: Current trends and future perspectives. *Biogeochemistry* 79: 3–24.
- Martinelli, L. A., R. Naylor, P. M. Vitousek y P. Moutinho. 2010. Agriculture in Brazil: Impacts, costs, and opportunities for a sustainable future. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 2: 1–8.
- Martínez-Romero, E. 2003. Diversity of Rhizobium-Phaseolus vulgaris symbiosis: Overview and perspectives. *Plant and Soil* 252 (1): 11–23.
- Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J. Sanchez, G. E. Buckler y J. Doebley. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99 (9): 6080–84.
- Maués, M. M. y P. E. A. M. Oliveira. 2010. Consequências Da Fragmentação Do Habitat Na Ecologia Reprodutiva De Espécies Arbóreas Em Florestas Tropicais, Com Ênfase Na Amazônia. *Oecologia Australis* 14: 238–50.
- Metternicht, G., J. A. Zinck, P. D. Blanco y H. F. del Valle. 2010. Remote sensing of land degradation: Experiences from Latin America and the Caribbean. *Journal of Environmental Quality* 39: 42–61.
- McDougall, P. 2008. The global agrochemical and deed markets industry prospects. Presentación en la Conferencia Anual de la CPDA (Asociación de Productores y Distribuidores Químicos), San Francisco, 21 de julio.
- Neill, C., L. A. Deegan, S. M. Thomas y C. C. Cerri. 2001. Deforestation for Pasture Alters Nitrogen and Phosphorus in Small Amazonian Streams. *Ecological Applications* 11: 1817–28.

- Oldeman, L. R., R. T. A. Hakkeling y W. G. Sombroek. 1991. *World Map of the Status of Human-induced Soil Degradation*. Segunda edición. Wageningen, Países Bajos: ISRIC (Centro Internacional de Referencia e Información sobre el Suelo).
- Oliveira, J. C. M., K. Reichardt, O.S. Bacchi, L. C. Timm, D. Dourado-Neto, P. C. O. Trivelin, T. T. Tominaga et al. 2000. Nitrogen dynamics in a soil-sugar cane system. *Scientia Agricola* 57 (3): 467–72.
- Pacheco, P. 2009. Brasil lidera use mundial de agrotóxicos. *O Estado de São Paulo*. 7 de agosto.
- Patiño-Zúñiga, L., J. A. Ceja-Navarro, B. Govaerts, M. Luna-Guido, K. D. Sayre y L. Dendooven. 2008. The effect of different tillage and residue management practices on soil characteristics, inorganic N dynamics and emissions of N₂O, CO₂ and CH₄ in the central highlands of Mexico: a laboratory study. *Plant and Soil* 314: 231–241.
- Phalan, B., A. Balmford, R. E. Green y J. P.W. Scharlemann. 2011. Minimising the harm to biodiversity of producing more food globally. *Food Policy* 36: S62–S71.
- Philpott, S. M., W. J. Arendt, I. Armbrrecht, P. Bichier, T. V. Diestch, C. Gordon, R. Greenberg et al. 2008. Biodiversity loss in Latin American coffee landscapes: review of the evidence on ants, birds, and trees. *Conservation Biology* 22: 1093–105.
- Pinheiro, E. F., E. Lima, M. B. Ceddia, S. Urquiaga, B. J. R. Alves y R. M. Boddey. 2010. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. *Plant and Soil* 333: 71–80.
- Piperno, D. R., A. J. Ranere, I. Holst y P. Hansell. 2000. Starch grains reveal early root crop horticulture in the Panamanian tropical forest. *Nature* 407 (6806): 894–97.
- Power, G. 2010. Ecosystem services and agriculture: Tradeoffs and synergies. *Philosophical Transactions of the Royal Society. Series B, Biological Sciences* 365: 2959–71.
- Powlson, D. S., P. J. Gregory, W. R. Whalley, J. N. Quinton, D. W. Hopkins, A. P. Whitmore, P. R. Hirsch et al. 2011. Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food Policy* 36: S72–S87.
- Pretty, J. 2008. Agricultural sustainability: Concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 363: 447–65.
- Pretty, J. N., A. D. Noble, D. Bossio, J. Dixon, R. E. Hine, F. W. T. Penning de Vries y J. I. L. Morison. 2006. Policy analysis resource-conserving agriculture increases yields in developing countries. *Environmental Science & Technology* 40: 1114–19.

- Pretty, J. N., J. I. L. Morison y R. E. Hine. 2003. Reducing food poverty by increasing agricultural sustainability in developing countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 95: 217–34.
- Priess, J. A., M. Mimler, A. M. Klein, S. Schwarze, T. Tschardt y I. Steffan-Dewenter. 2007. Linking deforestation scenarios to pollination services and economic returns in coffee agroforestry systems. *Ecological Applications* 17: 407–17.
- Purugganan, M. D. y D. Q. Fuller. 2009. The nature of selection during plant domestication. *Nature* 457 (7231): 843–48.
- Ramankutty, N., A. T. Evan, C. Monfreda y J. A. Foley. 2008. Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Global Biogeochemical Cycles* 22: 1–19.
- Ricketts, T. H. 2004. Tropical forest fragments enhance pollinator activity in nearby coffee crops. *Conservation Biology* 18: 1262–71.
- Rocha, G. O., A. G. Allen y A. A. Cardoso. 2005. Influence of agricultural biomass burning on aerosol size distribution and dry deposition in southeastern Brazil. *Environmental Science & Technology* 39 (14): 5293–301.
- Rosenfeld, D., U. Lohmann, G. B. Raga, C. D. O'Dowd, M. Kulmala, S. Fuzzi, A. Reissell et al. 2008. Flood or drought: How do aerosols affect precipitation? *Science* 321: 1309–13.
- Rosolem, C. A., L. Pace y C. A. C. Crusciol. 2004. Nitrogen management in maize cover crop rotations. *Plant and Soil* 264: 261–71.
- Salati, E., A. Dall'olio, E. Matsui y J. R. Gat. 1979. Recycling of water in the Amazon basin: An isotopic study. *Water Resource Research* 15: 1250–58.
- Scherr, S. J. y J. A. McNeely. 2008. Biodiversity conservation and agricultural sustainability: Towards a new paradigm of “ecoagriculture” landscapes. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 363: 477–94.
- Schiesari, L. y B. Grillitsch. 2011. Pesticides meet megadiversity in the expansion of biofuel crops. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9: 215–21.
- Simpson, B. B. y M. C. Ogorzaly. 2001. *Economic Botany: Plants in Our World*. Tercera edición. Boston: McGraw-Hill.
- Starr, G. C., R. Malone, D. Hothem, L. Owens y J. Kimble. 2000. Modeling soil carbon transported by water erosion processes. *Land Degradation & Development* 91: 83–91.

- Swinton, S. M., F. Lupi, G. P. Robertson y S. K. Hamilton. 2007. Ecosystem services and agriculture□: Cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. *Ecological Economics* 64: 245–52.
- Teodoro, A., V. A. Muñoz, T. Tschardtke, A. M. Klein y J. M. Tylianakis. 2011. Early succession arthropod community changes on experimental passion fruit plant patches along a land-use gradient in Ecuador. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140: 14–19.
- Tilman, D. 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science* 277: 1300–02.
- Thomas, S. M., C. Neill, L. A. Deegan, A. V. Krusche, V. M. Ballester y R. L. Victoria. 2004. Influences of land use and stream size on particulate and dissolved materials in a small Amazonian stream network. *Biogeochemistry* 68: 135–151.
- Trebs, I., L. L. Lara, L. M. M. Zeri, L. V. Gatti, P. Artaxo, R. Dlugi, J. Slanina et al. 2006. Dry and wet deposition of inorganic nitrogen compounds to a tropical pasture site (Rondônia, Brazil). *Atmospheric Chemistry and Physics* 6 (2): 447–69.
- Valverde, B. E. 2007. Status and management of grass-weed herbicide resistance in Latin America. *Weed Technology* 21: 310–23.
- Vieira, F. C. B., C. Bayer, J. A. Zanatta, J. Mielniczuk y J. Six. 2009. Building up organic matter in a subtropical paleudult under legume cover-crop-based rotations. *Soil Science Society of America Journal* 73: 1699–706.
- Wassenaar, T., P. Gerber, P. Verburg, M. Rosales, M. Ibrahim y H. Steinfeld. 2007. Projecting land use changes in the Neotropics: The geography of pasture expansion into forest. *Global Environmental Change* 17: 86–104.
- Yamamoto, M., A. A. A. Barbosa y P. E. A. M. Oliveira. 2010. A polinização em cultivos agrícolas e a conservação das áreas naturais: O caso do maracujá-amarelo (*Passiflora Edulis* F. *Flavicarpa* Deneger). *Oecologia Australis* 14: 174–92.
- Yevich, R. y J. A. Logan. 2003. An assessment of biofuel use and burning of agricultural waste in the developing world. *Global Biogeochemical Cycles* 17 (4): 1095.
- Zanatta, J., C. Bayer, J. Dieckow, F. Vieira y J. Mielniczuk. 2007. Soil organic carbon accumulation and carbon costs related to tillage, cropping systems and nitrogen fertilization in a subtropical Acrisol. *Soil and Tillage Research* 94: 510–19.