

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Mario Lobo A.<sup>1</sup>

**Agrobiodiversity relevance, at genetic resources level, for the development of sustainable production systems**

ABSTRACT

Colombia is a megadiverse country, from the viewpoint of genetic diversity, with ample ecosystem variability, which can be employed for the development of sustainable production systems, efficient and competitive. This means, besides conservation of strategic genetic resources of plants, animals and microorganisms, to know the potential of this agrobiodiversity for its ample utilization, with the support of conventional procedures and those from the modern biotechnology, which allow the efficient production of food and feed, as well as the implementation of the novel concept of integrated management of agroecosystems. Thus, in the current review, are included, in the new world context, the importance of the agricultural biological diversity, as well as the actions to be developed in order to translate the agrobiodiversity from existence value to option and use values.

*Keywords:* Agroecosystems, biodiversity, plant domestication, resource utilization.

# Importancia de los recursos genéticos de la agrobiodiversidad en el desarrollo de sistemas de producción sostenibles

RESUMEN

Desde la óptica de la diversidad genética, Colombia es un país megadiverso con variabilidad ecosistémica importante, la cual puede ser aprovechada para el desarrollo de sistemas de producción sostenibles, eficientes y competitivos. Esto implica, aparte de la conservación de los recursos genéticos estratégicos vegetales, animales y de microorganismos, conocer el potencial de esta agrobiodiversidad para su utilización amplia, con apoyo de procesos convencionales y de la biotecnología moderna, que permitan proveer alimentos y el desarrollo del concepto integral del manejo de agroecosistemas. Por ello, en la revisión actual se incluye una descripción de la importancia de la diversidad biológica agrícola, en el nuevo contexto mundial y la necesidad de realizar procesos de conocimiento de la variabilidad y los atributos presentes en ésta, para trasladar el recurso genético de valor de existencia a los de opción y utilización.

*Palabras clave:* agroecosistemas, biodiversidad, domesticación de plantas, utilización de los recursos.

INTRODUCCIÓN

COLOMBIA posee una gran riqueza biológica, lo cual se desprende de la diversidad de ecosistemas -337 según Van Winngaarden y Fandiño-Lozano (2005)-, del elevado número de especies vegetales, animales y de microorganismos, muchos de ellos endémicos del país (CIPRE, 1996; Lobo, 2000), y de la variabilidad dentro de especies. Por lo anterior ha sido incluida en el grupo de los países megadiversos del mundo; en 0,77% del área del planeta cuenta aproximadamente con 10% del total de las especies vegetales y animales (Dávalos *et al.*, 2003). Se estima que en la región del Chocó, zona importante de endemismos en el ámbito mundial, se encuentran alrededor de 8.000 especies, y que allí existen algunos de los bosques más ricos en especies del planeta (Gentry, 1986, 1993; Galeano, Suárez y Balslev, 1998).

La biodiversidad mencionada es un elemento con valor estratégico para la inserción dentro del nuevo orden mundial, el cual incluye aspectos como: el desarrollo generalizado de conciencia alrededor de la preservación del medio ambiente y la biodiversidad, lo que condujo a la formulación del Convenio sobre Diversidad Biológica (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo 1992), del cual Colombia es parte; el reconocimiento de la soberanía de los países sobre su biodiversidad en el ins-

trumento anterior, en contraposición con el paradigma existente previamente de que: “los recursos genéticos eran patrimonio de la humanidad” (Hammer *et al.*, 2003); el desarrollo de derechos de propiedad intelectual, incluyendo patentes y derechos de obtentor sobre las variedades vegetales (King y Eizaguirre, 1999) y patentes sobre componentes y productos derivados de la biodiversidad (Hamilton, 2006); y la globalización que tiene efectos en la agricultura, el modo de vida, el uso de los recursos y la conservación ambiental (Zimmerer, 2007), lo que implica una producción agropecuaria eficiente y competitiva (Pingali, 2007).

A lo anterior se adicionan: 1. La necesidad de adoptar un modelo productivo de agricultura sostenible, y limpia, lo que depende, de acuerdo con Liebman y Davis (2000) y Mäder y colaboradores (2002), de la relación entre la diversidad de especies y el funcionamiento de los ecosistemas, procurando preservar la base de recursos naturales, con empleo bajo de insumos externos y un mínimo disturbio causado por el cultivo y la cosecha, de manera que éstos sean económica y socialmente viables (Gliessman, 2007). 2. El aumento de la población humana, con una mayor demanda de alimentos y agua, elemento este que debe sustraerse de la agricultura, lo que ha conducido al concepto del “agua virtual”, o sea, la necesaria para la producción de alimentos, lo cual se ha vinculado, actualmente, a los debates de

Radicado: 4 de noviembre de 2008  
Aceptado: 9 de diciembre de 2008

<sup>1</sup> Ingeniero agrónomo Ph.D. Investigador titular, Grupo de Recursos Genéticos y Mejoramiento de Frutales Andinos, Corpoica, C.I. La Selva, Rionegro, Antioquia. Profesor asociado Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. mlobo@corpoica.org.co

temas políticos mundiales (Roth y Warner, 2008). 3. El desarrollo de usos alternativos de las especies vegetales, en especial la producción de biocombustibles a partir de cultivos básicos para la alimentación (Windhorst, 2007). 4. El cambio climático global, aspecto internacionalmente reconocido desde la década de 1990 como consecuencia de la acumulación de gases del efecto invernadero (Barker, 2008).

Según Brussaard y colaboradores (2007) la biodiversidad empleada en la agricultura tiene dos componentes: el "planeado", o sea los cultivos o tipo de ganado que el granjero quiere producir, y el "no planeado" que corresponde a la biota que participa en el sistema, cuya mayor parte está presente en el suelo. El componente planeado, conjuntamente con las especies silvestres relacionadas, comprende el conglomerado de recursos genéticos empleados para la alimentación y la agricultura (Jarvis *et al.*, 2007). A partir de lo expresado, emergió, como nueva disciplina, la agrobiodiversidad; esta se ha definido como el componente de la biodiversidad que contribuye a la producción agrícola y de alimentos (European Environmental Agency, 2005), la cual evolucionó como una síntesis de la investigación en biodiversidad y la aproximación de los recursos genéticos (Hammer *et al.*, 2003).

Schröder y colaboradores (2007) afirmaron que la agrobiodiversidad es un componente pequeño de la biodiversidad, que desempeña un papel indispensable en la provisión del alimento humano y productos primarios renovables, la cual brinda una base importante para la innovación en el sector alimentario, en el campo de productos primarios renovables, biomasa industrial y producción de bioenergía a partir de las plantas. En la agrobiodiversidad se han incluido, aparte de las especies citadas como "planeadas", los taxa silvestres relacionados, polinizadores, simbioses, plagas, parásitos, depredadores y competidores (Qualset *et al.*, 1995). El término agrobiodiversidad se utilizó, al principio, para categorizar la diversidad presente en los cultivos (FAO, 1995), con el fin de diferenciarla de la biodiversidad, la cual se asociaba con las especies silvestres, que se consideraba tenían mayor variabilidad que las cultivadas, lo que Caballero y colaboradores (2007) consideran una creencia errónea.

Para que la utilización sostenible de la agrobiodiversidad, de la cual los recursos genéticos para alimentación y agricultura son un componente, contribuya en forma eficiente al crecimiento económico de un país, se requiere conservar adecuadamente esta riqueza biológica, adelantar procesos de conocimiento de la variabilidad presente en ella y promover ampliamente su utilización mediante la documentación de los atributos presentes en los materiales y el apoyo a procesos de premejoramiento y mejoramiento con visión sistémica (Lobo, 2000). Estos deben buscar la oferta de variedades vegetales y estirpes superiores de animales adaptados a la oferta ambiental, al igual que la utilización de microorganismos benéficos y de productos derivados que contribuyan a la sostenibilidad y mejoramiento de los sistemas agropecuarios.

Igualmente, la agrobiodiversidad, adecuadamente caracterizada, debe permitir el desarrollo de nuevas alternativas productivas competitivas nacional e internacionalmente, empleando las especies relegadas y las subutilizadas. Hammer y colaboradores (2001) definieron las primeras como aquellas que han sido ignoradas por la ciencia y el desarrollo pero que se usan en las áreas de adaptación y son competitivas; y las segundas, aquellas que se sembraban y cayeron en desuso. En un contexto más amplio Brown y Hodgkin (2007) indicaron que el gran desafío de la comunidad agrícola mundial es cómo desarrollar y mejorar la productividad de los ecosistemas agrícolas para disminuir la pobreza y brindar la seguridad alimentaria de una manera sostenible, para lo cual se ha reconocido que la diversidad genética vegetal es esencial (Smith *et al.*, 2008). Brown y Hodgkin (2007) agregaron que el manejo de la biodiversidad es complejo y que incluye diversos niveles: ecosistemas, especies, genes y ambiente, e involucra una gran variedad de disciplinas, entre las cuales se encuentran la genética, los sistemas agrícolas y las ciencias sociales.

#### **Importancia de la biodiversidad para la agricultura**

La biodiversidad se refiere a la variedad de formas vivas: animales, plantas y microorganismos diferentes, los genes que contienen y los ecosistemas que con-

forman, lo cual es el producto de millones de años de historia evolutiva, de los que obtiene la humanidad su alimento y un número apreciable de medicinas y productos industriales, derivados de los componentes silvestres y domesticados de la diversidad biológica (Department of the Environment, Sport and Territories, 1999). Se estima que las poblaciones rurales pobres dependen en 90% de los recursos biológicos para satisfacer sus necesidades de supervivencia (Shand, 1997); por lo cual, hay consenso mundial sobre que la biodiversidad es fundamental para la producción agrícola y la seguridad alimentaria, como también un ingrediente importante de la conservación del ambiente (Thrupp, 2000). La biodiversidad en los sistemas agrícolas provee el alimento y la manera de producirlo, lo cual depende del gran número de taxa que llevan a cabo servicios reguladores esenciales, como soporte de la producción (Jarvis *et al.*, 2007).

A partir de la biodiversidad, el hombre recibe un amplio conjunto de beneficios, conocidos como servicios ecosistémicos. Estos, según Tilman y colaboradores (1999) comprenden una serie de aspectos críticos para el soporte de funciones de las cuales depende la productividad de las actividades agrícolas como son: purificación del aire y el agua; control de sequías e inundaciones; generación y preservación de suelos y restitución de su fertilidad; detoxificación y descomposición de desechos; polinización de cultivos y vegetación natural; ciclos y movimiento de los nutrientes; control de la mayoría de las plagas agrícolas potenciales; protección contra los rayos ultravioletas; estabilización parcial del clima; moderación de condiciones climáticas extremas y su impacto; y mantenimiento de la biodiversidad.

El valor de los bienes y servicios derivados de la biodiversidad es inmenso y difícil de cuantificar (Tilman *et al.*, 1999). Daily (1997) presenta un listado que incluye: 1. La librería genética de la biodiversidad, la cual contribuye a aproximadamente la mitad del incremento en la productividad agrícola y a la capacidad de respuesta a enfermedades y plagas. 2. Polinización de aproximadamente la mitad de las especies vegetales, incluyendo cultivos para producir

alimentos; se conocen más de 100.000 polinizadores, y se estima que el valor de los servicios de la polinización en Estados Unidos está en el orden de billones de dólares. 3. Control de plagas, sobre lo cual se sabe que más de 25% de las pérdidas agrícolas son causadas por plagas y que más de 90% de las plagas potenciales son controladas por enemigos naturales que viven en áreas adyacentes a los cultivos; en este contexto, se estima que la sustitución de pesticidas por controladores naturales representa \$54 billones de dólares por año en Estados Unidos. 4. Praderas nativas que proveen follaje para alimentación del ganado y son el hábitat natural de muchos animales domésticos y cultivos. 5. Productos farmacéuticos; se informa que de las 150 drogas prescritas más frecuentemente en Estados Unidos, 118 se basan en compuestos derivados de fuentes naturales. 6. Pesca, que es una de las mayores fuentes de oferta animal y cuyo valor, mundialmente, supera los cincuenta billones de dólares.

La agrobiodiversidad comprende la variedad y variabilidad de animales, plantas y microorganismos que son importantes para la alimentación y la agricultura, lo cual se deriva de una interacción entre el ambiente, los recursos genéticos y los sistemas de manejo, que incluyen las prácticas utilizadas para tal fin por la gente (Pimbert, 1999). Se ha señalado que la gran diversidad de cultivos, sistemas de producción, especies de animales y razas de éstos es una medida de la importancia de la biodiversidad para la agricultura (National Research Council, 1993). La agrobiodiversidad comprende diferentes cultivos para satisfacer necesidades varias de mercado (Pimbert, 1999) e, igualmente, una gama amplia de cultivos y diversas combinaciones de genes relacionados que confieren resistencia a plagas y tolerancia a factores adversos, los cuales conducen a una mayor productividad y tipos de productos (Crop Science Society of America, 1993).

La agrobiodiversidad es básica para el desarrollo de los sistemas productivos, en la situación actual de apertura y adopción de un modelo de agricultura limpia y sostenible. En ella se encuentran alternativas productivas nuevas o relegadas, competitivas y eficientes, de existir mercados para las mismas, lo cual va ligado a estudios

de cuantificación de consumo probable y estrategias de mercadotecnia para capturar la demanda potencial. Igualmente, la agrobiodiversidad brinda alternativas de reemplazo de cultivos ilícitos, con productos que tengan posibilidades no sólo en el mercado de consumo fresco, sino también con potencial de procesamiento, lo cual da valor agregado a los bienes derivados del sector agropecuario.

Brookfield y Stocking (1999) emplearon el término agrobiodiversidad en un sentido más amplio que el de agrobiodiversidad: "Agrobiodiversidad son las formas diversas en que los agricultores usan la diversidad natural del ambiente para la producción, lo que incluye no sólo la selección del cultivo, sino también el manejo del suelo, el agua y la biota como un todo". Agregan estos autores que tiene cuatro componentes que incluyen: 1. diversidad biofísica, la cual se refiere al ambiente natural, que controla la calidad intrínseca que se utiliza para la producción; 2. manejo, relacionado con los métodos de empleo del suelo, el agua y la biota para la producción de los cultivos y el mantenimiento de la fertilidad y la estructura del primero de éstos; 3. agrobiodiversidad, lo que significa, en concordancia con Guo y colaboradores (1996), la manipulación y uso de las especies biológicas, incluyendo las cultivadas, las semidomesticadas y las silvestres; y 4. la variabilidad organizacional, que comprende los aspectos socioeconómicos.

El papel en la agricultura de los recursos genéticos de los cultivos, el ganado y las especies acuáticas ha sido reconocido por un período de tiempo considerable, pero sólo en la última década la comunidad global ha comprendido la importancia del complejo de diversidad agrícola en el funcionamiento de los ecosistemas agrícolas (Jarvis *et al.*, 2007). En concordancia con lo anterior, Thrupp (2000) indicó que la biodiversidad agrícola o agrobiodiversidad es un componente fundamental de los sistemas productivos en el mundo, que involucra muchos recursos biológicos ligados a la agricultura, entre los cuales se encuentran: los recursos genéticos; las plantas y los cultivos comestibles que incluyen variedades tradicionales y materiales desarrollados por los mejoradores; el ganado y los peces; los organismos del suelo

importantes para la fertilidad, estructura, calidad y sanidad; los insectos, bacterias y hongos que controlan plagas y enfermedades de las plantas y animales domesticados; los componentes de los agroecosistemas indispensables para el ciclo de los nutrientes, la estabilidad y la productividad; y los recursos silvestres de los hábitat naturales y áreas de cultivo que proveen funciones y servicios ecosistémicos.

La importancia de la agrobiodiversidad fue enfatizada en la consulta internacional llamada: "Función de la agrobiodiversidad en el logro del objetivo de desarrollo para el milenio de erradicar el hambre y la pobreza", celebrada en Chennai, India, en abril de 2005 (IPGRI, GFAR, MSSRF, 2005); los participantes, de 25 países, resaltaron el potencial de la contribución de la diversidad agrícola para mejorar los medios de vida, al proveer las bases para la seguridad alimentaria y nutricional y ofrecer oportunidades para la generación de ingresos.

Como resultado de la mencionada consulta, se adoptó una plataforma para la "Acción en pro de un mundo sin hambre ni pobreza", con diez componentes que incluyeron acciones relacionadas con la agrobiodiversidad, las cuales, de manera resumida, comprenden: incorporación de su conservación y uso sostenible en los planes nacionales de desarrollo y en la implementación de instrumentos de política mundial existentes; introducción de medidas legislativas para el uso de la tierra y otros recursos naturales para mejorar la capacidad de utilización de la diversidad; ampliación del sistema multilateral de acceso a los recursos genéticos del Tratado Internacional de Recursos Fitogenéticos; reconocimiento de los aportes de las comunidades locales a la conservación de ésta; promoción de mercados locales y el facilitamiento de entrada a mercados internacionales de los productos de la agrobiodiversidad; defensa y fortalecimiento del llamado "alfabetismo nutricional", relacionado con alimentos tradicionales; fomento de una mayor diversidad de alimentos; reestructuración de las prioridades de investigación y desarrollo; y prevención de la pérdida de los cultivos subutilizados y relegados, muchos de los cuales tienden a desaparecer (IPGRI, GFAR, MSSRF, 2005).

Dentro del desarrollo de sistemas de producción sostenible, la variabilidad cobra relevancia ya que la aproximación de la función productiva, fenotipo = genotipo + ambiente + genotipo x ambiente, da un alto peso al componente genotípico, en los sistemas de producción sostenible. Esto señala la necesidad de contar con una oferta de materiales eficientes en la toma de nutrientes, con resistencia o tolerancia a plagas y enfermedades, con menor dependencia de insumos externos y con posibilidades de su inclusión en sistemas de producción múltiple, incluyendo agroforestería y arreglos silvo-pastoriles y otra serie de atributos específicos como son características que permitan la utilización industrial de los productos derivados de la actividad agropecuaria.

Lo anterior ha sido considerado importante aun en los países desarrollados y condujo a la consolidación del concepto de sistemas agrícolas integrales (Hendrickson *et al.*, 2008), con base en que la agricultura intensiva moderna altera los recursos y disminuye la capacidad productiva (Huang *et al.*, 2002) y la sostenibilidad misma (Tilman *et al.*, 2002). Esto privilegia una aproximación de selección de genotipos con adaptación local y amplia estabilidad, en lugar de la adaptación amplia, con base en que muchos productores prefieren minimizar las variaciones en el tiempo en comparación con un alto potencial productivo en períodos favorables (Dawson *et al.*, 2008); en consonancia con lo anterior Ceccarelli (1994) postuló que la estabilidad en rendimiento era el objetivo más importante en términos de las necesidades sociales y económicas. Lo precedente favorece el empleo de una mayor variabilidad y apoya un manejo integral del agroecosistema, considerando sus componentes biológicos. Esto contrasta con la práctica agrícola en los países industrializados la cual, de acuerdo con Omer, Pascual y Rusell (2007), se focaliza en la creación de un ambiente óptimo para una especie cultivada determinada, ajustando éste para el desarrollo de la producción, cuyo resultado es ignorar las interacciones simbióticas y las complementariedades del uso de recursos entre especies.

Para Jarvis, Padock y Cooper (2007) la biodiversidad en los ecosistemas agrícolas suministra el alimento humano y los

medios para producirlo, lo cual señala que los agricultores diariamente manejan la diversidad agrícola para la producción de comida y una serie de productos esenciales para la vida humana, al igual que otros servicios como la protección del agua y la captura de carbono. Frey y Becker (2004) recopilaron una serie de funciones de la biodiversidad agrícola (agrobiodiversidad) presentadas por diversos autores, entre las cuales se encuentran: 1. Reducción de la vulnerabilidad de los agroecosistemas e incremento en la resistencia a plagas y enfermedades (Main, 1999; Olaniran, 1999; Thrupp 2000; Zhu *et al.*, 2000). 2. La diversidad genética es una fuente importante para la investigación y el mejoramiento (Frisvold y Condon, 1998; Jana 1999; Olaniran 1999; Ishikawa *et al.*, 2002). 3. Las variedades locales y los sistemas diversos de cultivo múltiple contribuyen a la diversidad rural y cultural (Thrupp 2000). 4. La diversidad agrícola permite un uso complementario de recursos como luz, agua y nutrientes, como también capital y trabajo (Vandermeer *et al.*, 1998; Main, 1999; Olaniran, 1999; Altieri, 2002). 5. La diversidad de agroecosistemas produce rendimientos estables y constantes, aspecto importante para disminuir los riesgos a escala de pequeños productores (Smale, 1998; Main, 1999; Olaniran, 1999). 6. Los agroecosistemas con diversidad simulan los ecosistemas naturales y sirven como hábitat para numerosas especies (Thrupp, 2000; Peroni y Hanazaki, 2002).

Tomando en consideración las especies vegetales, la diversidad dentro de cada cultivo es esencial para la agricultura (Tilman *et al.*, 1999), con demanda por parte de los productores de un arreglo de variedades de plantas (Duvick, 1984), premisa que ha sido válida desde el momento en que comenzaron los procesos de domesticación de especies, los cuales crearon el concepto de recurso genético al agregar conocimiento al recurso biológico. Esto produjo un arreglo inmenso de variedades locales, que fueron la base para el desarrollo de los cultivares comerciales. A partir de éstas, los agricultores y los científicos utilizaron la variabilidad acumulada por cientos de generaciones, las cuales observaron, seleccionaron, multiplicaron, intercambiaron y mantuvieron variantes de las plantas cultivadas; esto produjo el legado de recursos genéticos que alimenta

millones de seres humanos (Brush, 2000). Igualmente, en el caso de los taxa animales, el proceso de domesticación se basó en la variabilidad existente y tomó dos líneas en cuanto al uso de los productos derivados del conjunto biológico. La primera focalizó la selección de individuos para carne, grasa y fibra, derivada de ovejas, cabras, perros y cobayos; la segunda seleccionó, adicionalmente, especies que sirvieran para transporte y "fuerza de trabajo", lo que incluyó el ganado vacuno, el búfalo, el yak, el caballo, el burro, la llama y el camello; con ocurrencia de intercambio de animales entre continentes y países, lo cual se incrementó durante la época del colonialismo, particularmente después del siglo XIX (Hoffmann, 2007).

Pese a los esfuerzos de domesticación de las especies vegetales, las taxa domesticadas representan una fracción mínima de la biota terrestre. Así, de un estimado de 320.000 plantas vasculares, alrededor de 25% de las mismas tienen propiedades comestibles y 3000 se utilizan con este fin (UNEP, 1995), aun cuando este número puede ser más amplio. Así, Hammer *et al.*, (2003) afirmaron que el número de plantas empleadas por el hombre para la alimentación y la agricultura puede llegar a 7000; Khoshbakht y Hammer (2008) afirman que al agregar al grupo anterior los taxa utilizados para ornamentación, jardinería y paisaje, se podría hablar de 35.000 plantas cultivadas, o sea alrededor de 14% del total de especies vegetales superiores. Se estima que se utilizan entre 25.000 y 50.000 plantas en procesos de medicina tradicional (UNEP, 1995). Cabe señalar que a escala mundial, del conjunto de entidades vegetales para la alimentación, y tomando como referencia el aporte de proteínas y calorías, 30 cultivos aportan el 95% de éstas (Lobo, 1998); y tres cereales -arroz, trigo y maíz- contribuyen con cerca del 60% de las calorías (Thrupp, 2000). Es preocupante el reducido número de especies vegetales empleadas en la alimentación y la agricultura, y la erosión genética intra e interespecífica (Frey y Becker, 2004). Estos dos tipos de erosión genética son ocasionados por el reemplazo de variedades locales por unos pocos cultivares de productividad elevada (Cox y Wood, 1999), y por la concentración de pocas especies sembrados en áreas grandes en monocultivo (Cox y Wood, 1999; Singh, 2000), respectivamente.

En relación con las especies animales, se ha señalado que más de 6.379 razas de animales de alrededor de 30 especies se han desarrollado en los doce mil años del proceso de domesticación (Scherf, 2000), con evolución de adaptaciones que permiten la producción pecuaria en una amplia gama de situaciones, las cuales incluyen algunos de los ambientes más inhóspitos poblados por el hombre (Gibson *et al.*, 2007). Se estima que aproximadamente mil conjuntos de animales domésticos están en peligro de extinción (Loftus y Scherf, 1993, citados por Martínez, 2000). En consonancia con lo precedente, Gibson y colaboradores (2007) informaron que 35% de los mamíferos y 63% de las aves utilizados por el hombre están en peligro de desaparición. De los anteriores, están envueltos en sistemas comerciales de producción animal, menos de 20 especies, con pocas razas predominantes, de las cuales, de acuerdo con Hoffman (2007), 14 de ellas, correspondientes a mamíferos y aves, suministran el 90% de los alimentos de origen animal. El ganado vacuno representa 90% de la producción mundial de leche y 32% de la de carne; los cerdos aportan aproximadamente 40% de la carne consumida en el planeta, en tanto que las ovejas y las cabras, el 4% de la leche, 6% de la carne y alrededor de 85% de la producción de fibras animales para textiles (FAO, 1995, citado por Martínez, 2000). La ganadería utiliza dos terceras partes de la superficie destinada a la agricultura, lo cual equivale a una tercera parte del área global, razón por la cual es evidente la necesidad de incorporar medidas de conservación unidas a sistemas de producción pecuarios más eficientes (Martínez, 2000).

Se ha puntualizado que alrededor de 70% de la población campesina depende de animales como un componente de su vida (Livestock in Development, 1999) y que la diversidad genética encontrada en las razas de éstos les permite seleccionar individuos o desarrollar nuevos tipos, como respuesta a las enfermedades, las condiciones del mercado y las necesidades sociales, aspectos que son impredecibles (Pattison, Drucker y Anderson, 2007). Cada especie animal domesticada incluida en sistemas productivos está representada por un arreglo genético conocido como raza (*breed*), cuya identidad se desarrolló a través de aislamiento regional,

adaptación a condiciones extremas locales, deriva genética y preferencias de los granjeros por características físicas o de producción (Tilman *et al.*, 1999). La Food and Agriculture Organization (FAO) en 1995 estimó que el número total de razas de mamíferos y aves está entre 4.000 y 5.000, lo cual es aproximadamente igual al número de especies de mamíferos. En estas razas y sus parientes silvestres se encuentra la variabilidad genética de la cual depende la producción pecuaria actual y futura (Tilman *et al.*, 1999).

Con relación a lo anterior, la eficiencia productiva de las especies que se explotan en ambientes no controlados o en pastoreo está fuertemente ligada al uso de la diversidad genética, en la cual se encuentran atributos que permiten adaptación a diferentes condiciones ecológicas y sistemas de producción (Martínez, 2000). Es importante anotar que en Colombia, gracias a la diversidad ecosistémica, se ha desarrollado una gran cantidad de biotipos localmente adaptados y con características importantes incluyendo fertilidad, sobrevivencia, rusticidad y resistencia a enfermedades. Hoffman (2007) afirmó que el uso y desarrollo de razas de animales y la conservación de conjuntos valiosos, de escaso interés para los productores, debe ser mejorado en forma sustancial para garantizar la seguridad alimentaria y el desarrollo rural continuado y que su uso sostenible, mejoramiento y conservación son elementos críticos complementarios para el cumplimiento de lo anotado.

La diversidad de microorganismos, menos conocida que la de los grupos anteriores, representa un recurso genético de alta importancia en la agricultura. La productividad agrícola y la sostenibilidad se benefician de los microorganismos en diversas formas que se mencionan a continuación. Simbiosis de los *Rhizobium* con las leguminosas con reducción del nitrógeno atmosférico, el cual se torna disponible para la planta (Sessitsch *et al.*, 2002), lo que contribuye en forma importante a la agricultura sostenible y al ciclo global del elemento (Colebatch *et al.*, 2002). Relaciones simbióticas de los hongos micorrizógenos con las raíces de la mayoría de las plantas terrestres (Rosendahl, 2008), desde las regiones subpolares hasta los bosques húmedos tropicales, presentes aun en ecosistemas acuáticos (Read, 1991,

Nielsen *et al.*, 2004); estos microorganismos forman un micelio extrarradical que permite una transferencia recíproca de carbono a partir del hospedante y nutrientes tomados del suelo (Leake *et al.*, 2004) y entre las plantas unidas por la red micelial (Simard *et al.*, 2002). El llamado complejo de bacterias ayudadoras de las micorrizas, las cuales modulan, en condiciones naturales, la simbiosis de hongos micorrizógenos (Frey-Klett *et al.*, 2007). La amplia gama de microorganismos que proveen control biológico de insectos, plagas y malezas y los microorganismos asociados a los vegetales que contribuyen con factores de crecimiento o a los mecanismos de defensa de éstos contra los ataques de insectos y enfermedades (Tilman *et al.*, 1999), con amplia difusión y empleo de *Bacillus thuringiensis*, el cual ha sido aplicado, durante más de 50 años, para el control de plagas causadas por lepidópteros (Navon, 2000).

La gran diversidad de microorganismos benéficos ofrece numerosas oportunidades, para el mejoramiento de su actividad, a través de selección natural o modificaciones genéticas, siendo importante señalar que éstos representan un potencial de genes nuevos para el mejoramiento vegetal (Tilman *et al.*, 1999) con el advenimiento de la transgénesis. En línea con lo expuesto, Hirsch (2004) señaló que el uso de inoculantes microbiales, en agricultura y horticultura, para mejorar la nutrición y el crecimiento e inhibir pestes y patógenos vegetales es una práctica ampliamente utilizada. Adicionalmente, se han reportado microorganismos endófitos que viven en el interior de las plantas sin causar efectos negativos, que brindan una fuente potencial de productos naturales, con diversas finalidades: medicina, agricultura e industria; los que han sido encontrados y aislados, en forma incremental, a partir de los vegetales (Guo *et al.*, 2008).

En concordancia con lo anterior, Brown y colaboradores (2007) indicaron que la biota del suelo, que incluye los microorganismos, es responsable de las modificaciones de éste e interviene en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Estos tratadistas agregan que algunas de estas especies, que crecen principalmente en la rizosfera, son promotoras de crecimiento asimbiótico y que otros microbios

participan activamente en la degradación de contaminantes, tales como pesticidas y derivados del petróleo, y en procesos como la descomposición de la materia orgánica, los ciclos de los nutrimentos, la captura de gases del efecto invernadero, (en especial metano, óxido nítrico y dióxido de carbono); y adicionalmente, muchos son fuentes de medicinas. Brown *et al.* (2007), en concordancia con otros investigadores, señalaron que el suelo, como sistema, contiene el arreglo mayor de organismos encontrado en la tierra (Brusaard *et al.*, 1997; Giller *et al.*, 1997; Wall y Moore, 1999); por su parte Hågvar (1998) indica que un gramo de suelo puede contener varios miles de especies de bacterias y millones de individuos.

Los microorganismos también pueden contribuir en la nutrición animal, mediante la manipulación de la microbiota simbiótica fúngica y bacteriana del tracto gastrointestinal de los rumiantes, la cual se considera responsable de la degradación de los compuestos celulósicos y de otros polisacáridos, componentes de las paredes celulares vegetales, que son de baja digestibilidad para los mamíferos (Cotes, 2000). Al respecto Edwards y colaboradores (2008) indicaron que el propósito del rumen es convertir la ingesta en biomasa microbiológica y productos que puedan ser utilizados por el animal y que los microorganismos del rumen fermentan material lignocelulósico complejo para ser utilizado por los rumiantes, sobre lo cual Broudiscou y Jouany (1995) indicaron que, más de la mitad de la proteína que llega a los intestinos corresponde al tipo microbial.

En el contexto de la alimentación, las levaduras podrían estimular la población de bacterias ruminales, incrementando la síntesis de proteína microbiana, y mejorando el balance proteína:energía en el proceso de absorción por parte del duodeno y por lo tanto la productividad de los individuos alimentados con pastos tropicales (Cotes, 2000). Igualmente, la utilización de inóculos microbianos benéficos para combatir patógenos del tracto gastrointestinal por exclusión competitiva es una actividad promisoriosa especialmente en especies monogástricas (Cotes, 2000). Otro tipo de microorganismos benéficos son los llamados probióticos, los cuales se definen como organismos

vivos que benefician a los hospedantes al mejorar el balance intestinal microbial (Raoult, 2008). Estos, especialmente del tipo *Lactobacillus*, *Enterococcus* y *Bifidobacterium*, han sido suministrados al hombre, así como a ganado vacuno, ovejas, cerdos, aves de corral, caballos y mascotas, causando modificaciones en la flora de los organismos anaeróbicos del tracto digestivo (Fuller, 1989; Raoult, 2008), y se ha demostrado que actúan como promotores del crecimiento, por su efecto en la ganancia de peso y la mejora en la conversión de los alimentos (Gill *et al.*, 2006).

### Conocimiento y utilización de la agrobiodiversidad

Day-Rubenstein y Heisey (2001) señalaron que la agricultura y los recursos genéticos son críticamente interdependientes y que todos los materiales empleados en agricultura, aun las variedades modernas, descienden de un conjunto de recursos genéticos silvestres y mejorados, provenientes de todo el mundo. Estos tratadistas añadieron que la producción agrícola depende de una inclusión continua de recursos genéticos para la estabilidad e incremento del rendimiento, y que los recursos biológicos incluyen los recursos genéticos empleados para producir los cultivos agrícolas, con una relación bidireccional entre estos. Así, la producción agrícola puede afectar los recursos silvestres y, a su vez, depende de los recursos genéticos de las plantas y los animales, muchos de los cuales se encuentran en ecosistemas espontáneos.

La agricultura se desarrolló luego de los procesos de domesticación por parte de las comunidades ancestrales, lo cual ocurrió hace alrededor de doce mil años (Gepts, 2002), aspecto que ha sido atribuido a diversos factores, sobre lo cual se formuló, entre otras, la llamada "teoría del oasis de Childe", la cual sugiere que luego de la glaciación, el norte de África y el oeste de Asia se tornaron secos y los humanos comenzaron a congregarse en áreas con disponibilidad de agua (Childe, 1952). Varios autores sostienen que el cultivo precedió a la domesticación (Moore *et al.*, 2000; Tanno y Willcox, 2006) y que ésta fue un proceso adaptativo lento que tomó casi 2000 años para su establecimiento (Mac Key, 2005). Una vez domesticadas las plantas, fueron dramáticamente alte-

radas por los humanos a través de selección dirigida y no dirigida (Araus *et al.*, 2007), lo que se llevó a cabo a través de la acumulación de conocimiento tradicional sobre la utilidad de las plantas y animales y de algunos microorganismos, el cual pasó de generación en generación.

Posteriormente, con base en el desarrollo del conocimiento científico y utilizando las variedades del agricultor, comenzó una época de producción de cultivares mejorados por parte de programas públicos que pusieron estos materiales a disposición de empresas de semillas, pasando luego dichas empresas a la implementación y la producción de híbridos y de variedades comerciales. Esto condujo al desarrollo de derechos de propiedad intelectual, que se inició con la promulgación, en Estados Unidos en 1930, del Acta de Patentes de Plantas, primer instrumento jurídico en conceder protección sobre los cultivares vegetales (Fowler, 1994); a este evento le siguió el establecimiento de los "Derechos de Obtentor sobre los Variedades Vegetales", en el marco del Convenio Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales, de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV), el cual se firmó en 1961 y entró en vigor en 1968 (Fowler, 1993). La UPOV, según el IPGRI (hoy Bioversity International) (2004), es una forma *sui generis* de protección diseñada específicamente para las variedades vegetales, lo cual se complementó con la tendencia de patentamiento de éstas, incluyendo transgénicos (Brown, 2003; Fagerlin, 2003), así como de procesos de punta, desarrollados con el empleo de recursos genéticos (Cahoon, 2000).

Scarascia-Mugnozza y Perrino (2002) afirman que el uso y explotación de los recursos genéticos requiere conocimiento y evaluación de los caracteres expresados por las muestras del genoma y la identificación de atributos deseables, y que la investigación en numerosas disciplinas relacionadas con los recursos heredables ha permitido el desarrollo de metodologías refinadas relacionadas con el objetivo anterior, en particular aquellas que pueden ser aplicadas progresivamente para conocer el genoma de accesiones específicas valiosas. Lo anterior condujo a la formulación de un proyecto para el uso y la valoración de la agrobiodiversidad mundial, durante las reuniones del Foro

de Megaciencia de la OECD en 1999 y al establecimiento de la Entidad Global de Información en Biodiversidad (GBIF), enmarcada en los preceptos del Convenio sobre Diversidad Biológica.

Una de las limitaciones importantes para la utilización de los recursos genéticos es el escaso conocimiento de la agrobiodiversidad. Así, el "Informe del estado de los recursos fitogenéticos" (FAO, 1996a), documento que se encuentra en fase de actualización, demostró esta falencia, por lo cual el Plan Global de Acción para la Conservación y la Utilización Sostenible de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura señaló que la falta de caracterización y evaluación de los recursos fitogenéticos ha impedido un empleo mayor de éstos en programas de mejoramiento. Por lo anterior, se incluyó en el plan: "Expandir las actividades de caracterización, evaluación y el número de colecciones núcleo para facilitar su uso" (FAO, 1996b).

En igual sentido, en el Plan Mundial de Acción sobre los Recursos Zoogenéticos (FAO, 2007) se consideró importante la ampliación de la caracterización de los recursos genéticos; se indica allí que una comprensión adecuada de las características de las razas es necesaria para orientar la adopción de decisiones en los programas de desarrollo pecuario y de mejoramiento genético y que los resultados de la caracterización permiten a los agricultores determinar qué raza utilizar en las condiciones de producción del momento; por lo anterior se estipuló como una medida a tomar, la ampliación de las actividades de caracterización. Lo precedente se basa en que el valor agregado dado al recurso genético es lo que brinda posibilidades de utilización de éste.

Gotor y colaboradores (2008) escribieron que el valor de los recursos genéticos vegetales, en conservación, depende de la información utilizada para promover su uso, lo cual es válido también para los de origen animal y los microorganismos; sobre esto, Scarracia-Mugnozza y Perrino (2002) indicaron que el uso y explotación de los recursos genéticos postula conocimiento y evaluación de los caracteres expresados por el genoma de las accesiones y la identificación de características deseables.

Dado el interés por los atributos morfológicos por parte de los usuarios del germoplasma se desarrollaron, en el caso de las plantas, listas de descriptores estandarizados a partir de 1976, los cuales evolucionaron de conjuntos mínimos de atributos a una lista amplia para la categorización de accesiones de los taxa vegetales, los cuales brindan información que puede ser compartida y utilizada por usuarios de diversa índole (Gotor *et al.*, 2008). La reseña, actualmente, comprende cinco clases de información: 1. Datos de pasaporte, que describen los parámetros a ser observados en el momento de colecta del material o que acompañan las introducciones provenientes de otros sitios. 2. Información de manejo, registros de multiplicación, almacenamiento, mantenimiento y regeneración. 3. Categorizadores de ambiente y localidad e información de los sitios de colecta, multiplicación, caracterización y evaluación. 4. Descriptores de caracterización, relacionados con las características de las plantas que se emplean para describir una accesión, los que comprenden los atributos cualitativos, generalmente de mediana a alta heredabilidad. 5. Descriptores de evaluación, los cuales cubren atributos cuantitativos tales como rendimiento y otras características agrónomicamente importantes (Gotor *et al.*, 2008).

Muchos de los cultivos modernos han sido seleccionados a partir de materiales silvestres y variedades locales para suplir las demandas de la alimentación; por ello, para asegurar la sostenibilidad agrícola y el consumo es esencial estudiar la variabilidad de los conjuntos citados, lo que permitirá derivar atributos de valor tales como resistencia a plagas y tolerancia a condiciones ambientales adversas (Ohara y Simamoto, 2002). Lo anterior, complementado con análisis multivariado, permite seleccionar genotipos y accesiones para conservación y utilización que tengan la mejor representación de la población o colección de genes, con un mínimo de pérdida de diversidad genética (Crossa y Franco, 2004). Esto, además del conocimiento morfológico, implica determinar la variación genética, sobre lo cual se ha afirmado (Vashney *et al.*, 2008) que la detección y caracterización de diversidad heredable presente en colecciones de germoplasma es importante para programas de mejoramiento y para

la ampliación de la base genética de las poblaciones incluidas para este fin.

Scarracia-Mugnozza y Perrino (2002) anotaron que la investigación en diversas disciplinas científicas, importantes para los recursos genéticos, ha permitido el desarrollo de metodologías refinadas que permiten a los genetistas y biotecnólogos manejar sus programas con mayor eficiencia. En conexión con lo anterior, Brown y Hodgkin (2007) señalaron que la era de la biología molecular suministra herramientas nuevas y medios para entender la diversidad genética y sus niveles fundamentales, lo que parte del uso de marcadores moleculares, con desarrollos recientes que brindan perspectivas al respecto y nuevas formas de manejar los recursos genéticos vegetales, como son los polimorfismos de nucleótido simple (SNP), el análisis filogenético y la genómica funcional. Esta última permite conocer la fracción expresable del genoma, o sea aquella que es funcionalmente importante, para lo cual la técnica de los microarreglos ha brindado un procedimiento adecuado (Aharoni y Vorst, 2001; Peackoc y Chaudhury, 2002).

Con relación a los animales, Talle y colaboradores (2005) informaron que la conciencia sobre el valor de los recursos genéticos ha estimulado el estudio de la diversidad heredable de razas locales, las cuales pueden ser caracterizadas usando información fenotípica y genotípica para priorizar la conservación y que la variabilidad observada es influida por la biología y las circunstancias por las cuales pasan los animales, incluyendo migración, tamaño poblacional y selección. Estos autores señalaron que la producción pecuaria depende de un complejo de especies domesticadas, cuya diversidad genética es requerida para cumplir con las necesidades de producción en diversos ambientes, con el fin de permitir el mejoramiento genético y facilitar la adaptación a cambios en los objetivos del mejoramiento. En este contexto, se ha señalado que la sostenibilidad de la producción pecuaria depende de la diversidad de los animales (Goldstein *et al.*, 1999; Loftus *et al.*, 1999), y añaden Talle y colaboradores (2005) que aun cuando una proporción elevada de las razas está en peligro de extinción, los recursos para su conservación son aún limitados, por lo cual las especies, en

general, y las razas, en particular, deben ser caracterizadas para priorizar su valor de conservación.

La caracterización fenotípica ha sido empleada tradicionalmente para la descripción de las razas, pero uno de los desafíos asociados con el proceso es la combinación de las medidas, con el fin de brindar una herramienta útil para su descripción; por ello, la clasificación de la diversidad de los animales, basada en observaciones fenotípicas, se ha complementado con análisis del genoma (Talle *et al.*, 2005). En este sentido, las primeras determinaciones de la variación genómica se focalizaron en el análisis de la variación de las proteínas y el tipo sanguíneo, usando electroforesis o metodologías inmunológicas (Schlötterer, 2004) con empleo actual de nuevas tecnologías para esta finalidad (Morin *et al.*, 2004; Schlötterer, 2004). Al respecto, Sancristóbal y colaboradores (2006) indicaron que el empleo de marcadores de ADN para evaluar la diversidad heredable es un componente importante para el manejo de los recursos genéticos animales.

También se ha indicado (Piyasatian y Kinghorn, 2003) que la conservación de los recursos genéticos animales, con relación a su utilización, debe considerar el tamaño poblacional de los conjuntos a mantener, lo cual podría conducir a entrecruzamientos entre razas relacionadas, para reducir la endogamia y los riesgos de extinción de grupos locales. Otro criterio es tomar en consideración la presencia de atributos de valor, particularmente de aquellos relacionados con la adaptación a los ambientes en los cuales se van a utilizar los animales (Piyasatian y Kinghorn, 2003).

Con relación a la utilización de los microorganismos en los agroecosistemas, se ha indicado que la biota del suelo representa una porción importante de la diversidad biológica, la que contribuye significativamente al bienestar humano por su papel en la producción de bienes y servicios que incluyen productos agrícolas, regulación del clima y calidad del agua subterránea (Brown *et al.*, 2007). Pese a lo anterior, existe un gran desconocimiento sobre este conjunto de especies y son generalmente ignoradas en las evaluaciones científicas de la bio-

diversidad y en el desarrollo de sistemas productivos, lo cual es crítico por sus nexos estrechos con los organismos que se encuentran por encima de la superficie del suelo, en especial las plantas. Por ello, se ha anotado que el conocimiento y la utilización de los microorganismos en agroecosistemas es uno de los desafíos importantes en el siglo actual (Brown *et al.*, 2007). Para esto se han creado herramientas modernas que permiten conocer la variabilidad aprovechable de este conjunto de especies, como la construcción de librerías metagenómicas (Hao-Xing *et al.*, 2008). La investigación reciente en ecología molecular ha demostrado que la mayoría de los microorganismos son refractarios al cultivo y deben de contener un potencial de desarrollo ilimitado de genes nuevos (Pace, 1997); por eso la metagenómica brinda una alternativa importante para investigar lo anterior (Handelsman, 2004).

En el campo del conocimiento de la variabilidad de microorganismos benéficos asociados con plantas, Picard y Bosco (2008) indicaron que se han estudiado desde la óptica fenotípica y genotípica diversas especies de ellos que colonizan las raíces -brindando control de patógenos vegetales- llamados "microorganismos probióticos de las plantas" (Haas y Keel, 2003). Picard y Bosco (2008) agregaron que técnicas como RAPD o rep-PCR son apropiadas para medir la diversidad interespecífica y que la variabilidad genotípica y fenotípica podría servir para su asociación con la localización geográfica, el clima, el tipo de suelo, el manejo de éste y las interacciones con otros microorganismos del suelo y plantas hospederas. Este es un ejemplo de que procedimientos complementarios pueden ayudar a la promoción de los microorganismos benéficos para los agroecosistemas, con base en su identificación y conocimiento.

Lozupone y Knight (2008) indicaron que la medición de la diversidad es importante para comprender la estructura y la dinámica de las poblaciones -lo cual es un desafío en el caso de los microorganismos- y que la caracterización de comunidades de esta índole mediante el empleo de subunidades pequeñas de secuencias de genes rRNA (SSU RNA) ha revelado una variabilidad amplia no sospechada, la cual apenas comienza a

ser comprendida. Esto se ha potenciado por el desarrollo de datos de secuencias génicas de 16 sRNA disponibles públicamente (Margulies *et al.*, 2005).

Tilman y colaboradores (1999), respecto a la racionalidad del empleo efectivo de la diversidad en los agroecosistemas, indicaron que ésta es un componente de los ecosistemas complejos, y desempeña funciones vitales en todo los niveles. Es esencial la diversidad de microorganismos, plantas y animales para el aumento de la productividad vegetal y pecuaria, con base en las demandas de alimentos del futuro; la variabilidad genética adecuadamente empleada aumentará su dependencia por parte de los sistemas de producción. Señalaron la importancia de una serie de acciones que comprenden el desarrollo del concepto de agrosistema integral, el cual está relacionado con todos los aspectos de la naturaleza, la ampliación de uso de la diversidad agrícola, con sistemas de producción múltiples; el conocimiento adecuado de la diversidad, con documentación de los resultados para promover una utilización máxima de ésta; la utilización de procedimientos biotecnológicos como apoyo a procesos de mejoramiento animal y vegetal; el empleo de la diversidad de microorganismos benéficos y la implementación de sistemas de producción basados en uso amplio de la biodiversidad. A esto se adiciona el conocimiento de la oferta ambiental para unirlo a la oferta de diversidad disponible, con medición de las interacciones entre éstas y el estudio de las interrelaciones entre los componentes de la agrobiodiversidad en los sistemas productivos.

## CONCLUSIONES

La agrobiodiversidad es un bien estratégico de gran importancia para el desarrollo, lo cual se magnifica en los países megadiversos, como es el caso de Colombia.

La agrobiodiversidad en conservación debe ser caracterizada adecuadamente para darle valor agregado y promover su utilización en procesos productivos.

La utilización de la agrodiversidad cobra gran importancia en el desarrollo del nuevo paradigma de producción sostenible; es primordial integrar la oferta



ambiental con la oferta genética y estudiar el manejo de los sistemas según enfoques de diversidad genética amplia y la interacción entre los componentes de la agrobiodiversidad.

Lo anterior implica privilegiar la estabilidad (adaptabilidad específica), con el fin de garantizar rendimientos no fluctuantes por localidad y el manejo de agroecosistemas con diversidad genética, lo cual disminuye la vulnerabilidad ante factores exógenos.

El empleo sostenible de la diversidad debe vincularse a procesos biotecnológicos para hacerlo más eficiente.

Es importante desarrollar una visión integral de la agrobiodiversidad para el manejo de agroecosistemas sostenibles.

#### REFERENCIAS

- Aharoni A, Vorst O. 2001. DNA microarrays for functional plant genomics. *Plant Molecular Biology* 48(1-2): 99-118.
- Altieri MA. 2002. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and the Environment* 93(1-3): 1-24.
- Araus JL, Ferrio JP, Buxo R, Voltas J. 2007. The historical perspective of dryland agriculture: lessons learned from 10.000 years of wheat cultivation. *Journal of Experimental Botany* 58(2): 131-145.
- Barker T. 2008. The economics of avoiding dangerous climate change. An editorial essay on *The Stern Review*. *Climatic Change* 89(3-4): 173-194.
- Bazeley P, Holden S, Ashley S. 1999. Livestock in Poverty-focused Development, *Crewkerne, Somerset, Livestock in Development*, 96 p.
- Brookfield H, Stocking M. 1999. Agrodiversity: definition, description and design. *Global Environmental Change* 9: 77-80.
- Broudicou L, Jouany JP. 1995. Reassessing the manipulation of protein synthesis by rumen microbes. *Reproduction, Nutrition, Development* 35(5): 517-535.
- Brown WM. 2003. Intellectual property law: a primer for scientists. *Molecular Biotechnology* 23(3): 213-224.
- Brown AHD, Hodgkin T. 2007. Measuring, managing and maintaining crop genetic diversity on farm. En: *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*. Jarvis DI, Padoch C, Cooper HD (eds.), New York, Bioversity International, Columbia University Press, p. 13-33.
- Brown G, Swift MJ, Bennack DE, Bunning S, Montañez A, Brussaard L. 2007. Management of soil biodiversity in agricultural ecosystems. En: *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*. Jarvis DI, Padoch C, Cooper HD. (eds.). New York, Bioversity International, Columbia University Press, p. 224-268.
- Brush SB. 2000. The issues of in situ conservation of crop genetic resources. En: Brush SB. (ed.) *Genes in the Field. On-Farm Conservation of Crop Diversity*. IPGRI, IDRC. Lewis Publishers, p. 3-26.
- Brussaard L, De Ruiter PC, Brown GG. 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121(3): 233-244.
- Brussaard L, Behan-Pelletier VM, Bignell DE, Brown BK, Didden W, Folgarait P, Fragoso C, Wall-Freckman D, Gupta VVSR, Hattori T, Hawsworth DL, Klopatek C, Lavalle P, Malloch DW, Rusek J, Söderström B, Tiedje JM, Virginia RA. 1997. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio* 26: 563-570.
- Caballero L, Martin LM, Alvarez JB. 2007. Agrobiodiversity of hulled wheat in Asturias (North of Spain). *Genetic Resources and Crop Evolution* 54(2): 267-277
- Cahoon RS. 2000. Property rights and agricultural biotechnology. En: Hrazdina G. (ed.) *Use of Agriculturally Important Genes in Biotechnology*. Amsterdam, IOS Press, p. 203-215.
- Ceccarelli SS. 1994. Specific adaptation and breeding for marginal conditions. *Euphytica* 77(3): 205-219.
- Childe VG. 1952. *New light on the most ancient east*. London, UK. Routledge and Kegan Paul, 258 p.
- Colebatch G, Trevaskis B, Udvardi M. 2002. Symbiotic nitrogen fixation research in the postgenomics era. *New Phytologist* 153(1): 37-42.
- Conferencia Internacional y Programa sobre los Recursos Genéticos (CIPRF). 1996. Informe de los países de América del Sur. Colombia, 90 p.
- Cotes AM. 2000. Importancia de los recursos genéticos microbianos. *Corpoica. Documento de trabajo*.
- Cox TS, Wood D. 1999. The nature and role of crop biodiversity. En: Wood D, Lenne JM. (eds.). *Agrobiodiversity: Characterization, Utilization and Management*. Wallingford, UK. CABI Publishing, p. 35-58.
- Crossa J, Franco J. 2004. Statistical methods for classifying genotypes. *Euphytica* 137(1): 19-37.
- Daily GC. 1997. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington D.C., Island Press.
- Dávalos LM, Robin R, Sears RR, Raygorodetsky G, Simmons BL, Cross H, Grant T, Barnes T, Putzel L, Porzecanski AL. 2003. Regulating access to genetic resources under the Convention on Biological Diversity: an analysis of selected case studies. *Biodiversity and Conservation* 12(7): 1511-1524.
- Dawson JC, Murphy KM, Jones SS. 2008. Decentralized selection and participatory approaches in plant breeding for low-input systems. *Euphytica* 160(2): 143-154.
- Day-Rubenstein K, Heisey P. 2001. Crop Genetic Resources Chapter 3.2. En: *Agricultural Resources and Environmental Indicators: Crop Genetic Resources*, AH 722. United States Department of Agriculture, Economic Research Service, 21 p.
- Department of the Environment, Sport and Territories (DEST) 1998. Biodiversity and its value. En: [http://kaos.erin.gov.au/life/general\\_info/op1.html](http://kaos.erin.gov.au/life/general_info/op1.html)
- Duvick DN. 1984. Genetic diversity in major farm crops on the farm and in reserve. *Economic Botany* 38(2): 161-178.
- Edwards JE, Huws SA, Kim EJ, Lee MRF, Kingston-Smith AH, Scollan ND. 2008. Advances in microbial ecosystem concepts and their consequences for ruminant agriculture. *Animal* 2(5): 653-660.
- European Environmental Agency. 2005. Information for Improving Europe's Environment. En: <http://www.biochem.northwestern.edu/holmgren/Glossary/Definitions/Def-B/biodiversity.html> consulta: 31 de octubre 2008.
- Fagerlin L. 2003. Report from WIPO-UPOV Symposium on the Co-Existence of Patents and Plant Breeders' Rights in the Promotion of Biotechnological Developments En: *Fédération Internationale des Conseils en Propriété Industrielle* <http://www.ficpi.org/library/berlinCET/CET-1503.doc>, consulta: 31 de octubre de 2008.
- Food and Agriculture Organization. 1995. Report of the Sixth Session of the Commission on Plant Genetic Resources, June 19-30, 1995, Document CPGR-6/95 REP. Roma, FAO.
- Food and Agriculture Organization. 1996a. Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Leipzig, Germany, June 17-23, 1996. Roma, FAO, 75 p.
- Food and Agriculture Organization. 1996b. Global Plan of Action for the Conservation and Sustainable Utilization of Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Leipzig, Germany, June 17-23, 1996. Roma, FAO, 63 p.
- Food and Agriculture Organization. 2007. Plan Mundial de Acción sobre los Recursos Zootenéticos y la Declaración de Interlaken.

- Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. Roma, FAO.
- Fowler C. 1994. Unnatural Selection: Technology, Politics, and Plant Evolution. Series: International Studies in Global Change. Vol. 6. Gordon and Breach Science Publishers, 317 p.
- Frey M, Becker K. 2004. Agro-biodiversity in subsistence-oriented farming systems in a Philippine upland region: nutritional considerations. *Biodiversity and Conservation* 13(8): 1591-1610.
- Frey-Klett P, Garbaye J, Tarkka M. 2007. The mycorrhiza helper bacteria revisited. *New Phytologist* 176(1): 22-36.
- Frisvold GF, Condon PT. 1998. The convention on biological diversity and agriculture: implications and unresolved debates. *World Development* 26(4): 551-570.
- Fuller R. 1989. Probiotics in man and animals. *Journal of Applied Bacteriology* 66(5): 365-378.
- Galeano G, Suárez S, Balslev H. 1998. Vascular plant species in a wet forest in the Chocó area on the Pacific coast of Colombia. *Biodiversity and Conservation* 7(2): 1563-157
- Gentry AH. 1986. Species richness and floristic composition of Chocó region plant communities. *Caldasia* 15: 71-79.
- Gentry AH. 1993. Riqueza de especies y composición florística de las comunidades de plantas de la región del Chocó: una actualización. En: Leyva P. (ed.) Colombia Pacífico, tomo I. Bogotá, FEN-COLOMBIA, p. 201-219.
- Gepts P. 2002. A comparison between crop domestication, classical plant breeding and genetic engineering. *Crop Science* 42: 1780-1790.
- Gibson JP, Ayalew W, Hanotte O. 2007. Measures of Diversity as Inputs for Decisions in Conservation of Livestock Genetic Resources. En: Jarvis DI, Padoch C, Cooper HD. (eds.) *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*. New York. Bioersity International. Columbia University Press, p. 117-140.
- Gill SR, Pop M, Deboy RT, Eckburg PB, Tumbaugh PJ, Samuel BS, Gordon JJ, Relman DA, Fraser-Liggett CM, Nelson KE. 2006. Metagenomic analysis of the human distal gut microbiome. *Science* 312(5778): 1355-1359.
- Giller KE, Beare MH, Lavelle P, Izac AMN, Swift MJ. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Applied Soil Ecology* 6(1): 3-16.
- Gliessman S. 1998. *Agroecology: The Ecological Basis of Sustainable Agriculture*. Chelsea, Michigan, Ann Arbor Press.
- Gliessman SR. 2007. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable agriculture*. 2nd ed. Boca Raton, FL., Lewis Publisher, 357 p.
- Goldstein DB, Roemer GW, Smith DA, Reich DE, Bergman A, Wayne RK. 1999. The use of microsatellite variation to infer population structure and demographic history in a natural model system. *Genetics* 151(2): 797-801.
- Gotor E, Alercia A, Ramanatha Rao V, Watts J, Caracciolo F. 2008. The scientific information activity of Bioersity International: the descriptor lists. *Genetic Resources and Crop Evolution* 55(5): 757-772.
- Guo B, Wang Y, Sun X, Tang K. 2008. Bioactive Natural Products from Endophytes: A Review. *Applied Biochemistry and Microbiology* 44(2): 136-142.
- Haas D, Keel C. 2003. Regulation of antibiotic production in root-colonizing *Pseudomonas* spp. and relevance for biological control of plant disease. *Annual Review of Phytopathology* 41: 117-153.
- Hågvar S. 1998. The relevance of the Rio Convention on Biodiversity to conserving the biodiversity of soils. *Applied Soil Ecology* 9(1): 1-7.
- Hamilton C. 2006. Biodiversity, biopiracy and benefits: what allegations of biopiracy tell us about intellectual property. *Developing World Bioethics* 3(3): 158-173.
- Hammer K, Arrowsmith N, Glasdis T. 2003. Agrobiodiversity with emphasis on plant genetic resources. *Naturwissenschaften* 90(6): 241-250.
- Hammer K, Heller H, Engels J. 2001. Monographs on underutilized and neglected crops. *Genetic Resources and Crop Evolution* 48(1): 3-5.
- Handelsman J. 2004. Metagenomics: application of genomics to uncultured microorganisms. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 68(4): 669-685.
- Hao-Xin W, Zhao-Liang G, Ying Z, Yue-Mao S. 2008. Enriching plant microbiota for a metagenomic library construction. *Environmental Microbiology* 10(10): 2684-2691.
- Hendrickson JR, Hanson JD, Tanaka D, Sassenrath G. 2008. Principles of integrated agricultural systems: Introduction to processes and definition. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23: 265-271.
- Hirsch PR. 2004. Release of transgenic bacterial inoculants - rhizobia as a case study. *Plant and Soil* 266(1-2): 1-10.
- Hoffmann I. 2007. Management of Farm Animal Genetic Resources: Change and Interaction. En: Jarvis DI, Padoch C, Cooper HD. *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*. New York. Bioersity International, Columbia Press University, p. 141-180.
- Huang J, Pray C, Rozelle S. 2002. Enhancing the drops to feed the poor. *Nature* 418: 678-684.
- International Plant Genetic Resources Institute. 2004. International Law of relevance to Plant Genetic Resources: A practical review for scientists and other professionals working with plant genetic resources. *Issues in Genetic Resources* No. 10. (Brangdon S. edit.), Roma, IPGRI, 124 p.
- International Plant Genetic Resources Institute. 2005. Global Facilitation Unit for Underutilized Species, GFAR; M.S. Swaminathan Research Foundation, MSSRF. *La agrobiodiversidad y la erradicación del hambre y la pobreza, cinco años después*. Plataforma de Chennai para la Acción. IPGRI, GFAR, MSSRF, sp.
- Ishikawa R, Yamanaka S, Kanyavong K, Fukuta Y, Sato YI, Tang L, Sato T. 2002. Genetic resources of primitive upland rice in Laos. *Economic Botany* 56(2): 192-197.
- Jana S. 1999. Some recent issues on the conservation of crop genetic resources in developing countries. *Genome* 42: 562-569.
- Jarvis DI, Padoch C, Cooper HD. 2007. Biodiversity, Agriculture and Ecosystem Services. En: Jarvis DI, Padoch C, Cooper HD. (eds.) *Managing Biodiversity in Agricultural Ecosystems*. New York, Bioersity International. Columbia University Press, p.1-12.
- Khoshbakht K, Hammer K. 2008. How many plant species are cultivated? *Genetic Resources and Crop Evolution*. 55(7): 925-928.
- King AB, Eizaguirre PB. 1999. Intellectual property rights and agricultural biodiversity: Literature addressing the suitability of IPR for the protection of indigenous resources. *Agriculture and Human Values* 16(1): 41-49.
- Leake J, Johnson D, Donnelly D, Muckle G, Boddy L, Read D. 2004. Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. *Canadian Journal of Botany* 82(8): 1016-1045.
- Liebman M, Davis AS. 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Research* 40(1): 27-47.
- Lobo M. 1998. Consideraciones para la elaboración de una lista de acceso facilitado en el marco del Compromiso Internacional de Recursos Fitogenéticos. Corpoica. Documento de trabajo.
- Lobo M. 2000. Agrobiodiversidad in Colombia. En: Colombia-Germany. A Scientific Alliance Endowed with Tradition and Future. Colciencias. Working Document, p. 47-60.
- Loftus RT, Ertugrul O, Harba AH, El-Barody MAA, Machugh DE, Bradley DG. 1999. A microsatellite survey of cattle from a centre of origin: the Near East. *Molecular Ecology* 8(12): 2015-2022.
- Lozupone CA, Knight R. 2008. Species divergence and the measurement of microbial diversity. *FEMS Microbiology Reviews* 32(4): 557-578.

- MacKey J. 2005. Wheat: its concept, evolution and taxonomy. En: Royo C, Nachit MM, Di Fonzo N, Araus JL, Pfeiffer WH, Slafer GA, eds. Durum wheat breeding. Current approaches and future strategies. Binghamton, NY. The Harworth Press, p. 3-61.
- Mäder P, Fließbach A, Dubois D, Gunst L, Fried P, Niggli U. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296(5573): 1694-1697.
- Main AR. 1999. How much biodiversity is enough? *Agroforestry Systems* 45(1-3): 23-41.
- Margulies M, Egholm M, Altman WE. 2005. Genome sequencing in microfabricated high-density picolitre reactors. *Nature* 437(7057): 376-380.
- Martínez R. 2000. La importancia de la variabilidad genética animal en la agricultura tropical. Corpoica, Programa Nacional de Recursos Genéticos y Biotecnología Animal. Documento de trabajo.
- Maxted N, Guarino L, Myer L, Chiwona EA. 2002. Towards a methodology for on-farm conservation of plant genetic resources. *Genetic Resources and Crop Evolution* 49(1): 31-46.
- Moore AMT, Hillman GC, Legge AJ. 2000. Village on the Euphrates, from foraging to farming at Abu Hureyra. Oxford, UK. Oxford University Press, 590 p.
- Morin PA, Luikart G, Wayne RK. 2004. SNPs in ecology, evolution and conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 19(4): 208-216.
- National Research Council Board on Agriculture. 1993. Managing Global Genetic Resources: Agricultural Crop Issues and Policies. Washington D.C. National Academy Press, 499 p.
- Navon A, Ascher K. 2000. Bioassays of *Bacillus thuringiensis* Products Used against Agricultural Pests. En: Navon A, Ascher KRS (eds.) Bioassays of Entomopathogenic Microbes and Nematodes. Wallingford, UK, CABI Publishing International, p. 1-24.
- Nielsen KB, Kjølner R, Olsson PA, Schweiger PF, Andersen FØ, Rosendahl S. 2004. Colonization intensity and molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the aquatic plants *Littorella uniflora* and *Lobelia dortmanna* in southern Sweden. *Mycological Research* 108: 616-625.
- Ohara M, Shimamoto Y. 2002. Importance of genetic characterization and conservation of plant genetic resources: The breeding system and genetic diversity of wild soybean (*Glycine soja*). *Plant Species Biology* 17(1): 51-58.
- Olasantan FO. 1999. Food production, conservation of crop plant biodiversity and environmental protection in the twenty-first century: the relevance of tropical cropping systems. *Outlook on Agriculture* 28(2): 93-102.
- Omer A, Pascual U, Russell N. 2007. Biodiversity Conservation and Productivity in Intensive Agricultural Systems. *Journal of Agricultural Economics* 58(2): 308-329.
- Organización de las Naciones Unidas. 1992. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Convenio sobre Diversidad Biológica. En: Convention on Biological Diversity, <http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>; consulta: 17 de mayo, 2008.
- Pace NR. 1997. A molecular view of microbial diversity and biosphere. *Science* 276(5313): 734-740.
- Pascual U, Perrings C. 2007. Developing incentives and economic mechanisms for *in situ* biodiversity conservation in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121(3): 256-268.
- Pattison J, Drucker AG, Anderson S. 2007. The cost of conserving livestock diversity? Incentive measures and conservation options for maintaining indigenous pelón pigs in Yucatan, Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 39(5): 339-353.
- Peacock J, Chandhury A. 2002. The impact of gene technologies on the use of genetic Resources. En: Engels JMM, Rao VR, Brown AHD, Jackson MT.) Managing Plant Genetic Diversity. Wallingford, UK. CABI Publishing International, p. 33-42.
- Peroni N, Hanazaki N. 2002. Current and lost diversity of cultivated varieties, especially cassava, under swidden cultivation systems in the Brazilian Atlantic forest. *Agriculture, Ecosystems and the Environment* 92(2): 171-183.
- Picard C, Bosco M. 2008. Genotypic and phenotypic diversity in populations of plant-probiotic *Pseudomonas* spp. colonizing roots. *Naturwissenschaften* 95: 1-16.
- Pimbert M. 1999. Sustaining the Multiple Functions of Agricultural Biodiversity: Background Paper 1: Agricultural Biodiversity. FAO/Netherlands Conference on the Multifunctional Character of Agriculture and Land, 41 p.
- Pingali P. 2007. Agricultural growth and economic development: a view through the globalization lens. *Agricultural Economics* 37(1): 1-12.
- Piyasatian N, Kinghorn BP. 2003. Balancing genetic diversity, genetic merit and population viability in conservation programmes. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 120(3): 137-149.
- Qualset CO, McGuire PE, Wargurton ML. 1995. Agrobiodiversity: key to agricultural productivity. *California Agriculture* 49(6): 45-49.
- Raoult D. 2008. Obesity pandemics and the modification of digestive bacterial flora. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases* (8): 631-634.
- Read DJ. 1991. Mycorrhizas in ecosystems. *Experientia* 47(4): 376-390.
- Rosendahl, S. 2008. Communities, populations and individuals of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 178(2): 253-266.
- Roth D, Warner J. 2008. Virtual water: Virtuous impact? The unsteady state of virtual water. *Agriculture and Human Values* 25(2): 257-270.
- Sancristóbal M, Chevalet C, Peleman J, Heuven H, Brugmans B, Van Schieek M, Joosten R, Rattink AP, Haelizius B, Groenen MAM, Amigues Y, Boscher MY, Russell G, Law A, Davoli R, Russo V, Desautes C, Alderson L, Fimland A, Bagga M, Delgado JV, Vega-Pla JL, Martínez AM, Ramos M, Glodek P, Meyer JN, Gandini G, Matassino D, Siggens K, Laval G, Archibald A, Milan D, Hammond K, Cardellino R, Haley C, Plastow G. 2006. Genetic diversity in European pigs utilizing amplified fragment length polymorphism markers. *Animal Genetics* 37(3): 232-238.
- Scarrascia-Mugnozza GT, Perrino P. 2002. The history of *ex situ* conservation and use of plant genetic resources. En: Engels JMM, Ramantha Rao V, Brown AHD (eds.). Managing Plant Genetic Diversity IPGRI. Wallingford, UK, CABI Publishing, p. 1-22.
- Scherf B. 2000. World Watch List for Domestic Animal Diversity, 3<sup>rd</sup> ed., Roma, FAO/UNDP, Food & Agriculture Organization of the UN.
- Schlötterer C. 2004. The evolution of molecular markers: just a matter of fashion? *Nature Reviews* 5(1): 63-69.
- Schröder S, Begemann F, Harrer S. 2007. Agrobiodiversity monitoring - documentation at European level. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 2<sup>nd</sup> Supplement 1: 29 - 32.
- Sessitsch A, Howieson JG, Perret X, Antoun H, Martínez-Romero E. 2002. Advances in Rhizobium Research. *Critical Reviews in Plant Sciences* 21(4): 323-378.
- Shand H. 1997. Human Nature: Agricultural Biodiversity and Farm-Based Food Security. RAFI, 93 p.
- Simard SW, Durall D, Jones M. 2002. Carbon and nutrient fluxes within and between mycorrhizal plants. *Mycorrhizal ecology. Ecology Studies* 157: 33-74.
- Singh RB. 2000. Environmental consequences of agricultural development: a case study from the Green Revolution state of Haryana, India. *Agriculture, Ecosystems and the Environment* 82(1-3): 97-103.
- Smale M, Hartell J, Heisley PW, Senauer B. 1998. The contribution of genetic resources and diversity to wheat production in the Punjab of Pakistan. *American Journal of Agricultural Economics* 80(3): 482-493.

- Smith RG, Gross KL, Robertson GP. 2008. Effects of Crop Diversity in Agroecosystem Function: Crop Yield Response. *Ecosystems* 11(3): 355-366.
- Talle SB, Chenyabuga WS, Fimland E, Syrstad O, Meuwissen T, Klungland H. 2005. Use of DNA technologies for the conservation of animal genetic resources: A review. *Acta Agriculturae Scandinavica Section A* 55(1): 1-8.
- Tanno K, Willcox G. 2006. How fast was wild wheat domesticated? *Science* 311(5769): 1886 p.
- Thrupp LA. 2000. Linking agricultural biodiversity and food security: the valuable role of agrobiodiversity for sustainable agriculture. *International Affairs* 76(2): 265-281.
- Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677.
- Tilman GD, Duvick DN, Brush SB, Cook RJ, Daily GC, Naeem S, Notter D. 1999. Benefits of Biodiversity. Council for Agricultural Science and Technology. Council for Agricultural Science and Technology. CAST. Ames, Iowa.
- United Nations Environmental Programme (UNEP). 1995. Global Biodiversity Assessment. Summary for Policy Makers. Cambridge, Cambridge University Press, 46 p.
- Van Wingaarden W, Fandiño-Lozano M. 2005. Mapping the actual and original distribution of the ecosystems and the chorological types for conservation in Colombia. *Diversity and Distributions* 11(5): 461-473.
- Vandermeer J, Noordwijk M, Anderson J, Ong C, And Perfecto I. 1998. Global change and multispecies agroecosystems: concepts and issues. *Agriculture, Ecosystems and the Environment* 67(1): 1-22.
- Varshney RK, Salem KFM, Baum M, Roder MS, Graner A, Börner A. 2008. SSR and SNP diversity in a barley germplasm collection. *Plant Genetic Resources: Characterization and Utilization* 6(2): 167-174.
- Wall DH, Moore JC. 1999. Interactions underground: Soil biodiversity, mutualism, and ecosystem processes. *BioScience* 49(2): 109-117.
- Windhorst HW. 2007. Bio-energy production - a threat to the global egg industry? *World's Poultry Science Journal* 63: 365-379.
- Zhu Y, Chen H, Fan J, Wang Y, Li Y, Chen J, Fan J, Yang S, Hu L, Leung H, Mew T, Teng PS, Wang Z, Mundt CC. 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406(6797): 718-722.
- Zimmerer KS. 2007. Agriculture, livelihoods, and globalization: The analysis of new trajectories (and avoidance of just-so stories) of human-environment change and conservation. *Agriculture and Human Values* 24(1): 9-16.