

## CONTENIDO

	Pág.
<b>Alimentos y combustibles para todos: Objetivo real o inalcanzable</b> .....	1
<b>Desarrollo tecnológico en el uso de fertilizantes</b> .....	6
<b>Fosfito: Qué es? Se puede usar? Qué puede hacer?</b> .....	12
<b>Reporte de Investigación Reciente</b> .....	15
- Eficiencia y distribución del nitrógeno aplicado en banda al maíz intercalado en <i>Brachiaria ruziziensis</i> cultivada en el sistema Santa Fe	
<b>Cursos y Simposios</b> .....	15
<b>Publicaciones Disponibles</b> .....	16
<b>Editor: Dr. José Espinosa</b>	

*Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se citen la fuente y el autor.*



## ALIMENTOS Y COMBUSTIBLES PARA TODOS: Objetivo Real o Inalcanzable

Kenneth Cassman<sup>1</sup> y Adam Liska<sup>2</sup>

### Introducción

En el año 2005, pocas personas hubiesen previsto la revolución actual de la agricultura. Por más de 50 años, el precio real de los principales productos alimenticios como maíz, trigo, arroz, azúcar, etc., se redujo constantemente debido al continuo mejoramiento de los métodos de producción agrícola y de mercadeo (Masoyer y Roudart, 2006). Sin embargo, el año pasado se observó un abrupto incremento de precio de éstos y otros productos a pesar de su abundante disponibilidad. Por ejemplo, en cada uno de los últimos tres años (2004-2006) la producción de maíz de los Estados Unidos fue la más grande de su historia, sin embargo, los precios del maíz se incrementaron drásticamente de 78 a 142 dólares t<sup>-1</sup> en Diciembre de 2006. El dramático incremento en precio se debe a la marcada demanda de maíz para satisfacer las crecientes necesidades de la industria de producción de etanol. Por esta razón, los precios de los productos agrícolas se determinan ahora por su valor como materia prima para la producción de biocombustible y por su valor para la alimentación humana y animal (CAST, 2006).

### Razones de los cambios

El rápido incremento de los precios del petróleo es la principal razón del incremento de los precios de los productos agrícolas. Los precios del petróleo se han incrementado debido a la inestabilidad política en las principales zonas de producción del mundo y a la creciente y rápida demanda de China, India y otros países en vías de desarrollo. Se espera que el precio del petróleo se mantenga en un rango de 53 a 63 dólares por barril hasta el año 2010 (DOE-EIA, 2006). A precios superiores a 50 dólares por barril es rentable producir etanol de maíz sin subsidios (CAST, 2006). La tendencia actual de incrementar los rendimientos de los cultivos, de lograr mayor eficiencia de uso de los fertilizantes, de mejorar los diseños en las plantas productoras de biocombustibles y de usar los subproductos del proceso puede incrementar más aún la rentabilidad de la producción de biocombustibles. En respuesta a estas condiciones existe una rápida expansión de la capacidad de producción de biocombustibles en los Estados Unidos, Brasil, Colombia, Europa y varios países en el sureste Asiático. Los cultivos que se utilizan para la producción

1 El Dr. Cassman es director del Centro de Investigación en Ciencias Energéticas de la Universidad de Nebraska, Lincoln, Estados Unidos. [kcassman1@unl.edu](mailto:kcassman1@unl.edu)

2 El Dr. Liska es profesor del Departamento de Agronomía y Horticultura de la Universidad de Nebraska, Lincoln, Estados Unidos.

de biocombustibles incluyen cultivos de grano (maíz, sorgo, trigo), cultivos que producen azúcar (caña de azúcar, sorgo dulce, remolacha azucarera), cultivos que producen almidón (yuca) y cultivos que producen aceite (soya, palma aceitera, canola).

En los Estados Unidos, por ejemplo, la producción de etanol del grano de maíz fue de 15 billones de litros en el año 2005 y esta producción requirió de 36 millones de toneladas de grano, alrededor de 13% de la producción total de maíz (RFA, 2006). La ley de política energética de los Estados Unidos obliga a la producción de 28 billones de litros de etanol para el año 2012, sin embargo, la tasa actual de expansión de la producción sugiere que se sobrepasará esta meta debido a que las biorefinerías siguen apareciendo en el cinturón maicero Norteamericano. Una estimación reciente predice que la producción de etanol de los Estados Unidos llegará a 37 billones de litros en el año 2010, lo que requerirá alrededor del 30% de la producción de maíz del país, asumiendo un incremento de 10% en el área de producción y las tendencias en incremento del rendimiento por unidad de área (FAPRI, 2006). Indonesia y Malasia planean dedicar 40% de su producción de palma a la producción de biodiesel (Biopact, 2006) y estos dos países mantienen el 88% de las exportaciones globales de aceite de palma (FAOSTAT, 2006). Si esto sucede, se reducirá el suplemento de este aceite vegetal de relativo bajo costo en el mercado mundial, a menos que exista una gran expansión en el área cultivada con palma aceitera.

Otros factores que promueven la expansión de la producción de biocombustibles son su contribución al desarrollo económico, especialmente en las áreas rurales, y los beneficios ambientales. Se espera que el crecimiento de la industria de etanol de maíz en los Estados Unidos durante el periodo del año 2005 al 2012 incremente el Producto Interno Bruto en 200 billones de dólares por efectos económicos directos e indirectos (RFA, 2006). Debido a que los precios más altos de los granos contribuyen a un más alto ingreso en la finca, existe el potencial de reducir los subsidios a la producción de maíz en los países desarrollados, lo que mejorará las relaciones comerciales con los países en vías de desarrollo, que ven en la reducción de subsidios una precondition para tratados de comercio más justos (Schmitz et al., 2006). Finalmente, se considera que la substitución de gasolina por biocombustibles tiene un efecto ambiental positivo al mejorar la posibilidad de reducir la emisión de gases invernadero. Aún cuando las estimaciones de la reducción de gases invernadero varían, los estudios más completos indican que existe una reducción neta de entre 13 y 35% con la producción de etanol de maíz (Farrell et al., 2006; Wang et al., 1999). Más aún, existe un tremendo potencial de hacer que esta tasa de esta reducción sea más alta con la

adopción de prácticas de manejo del cultivo y del suelo que sean ambientalmente más amigables y también a través del mejoramiento del diseño de las plantas de etanol (CAST, 2006).

Han existido críticas a las políticas que promueven la producción de biocombustibles de cultivos que se consumen como alimentos, debido a que solamente una pequeña parte del requerimiento global de combustibles puede ser reemplazado por biocombustibles sin causar un inaceptable incremento en los precios de los alimentos (Hill et al., 2006; The Economist, 2007). Sin embargo, el reemplazo de solamente 10% de combustibles derivados del petróleo sería un importante componente de una amplia estrategia de substitución que incluya también otras fuentes de energía renovable como energía solar y eólica así como agresivas medidas tecnológicas para mejorar la eficiencia de uso de los combustibles de los vehículos. Por ejemplo, la producción anual de 60 billones de litros de etanol de maíz en los Estados Unidos, prevista posible por la Asociación Nacional de Cultivadores de Maíz (NCGA, 2006), representaría el reemplazo del 8% del consumo actual de gasolina, y considerablemente más si se promueve el uso de vehículos eficientes en combustible (estos cálculos toman en cuenta el menor contenido energético del etanol que es alrededor de 70% de la gasolina). Más aún, varios países en vías de desarrollo (Brasil, Colombia, Indonesia, Malasia y varios países africanos) serán capaces de substituir una mayor proporción de su uso de petróleo debido a los relativamente más pequeños niveles de consumo de combustibles y al substancial potencial de incrementar la producción de biocombustibles.

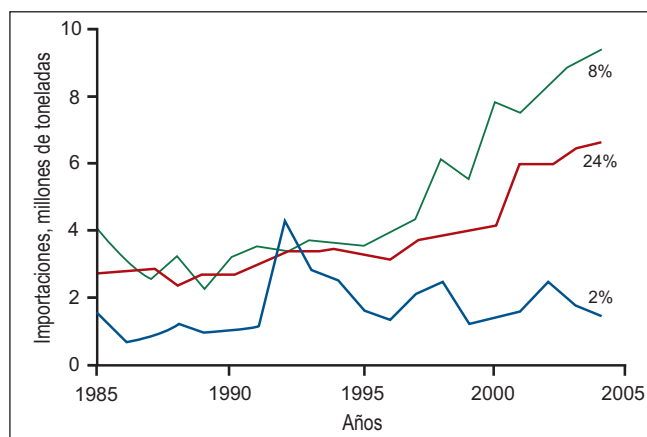
Teniendo en cuenta estas tendencias, el suplemento total de alimentos es el factor que determinará en última instancia cual sería la máxima capacidad de producción de biocombustibles sin causar escasez o precios más altos de los alimentos, lo que causaría mayor pobreza y hambre. La transición a la producción de etanol de celulosa proveniente de cultivos que no se usan para alimentos es una opción prometedora para reducir la competencia entre la producción de alimentos y biocombustibles, sin embargo, se considera que tecnologías rentables a gran escala para la producción, cosecha, transporte, almacenamiento y conversión a etanol, que son los prerequisites para la rápida expansión de la capacidad de producción del etanol de celulosa, está al menos a 7-10 años de llegar. Mientras tanto, la capacidad global de producción de biocombustibles a partir de cultivos usados como alimentos crecerá rápidamente. Por esta razón, el incremento en la productividad de los cultivos es un factor muy importante para satisfacer las demandas de alimentos y biocombustibles durante esta fase intermedia de incremento de la producción de éstos.

## Suplemento de alimentos y hambre

Los países en desarrollo que tienen suficiente tierra, agua e infraestructura para soportar la expansión de la industria pueden obtener beneficios económicos substanciales de esta revolución de los biocombustibles. La industria de producción de etanol de caña de azúcar representa 4.2 millones de empleos en Brasil (United Nations Conference on Trade and Development, 2006), mientras que se espera que la industria de biodiesel de aceite de palma en Indonesia cree 2.5 millones de plazas de trabajo en los próximos tres años (Biopact, 2006). Estas oportunidades de empleo son el soporte básico para el desarrollo económico, sin embargo, serán necesarias políticas apropiadas que promuevan la distribución equitativa de estos beneficios.

En contraste, existen más de 850 millones de personas mal alimentadas en el mundo, con la mayor proporción en India (212 millones), Sub-Sahara Africano (206), Sur y Sureste Asiático (152) y China (150) (FAO, 2006). La reducción de estas cifras a la mitad es un componente crítico de las Metas de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas. Aun cuando es ampliamente reconocido que la mayor parte de la inseguridad alimenticia es causada por la pobreza, asociada con fallas en las políticas públicas antes que por real escasez (Dréze y Sen, 1989), el amplio uso de cultivos alimenticios para la producción de biocombustibles puede promover el incremento de los precios, lo que a su vez incrementa los riesgos de hambre en las zonas pobres del mundo. Sin embargo, a plazo un poco más largo, los altos precios de los cultivos pueden motivar a los gobernantes en los países en desarrollo a hacer mayor inversión en investigación y educación agrícolas y en infraestructura rural, todos éstos factores necesarios para elevar la productividad de los cultivos, revirtiendo una tendencia de muchos años de poca o ninguna inversión en el sector. Esta inversión es especialmente importante para promover el desarrollo económico en países donde la mayoría de la población depende de la agricultura.

Las regiones que sufren de aguda escasez o que son importadores netos de alimentos son probablemente las que enfrenten, en el corto plazo, los mayores retos de seguridad alimentaria antes de que los mejores precios de los cultivos puedan estimular un renovado énfasis en el desarrollo agrícola. El Sub-Sahara Africano es particularmente vulnerable ya que depende fuertemente en las importaciones de grano (**Figura 1**) y ha visto incrementarse el número de personas mal nutridas en los últimos años (FAO, 2006). Aun cuando las importaciones de maíz son pequeñas en relación a las importaciones de arroz y trigo, los precios más altos de los cultivos utilizados para biocombustibles incrementarán indirectamente los precios de todos los productos agrícolas. Esto se debe a que los agricultores cambiarán



**Figura 1. Importaciones de grano del Sub-Sahara Africano: Maíz (azul), arroz (rojo) y trigo (verde). El porcentaje representa la porción de las exportaciones mundiales que ingresaron a la región en el año 2004 (FAOSTAT, 2006).**

una parte de la producción de cultivos de bajo rendimiento, como arroz y trigo, a cultivos de mayor rendimiento y más rentables para la producción de biocombustibles como maíz y caña de azúcar. Por esta razón, los países importadores deberán apresurarse a mejorar su propia producción agrícola a medida que los precios se incrementan y que los países exportadores tienen menos cantidad total de grano en almacenamiento para exportación y ayuda humanitaria.

## Capacidad de los cultivos para producir biocombustibles y alimentos – caso del maíz en los Estados Unidos

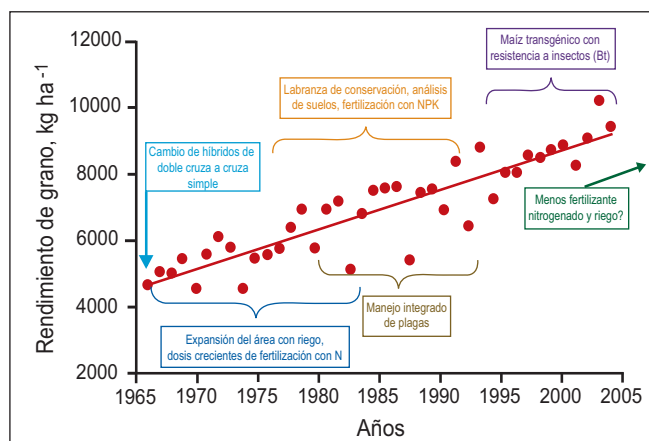
El gobierno de los Estados Unidos no anticipa tener problemas para satisfacer la demanda de maíz tanto para alimento y como para biocombustible. En una reciente conferencia el Secretario de Agricultura indicó que una importante compañía de semillas está desarrollando un maíz tolerante a la sequía que puede incrementar los rendimientos en áreas secas en un asombroso 40%, y que el material estaría listo en muy pocos años (Johanns, 2006). En la misma conferencia, el Director de Tecnología de Monsanto avaló el optimismo con respecto al desarrollo de este material de maíz resistente a la sequía y además predijo que el promedio del rendimiento de maíz en los Estados Unidos se duplicaría en una generación. Teniendo en cuenta que el promedio de rendimiento de maíz en los Estados Unidos es de alrededor de 9.2 t ha<sup>-1</sup>, se requeriría una tasa exponencial de 2.8% de incremento anual del rendimiento en los siguientes 30 años para lograr un promedio de rendimiento superior a las 18 t ha<sup>-1</sup>. Esta visión optimista suena interesante para quienes consumen maíz y se preocupan por tener un adecuado suplemento de grano para alimentación humana y animal. Estados Unidos es el mayor productor de maíz del mundo con 40% de la producción y 60% de la

exportación global del grano (FAOSTAT, 2006). El optimismo es también buena noticia para los grupos ambientalistas que han apoyado a la producción de biocombustibles porque este rápido incremento en el rendimiento de maíz reduciría la necesidad de expandir la producción a tierra frágil que se encuentra bajo el programa estatal de conservación. Sin embargo, cabe preguntarse si estas predicciones optimistas son razonables y que se necesitaría para lograrlas?.

El incremento de rendimiento de maíz en los Estados Unidos ha sido lineal por 40 años, y no exponencial, y ha crecido a un ritmo anual constante de 112 kg ha<sup>-1</sup> (Figura 2). Esta tasa de incremento representa solamente el 1.2% de ganancia relativa en rendimiento cuando se compara con el rendimiento de la línea de tendencia hasta el año 2005 que fue de 9.2 t ha<sup>-1</sup>. Es interesante indicar que los otros cereales tienen también un incremento lineal de ganancia en rendimiento (Cassman et al., 2003). Debido a que las ganancias en rendimiento se incrementan en forma lineal, la tasa relativa de ganancia en rendimiento se reduce con el tiempo a medida que los promedios de rendimiento se hacen más altos. La predicción de una tasa exponencial de incremento en rendimiento de 2.8% requeriría de un salto abrupto en la tasa de ganancia y una aceleración constante del crecimiento del rendimiento a través del tiempo.

Esta tendencia de incremento en rendimiento desde mediados de la década de 1960 ha sido apoyada por un vigoroso desarrollo de la investigación y tecnología (Figura 2). Las fuerzas de empuje para esta innovación durante los primeros 30 años de este periodo han sido el mejoramiento genético, la expansión del área con riego, el análisis de suelos y la fertilización balanceada, la labranza de conservación y el manejo integrado de plagas. El maíz resistente a insectos (Bt), que es una variedad transgénica producida por ingeniería genética se introdujo a mediados de la década de 1990. Sin embargo, a pesar de la inversión de cientos de millones de dólares en estudios de genoma e ingeniería genética, tanto por el sector público como el privado, la biotecnología ha tenido poco impacto y solo ha incorporado la resistencia al glifosato que también se descubrió antes de los estudios del genoma. Se duda que la ingeniería genética tenga la posibilidad de mejorar substancialmente el potencial de rendimiento o la resistencia a la sequía basándose en la premisa de que la evolución ya ha optimizado estas características genéticas y que el mejoramiento convencional puede obtenerlas del germoplasma existente (Denison et al., 2003).

Sin embargo, existen sectores que todavía argumentan que la aceleración de la ganancia en rendimiento se



**Figura 2. Tendencia del rendimiento de maíz en los Estados Unidos en el periodo 1966-2005 y las innovaciones tecnológicas que contribuyeron a este avance en rendimiento. La tasa de ganancia en rendimiento es de 112 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> (R<sup>2</sup> = 0.80) Modificado de CAST, 2006.**

hará realidad gracias al poder del estudio del genoma y de la ingeniería genética para crear variedades con un potencial de rendimiento substancialmente más alto y con resistencia a la sequía (NCGA, 2006). Aun cuando importantes compañías de semillas como Monsanto hacen estas afirmaciones en sus reportes anuales, no existe evidencia publicada en revistas científicas con arbitraje de pares que demuestre estas afirmaciones. También llama la atención el hecho de que estas proyecciones optimistas tengan fuerte influencia al momento de diseñar las prioridades de investigación del Departamento de Agricultura y de la Agencia de Energía de los Estados Unidos. Mientras estas agencias hacen importantes inversiones en genoma e ingeniería química para mejorar la conversión de celulosa a etanol, existen pocos fondos para investigar en formas de acelerar la tasa de incremento de rendimiento de los cultivos usando métodos que aseguren la protección del ambiente.

A pesar del optimismo de las agencias gubernamentales y de las compañías de semillas, es más probable que los rendimientos de los cultivos permanezcan en la actual trayectoria lineal por los próximos 10 años, si no existe investigación para identificar los factores que limitan los rendimientos de los cultivos y se desarrollen prácticas innovativas de manejo del cultivo y del suelo que controlen estas limitaciones. El hecho que el promedio de rendimiento de maíz en los Estados Unidos es solamente el 60% de los rendimientos obtenidos en los concursos de alto rendimiento indican que la limitación no es genética. Los ganadores de los concursos en la categoría de cultivo de maíz de secano usan los mismos híbridos que todos los agricultores. Sin embargo, los ganadores de los concursos han elevado el rendimiento dos veces más rápido que el promedio de rendimiento de maíz de secano de los agricultores en general.

## El escenario preferido

El reto crítico no solamente es producir suficientes alimentos para satisfacer la progresiva demanda de la población en crecimiento y cubrir la expansión de la producción de biocombustibles, sino hacerlo de una manera ambientalmente amigable. El lograr este doble objetivo en un periodo relativamente corto de tiempo requerirá de un substancial incremento en investigación y extensión con el enfoque explícito de incrementar la tasa de ganancia de rendimiento de los cultivos mientras se protege la calidad del suelo y del agua y se reduce la emisión de gases invernadero. Es interesante notar que nunca antes se había solicitado a los agrónomos desarrollar sistemas de manejo innovativos que aceleren la ganancia en rendimiento y que al mismo tiempo protejan los recursos naturales.

Si no existe la inversión mencionada, es probable que la demanda global de cultivos que se usan para alimentos y para biocombustibles sobrepase la producción. Los agricultores, incentivados por los resultantes altos precios, podrían buscar rendimientos más altos usando solamente mayores cantidades de fertilizante nitrogenado, usando tecnologías relativamente ineficientes (Cassman et al., 2002) y cambiando de labranza de conservación nuevamente a labranza convencional, sin tomar en cuenta las consecuencias ambientales de este tipo de manejo. El incremento en rendimiento logrado de esta forma es transitorio y no representa una tendencia constante de incremento debido a que las prácticas de manejo del cultivo y del suelo no son sostenibles a largo plazo por la degradación de la calidad del suelo y del agua. Lo mismo sucede con la expansión del área agrícola a suelos marginales que no son adecuados para producción continua.

En 10 años, la rápida expansión de la producción de biocombustibles podría verse alejada de la realidad, o peor aun poco etica, si esta expansión lleva a degradación ambiental, precios altos de los alimentos e incremento en el número de gente mal nutrida. Estamos convencidos que este escenario puede evitarse, sin embargo, para que esto sea posible se requiere un incremento y redireccionamiento del portafolio global de investigación, extensión y desarrollo. La magnitud de este tremendo reto ha sido seriamente subestimada y se han relegado áreas críticas de investigación (Cassman et al., 1999). Al no tener ahora el lujo de excesos de producción, es cada vez más importante tomar las decisiones adecuadas en las prioridades de investigación y educación tanto en los países desarrollados como en aquellos en vías de desarrollo.

## Bibliografía

- Biopact. 2006. Indonesia announces biofuels budget for 2007. <http://biopact.com/>.
- Biopact. 2006. Palm biofuel survives low crude oil prices-official. <http://biopact.com/>.
- Casmann, K.G. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc Nat Acad Sci (USA)*, 96:5952-5959.
- Cassman, K.G., A. Dobermann, D.T. Walters and H. Yang. 2003. Meeting cereal demand while protecting natural resources and improving environmental quality. *Ann Rev Environ Resources* 28:315-358.
- Cassman, K.G., A.D. Dobermann and D.T. Walters. 2002. Agroecosystems, N-use efficiency, and N management. *AMBIO* 31:132-140.
- Council for Agricultural Science and Technology (CAST). 2006. Convergence of Agriculture and Energy: implications for Research and Policy. <http://www.cast-science.org/>.
- Denison, R.F., T.E. Kiers and S.A. West. 2003. Darwinian agriculture: When can humans find solutions beyond the reach of natural selection?. *Quart Rev Biol* 78:145-167.
- Dréze, L. and A. Sen. 1989. *Hunger and Public Action*. Clarendon Press, Oxford.
- FAOSTAT. 2006. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. <http://faostat.fao.org>.
- Farrell, A.E., R.J. Plevin, B.T. Turner, A.D. Jones, M. O'Hare and D.A. Kammen. 2006. Ethanol can contribute to energy and environmental goals. *Science* 311:506-508.
- Food and Agricultural Policy Research Institute (FAPRI). 2006. Baseline Update for U.S. Agricultural Markets. FAPRI-UMC Report #12-06, University of Missouri-Colombia. <http://www.fapri.missouri.edu/outreach/publications/2006/>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2006. The state of food insecurity in the world. Rome, Italy. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0750e/a0750e00.pdf>.
- Hill, J., E. Nelson, D. Tilman, S. Polasky and D. Tiffany. 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proc Nat Acad Sci (USA)* 103:11206-11210.
- Johanns, M. 2006. US Secretary of Agriculture (USDA). Transcript of remarks made in a presentation at the Renewable Energy Conference, St. Louis, Missouri, 10-12 October.
- Mazoyer, M. and L. Roudart. 2006. *A History of World Agriculture: From the Neolithic Age to the Current Crisis*, translated by JH Membrez. Monthly Review Press, New York.
- National Corn Growers Association (NCGA). 2006. How much ethanol can come from corn?. <http://www.ncga.com/ethanol/pdfs/2006/HowMuchEthanolCan%20ComeFromCorn.v.2>.
- Renewable Fuel Association (RFA). 2006. From Niche to Nation: Ethanol Industry Outlook. [http://www.ethanolrfa.org/objects/pdf/outlook/outlook\\_2006.pdf](http://www.ethanolrfa.org/objects/pdf/outlook/outlook_2006.pdf).
- Schmitz, A., T.G. Schmit and F. Rossi. 2006. Agricultural subsidies in developed countries: Impact on global welfare. *Rev Agric Econ* 28:416-425.
- The Economist. 2007. Castro was right. *The Economist Newspaper Ltd., London*, 383:13-14.
- United Nations Conference on Trade and Development. 2006. Challenges and opportunities for developing countries in producing biofuels. [http://www.unctad.org/en/docs/ditccom200615\\_en.pdf](http://www.unctad.org/en/docs/ditccom200615_en.pdf).
- US Department of Energy-Energy information Administration (DOE-EIA). 2006. Short-Term Energy Outlook. <http://www.eia.doe.gov/pub/forecasting/steo/oldsteos/>.
- Wang, M., C. Saricks and D. Santini. 1999. Effects of fuel ethanol use on fuel-cycle energy and greenhouse gas emissions. Argonne National Laboratory. Department of Energy. ANL/ESD-38. <http://www.transportation.ani.gov/pdfs/> ♦