

CONTENIDO

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

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 Cassman¹ y Adam Liska²

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⁻¹ 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

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 sustitución 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 sustitución 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 sustituir 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

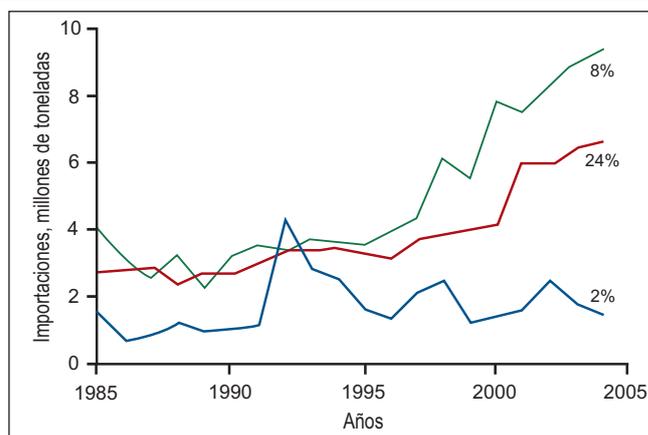


Figura 1. Importaciones de grano del Sub-Sahara Africano: Maíz (azul), arroz (rojo) y trigo (verde). El porcentaje representa la porción de las exportaciones mundiales que ingresaron a la región en el año 2004 (FAOSTAT, 2006).

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⁻¹, 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⁻¹. 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⁻¹ (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⁻¹. 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

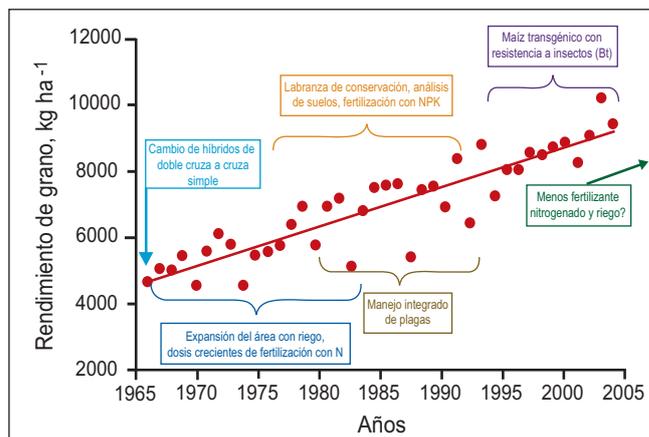


Figura 2. Tendencia del rendimiento de maíz en los Estados Unidos en el periodo 1966-2005 y las innovaciones tecnológicas que contribuyeron a este avance en rendimiento. La tasa de ganancia en rendimiento es de 112 kg ha⁻¹ año⁻¹ (R² = 0.80) Modificado de CAST, 2006.

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-Columbia. <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.
- 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.
- 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/> ♦

DESARROLLO TECNOLÓGICO EN EL USO DE FERTILIZANTES

Maene Luc y Patrick Heffer*

Introducción

Se espera que la población mundial pase de 6.2 billones en el año 2000 a alrededor de 8.2 billones en el año 2030. En este mismo periodo, se espera que la dieta energética per cápita se incremente en un 9%. Al mismo tiempo, a medida que los ingresos mejoran, se anticipa un incremento en la proporción de carne en las dietas. Además de satisfacer la creciente demanda por alimentos, la agricultura tendrá también que satisfacer la demanda de fibra y biocombustibles.

Casi todos los alimentos (humanos y animales), fibra y bioenergía adicionales tendrán que ser producidos en las áreas agrícolas existentes. En consecuencia, los rendimientos de los cultivos deben mejorar. Estos altos rendimientos requerirán de incremento en el suplemento de nutrientes. Las cantidades de nutrientes removidas por los cultivos tendrán que ser reemplazadas con el uso de fertilizantes y con mejor reciclamiento, si no se quiere agotar por completo los suelos. Es un requisito, entonces, que todas las fuentes de nutrientes se utilicen de manera integrada, balanceada y por sitio y tiempo específicos.

Este artículo discute el desarrollo tecnológico reciente que puede impactar la nutrición de cultivos y la demanda de fertilizantes de mediano a largo plazo. Se discute particularmente la eficiencia de uso de nitrógeno, mejoras en la tecnología de fertilizantes, prácticas de manejo y biotecnología moderna.

Contexto global

El mayor poder de compra en las economías emergentes estimulará la demanda por carne, pescado, frutas, hortalizas y disminuirá el consumo per cápita de cereales y leguminosas. Al mismo tiempo, los altos precios del petróleo promoverán el desarrollo de la producción de bioenergía.

La combinación del más alto consumo de carne y de los altos precios del petróleo tiene una gran influencia en los mercados de cereales y oleaginosas. En lo concerniente a los cereales, el uso industrial y uso para alimentación animal están creciendo más rápidamente que el uso para alimentación humana. Este cambio ha ocurrido porque una buena cantidad del maíz producido en los Estados Unidos se ha redireccionado a la producción de etanol y los subproductos de la industria

del etanol se están utilizando para alimentación animal. El mercado de oleaginosas se ha visto también influenciado fuertemente por la alta demanda de aceite vegetal para la producción de biodiesel y pastas para alimentación animal.

La producción de frutas y hortalizas junto con la expansión de las ciudades y la construcción de infraestructura está tomando algunas de las mejores áreas para la producción de cereales y oleaginosas. Esto hace difícil alimentar, vestir y proveer de bioenergía a una población mundial en crecimiento y con mayores demandas. La agricultura tendrá que satisfacer estos requerimientos en el área actual de siembra o expandiéndose a suelos con menor potencial de producción. Por lo tanto, esta mayor demanda tendrá que lograrse por medio de rendimientos más altos que requerirán de mejor tecnología y mejores insumos agrícolas, incluyendo los fertilizantes.

El desarrollo de la bioenergía será probablemente el principal impulso de la futura demanda de fertilizantes. Sin embargo, más y más países están desarrollando regulaciones a la calidad de agua y del aire, y más recientemente a la fertilidad del suelo. Estas regulaciones tendrán un impacto en la forma como se utilizan los nutrientes y requerirá que los agricultores manejen mejor los nutrientes y optimicen todas las fuentes.

A pesar de la producción récord de cereales en los últimos 3 años, las reservas mundiales continúan decayendo (Figura 1). En una perspectiva de cinco

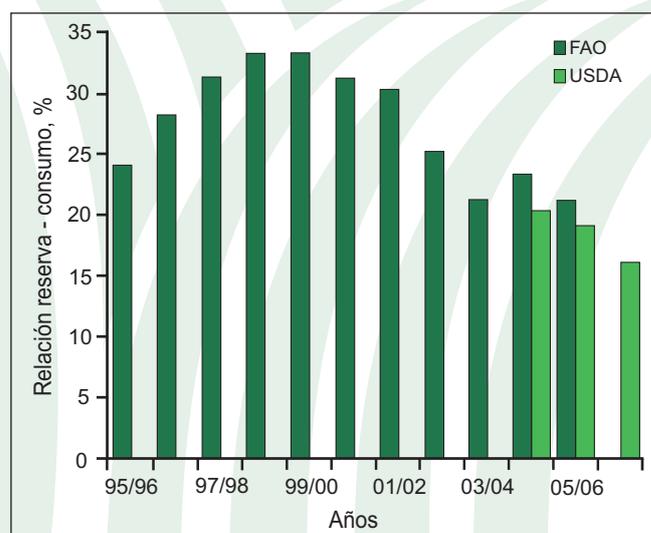


Figura 1. Relación entre las reservas mundiales de cereales y el consumo (FAO, 2006a y USDA, 2006).

* International Fertilizer Industry Association (IFA), París, Francia.

años, el desarrollo de bioenergía y la diversificación de los alimentos (más carne, pescado, fruta, hortalizas y aceites vegetales) serán los factores claves que impactarán estas reservas. Se proyecta que existirán cambios significativos en la diversidad de cultivos a nivel de país. Debido al limitado potencial de incrementar la tierra para cultivo en muchas regiones del mundo a mediano plazo, es necesario producir mayores rendimientos por unidad de tierra. Esto requerirá cantidades más altas de fertilizantes combinados con una mayor eficiencia de los nutrientes.

La reducción de las reservas y los altos precios del petróleo y la necesidad de reducir emisiones de gases invernadero han promovido el desarrollo de energía renovable. En ese contexto, los biocombustibles tienen un fuerte soporte de las políticas ambientales de muchos países.

El mercado del etanol se ha desarrollado dramáticamente desde el año 2002, con tasas de crecimiento de más de 1 billón de galones por año. Asumiendo un crecimiento estable hasta el final de la década, la producción mundial de etanol llegará a alcanzar aproximadamente 15 billones de galones en el año 2010 (Figura 2) y podría ser aún más alta si los precios del petróleo llegan a subir a más de 70 dólares por barril.

Los acontecimientos recientes demuestran que con el incremento de los precios del petróleo, el precio de la materia prima para bioenergía estará más y más relacionado al futuro del petróleo, como lo demuestran los recientes aumentos de los precios del azúcar y maíz. De igual manera, se proyecta que el mercado se tornará más volátil debido a la gran cantidad de material necesario para abastecer la futura demanda de biocombustibles y el bajo y decreciente inventario. La inestabilidad de los precios de la energía se traducirá en una mayor inestabilidad en los precios de los alimentos humanos y animales. Como lo demostró el “efecto tortilla” en México, el impacto en los consumidores pobres puede ser negativo a medida que los precios de los comestibles se incrementan en función de los precios más altos de los cereales.

Otra característica importante de los biocombustibles es la gran cantidad de sub-productos generados durante la producción de etanol o biodiesel. Al procesar canola, 30-40% de la biomasa es aceite y 60-70% es pasta. Estos sub-productos reemplazan productos en la alimentación animal (granos, proteínas suplementarias), pueden ser aplicados al campo como fuente de nutrientes o pueden quemarse para producir energía (bagazo de caña de azúcar en varios países).

El impacto del desarrollo de los biocombustibles en el

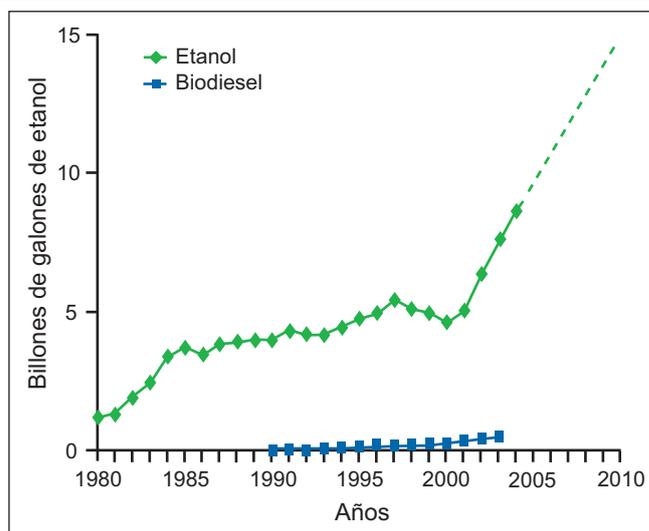


Figura 2. Producción mundial de etanol y biodiesel. (Adaptado del Instituto de Políticas de la Tierra, EPI por sus siglas en inglés, 2005).

ciclo de los nutrientes y la demanda de fertilizantes es poco claro, pero ciertamente no es proporcional al área de tierra necesaria para su producción por las siguientes razones:

- Con los procesos actuales, no más del 40% de la materia prima se convierte en biocombustibles.
- Todo el N, P y K se encuentra en los sub-productos.
- La mayoría de los sub-productos servirán como alimento para animales. En este caso, gran parte del P, K, y una pequeña parte de N contenidos en los sub-productos regresarán al suelo como abono animal.
- Parte de los sub-productos se pueden aplicar directamente al suelo. En este caso, todo el N, P y K retornan al suelo.
- Parte de los sub-productos se pueden incinerar para la producción de energía. En ese caso, todo el N se volatiliza y el P y K quedan en las cenizas y probablemente regresen al suelo.

El impacto de los biocombustibles en los mercados de alimentos para los humanos y animales requiere de inversiones para investigación en “biocombustibles de segunda generación”, que puedan producirse usando biomasa ligno-celulósica. Esto permitirá que se usen residuos de cultivos, pastos o madera en lugar de los granos de cereales usados al momento. La tecnología actual para la producción de biocombustibles de segunda generación no es todavía económicamente viable y por lo tanto es probable que no se use a gran escala antes de una década. Sin embargo, el uso de residuos de cultivos (trigo o maíz) como material para biocombustibles puede disminuir la fertilidad del suelo a largo plazo. Se necesita encontrar un nuevo equilibrio entre las industrias de alimentos humanos y animales y fibra, madera, papel y bioenergía.

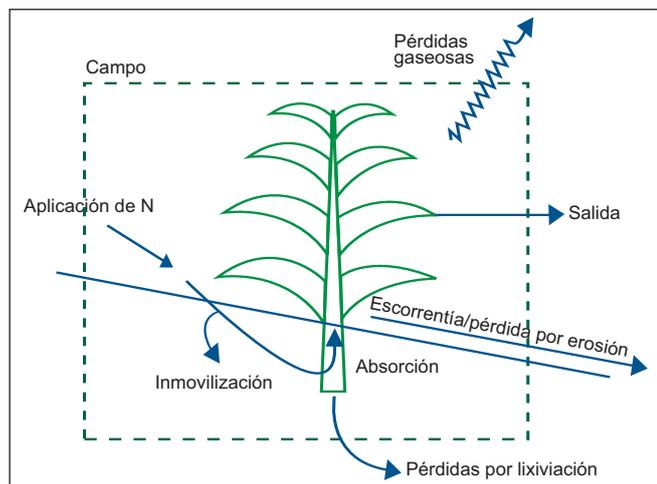


Figura 3. Diagrama esquemático que indica las interacciones entre el N aplicado y los procesos de pérdida (Peoples, 2004).

Eficiencia de uso del nitrógeno: situación actual

Estudios a nivel de finca han estimado que el cultivo recupera de 20 al 50% del N aplicado con los fertilizantes durante el ciclo de crecimiento de los principales cereales (Cassman et al., 2002). En contraste, es común encontrar recuperación del 60 al 80% en parcelas experimentales pequeñas con un buen manejo y de cerca del 90% en cultivos bajo riego (Balasubramanian et al., 2004; Dobermann y Cassman, 2004, Krupnik et al., 2004; Fixen et al., 2005). Esta diferencia entre las condiciones de finca y las parcelas de investigación indica que existen oportunidades para el incremento de la eficiencia de uso de N (EUN) en la finca al mejorar la tecnología a nivel de agricultor.

La baja EUN se debe a pérdidas inevitables a través de (i) nitrificación/denitrificación, (ii) volatilización de amonio, (iii) lixiviación de nitrato y (iv) escorrentía/erosión (Figura 3). La inmovilización de N en la materia orgánica del suelo también compite con la

absorción y reduce la inmediata disponibilidad de N para la planta. El N inmovilizado no se pierde del campo, permanece en el suelo hasta que la mineralización lo libera lentamente en formas disponibles para la planta. Como resultado, el promedio de EUN a nivel mundial en un periodo largo de años es mayor que el 40% observado durante el ciclo del cultivo en el cual se hizo la aplicación, debido a que parte de N aplicado es absorbido por cultivos en los años subsiguientes.

La EUN puede mejorarse al reducir en general las pérdidas de N. Sin embargo, cuando se limitan las pérdidas por un proceso existe el riesgo de incrementar las pérdidas por otro. Por lo tanto, se deben considerar todos los procesos de pérdida de N simultáneamente para asegurarse que existe un beneficio agronómico y ambiental global al adoptar nuevas prácticas agrícolas. De igual manera, desde el punto de vista de políticas reguladoras, tiene poco sentido tratar las pérdidas de N a la atmósfera independientemente a las pérdidas a la hidrosfera. Debido a la diversidad de cultivos, fuentes de N, suelos y condiciones climáticas, y a la complejidad del ciclo de N, es importante el usar una metodología holística y para desarrollar estrategias a la medida de las condiciones locales.

La EUN a nivel de finca ha mejorado significativamente en algunos de los sistemas de cultivo más importantes. Por ejemplo, el rendimiento de maíz ha incrementado constantemente en Norte América, mientras que el uso de fertilizantes nitrogenados por unidad de área ha mantenido casi estable desde la década de 1980, después de un periodo de rápido incremento (Figura 4).

La EUN para la producción de maíz en los Estados Unidos declinó rápidamente en la década de 1960, pero ha mejorado consistentemente desde mediados de la

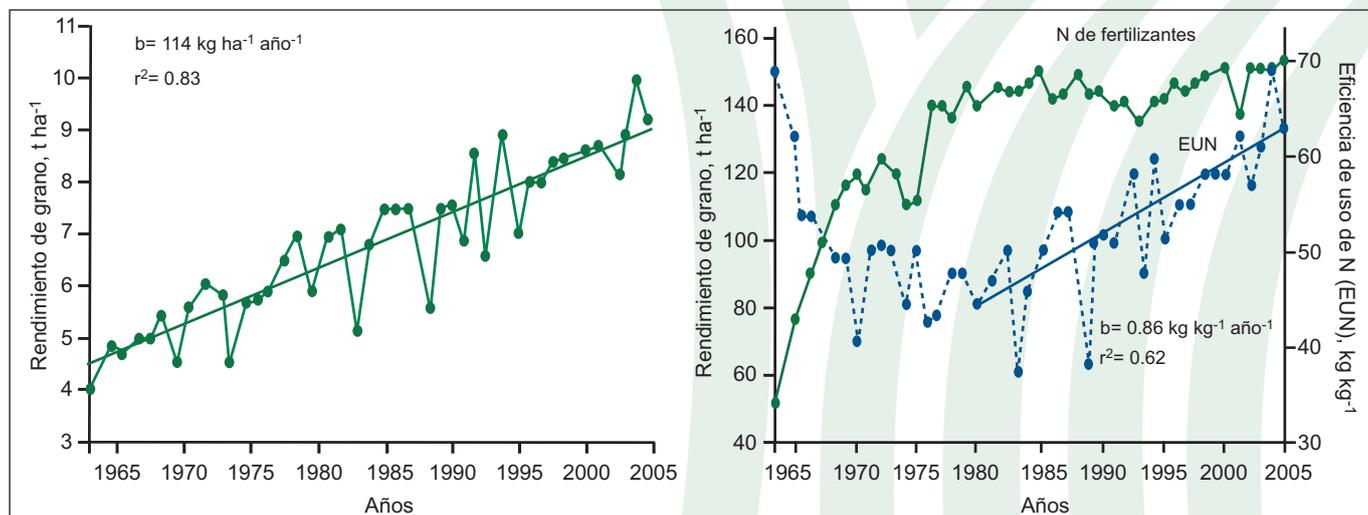


Figura 4. Evolución del rendimiento de maíz (izquierda) y uso de fertilizantes nitrogenados (derecha) en los Estados Unidos (Cassman et al., 2002).

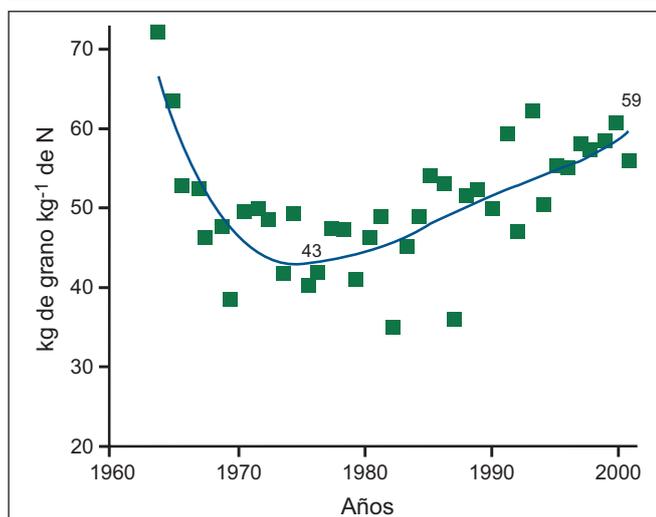


Figura 5. Tendencias en uso eficiente de fertilizantes nitrogenados para maíz de EE.UU (Fixen and Ford, 2002).

década de 1970 (Figura 5). Esto es un logro muy importante.

Ganancias similares en la EUN en cereales han ocurrido en el oeste de Europa. La producción de granos en Francia se ha incrementado en un 50% desde 1980, mientras que el uso de fertilizantes nitrogenados se ha incrementado en menos de 10% durante el mismo periodo (UNIFA, 2005).

En muchas partes del mundo, particularmente en países en desarrollo, la EUN medida como la cantidad de

grano producido por unidad de N aplicado (factor parcial de productividad, ver las definiciones a continuación) continua reduciéndose como lo indican las tendencias de las últimas dos décadas en China y Pakistán (Figura 6). Al contrario de China, la EUN en Pakistán parece haberse estabilizado desde mediados de la década de 1990, pero en un nivel muy bajo.

A nivel mundial, la EUN en la producción de cereales se redujo substancialmente hasta principios de la década de 1980 y luego se mantuvo estable por dos décadas (Figura 7). Si se asume que dos tercios de la producción mundial de fertilizantes se usa en cereales, la EUN actual (expresada como factor parcial de productividad) es de alrededor de 33 kg de grano kg⁻¹ de N aplicado. Con el esperado cambio en las tendencias de la EUN en los principales países en vías de desarrollo con alto consumo de fertilizantes se podría observar un incremento del promedio mundial de la EUN a finales de la década. Sin embargo, para lograr esto todavía falta mucho por hacer.

Mejores tecnologías en la manufactura y uso de fertilizantes

Varias tecnologías tienen futuro prometedor para mejorar simultáneamente la EUN e incrementar la producción agrícola. Las posibilidades de utilización de cada una de ellas varían marcadamente de un lugar a otro, dependiendo de las prácticas actuales y restricciones locales para la adopción de la tecnología.

Las posibilidades incluyen:

- Incremento y estabilidad del potencial de rendimiento a través de mejoramiento genético y manejo del cultivo.
- Fraccionamiento de las aplicaciones de N para lograr sincronizar los requerimientos de N del cultivo con las aplicaciones durante el ciclo de crecimiento.
- Producción de fertilizantes más eficientes que sincronicen de mejor forma la liberación de N con la demanda del suelo (fertilizantes de lenta y controlada liberación) y aditivos de fertilizantes para reducir las pérdidas de N (inhibidores de la ureasa y de la nitrificación).
- Manejo de N por sitio específico: prescripción (antes de la siembra), corrección (usando herramientas de diagnóstico durante el ciclo de crecimiento del cultivo), o los dos. Esto incluye sistemas de toma de decisiones, como modelos computarizados o simples herramientas de diagnóstico de campo y ayudas de interpretación.
- Nutrición balanceada para permitir una óptima utilización de N disponible.

Eficiencia de uso de N: Términos y cálculos

Factor parcial de productividad (kg de grano kg⁻¹ de N aplicado): rendimiento del cultivo por unidad de N aplicado.

Eficiencia agronómica (kg de incremento en rendimiento kg⁻¹ de N aplicado): incremento en rendimiento del cultivo por unidad de N aplicado.

Eficiencia de recuperación [(absorción de N del cultivo fertilizado – absorción de N del cultivo sin fertilizar) N aplicado]: incremento de la absorción de N del cultivo por unidad de N aplicado, generalmente para el ciclo del cultivo después de la aplicación que generalmente se expresa como porcentaje o fracción.

Eficiencia de remoción (remoción de N por el cultivo N aplicado): N removido por la porción cosechada en el cultivo por unidad de N aplicado, usualmente expresado como porcentaje o fracción.

Eficiencia fisiológica (kg de incremento en rendimiento kg⁻¹ de N absorbido): incrementos en rendimiento por unidad de N aplicado con el fertilizante que fue absorbido.

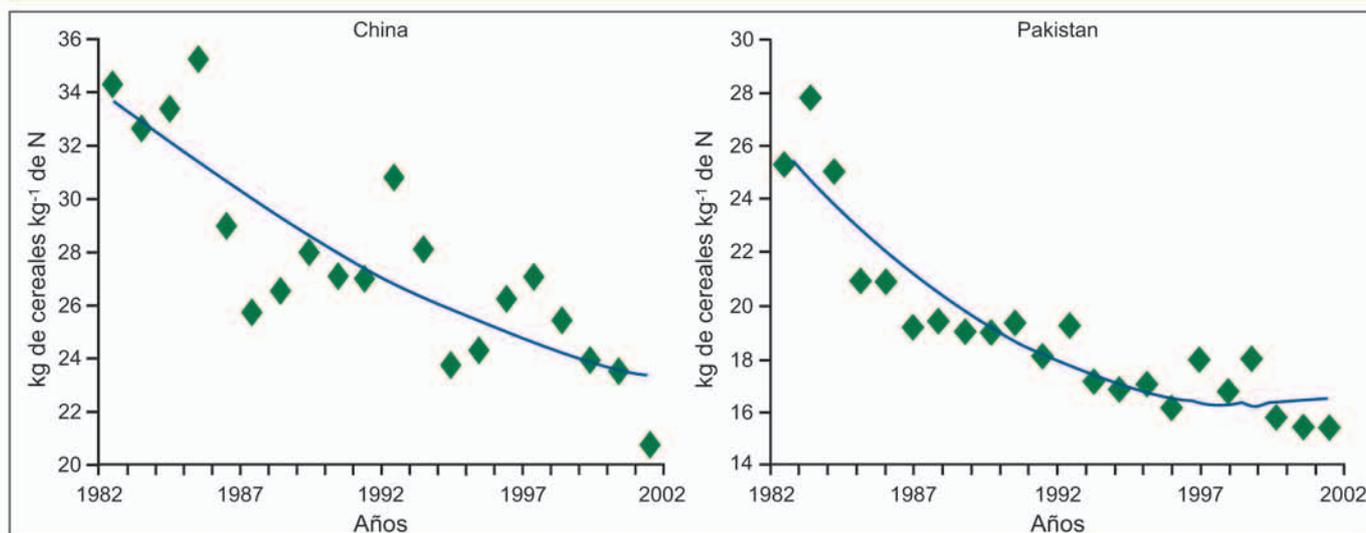


Figura 6. Tendencias en la eficiencia de uso de nitrógeno en la producción de cereales en China y Pakistán (FAO, 2006b e IFA, 2006).

- Mejoramiento genético de la recuperación o la eficiencia de la utilización de N de ciertos cultivos (particularmente aquellos que han recibido poca atención por parte de los fitomejoradores en el pasado).

Algunas de las tecnologías listadas anteriormente requerirán de inversiones adicionales en investigación antes que puedan tener un impacto significativo, mientras que otras requieren principalmente mayor educación y transferencia de tecnología. En el mediano plazo, se pueden esperar mejoras significativas en la EUN por la adopción de prácticas adecuadas de manejo adaptadas a las condiciones locales (uso de los productos adecuados en la dosis, época y lugar correctos) antes que por mejoramiento genético de la EUN.

Un buen ejemplo es la diseminación del concepto de nutrición balanceada cuyo objetivo es asegurar que los

cultivos reciban adecuadas cantidades de todos los nutrientes, sean éstos provenientes del suelo o de aplicaciones suplementarias. Una reciente revisión del impacto de la nutrición balanceada en la EUN demostró que el promedio de recuperación del N en estudios conducidos en China, India y Norte América (en 241 sitios-años) fue del 54% en los tratamientos con balance, pero cayó a 21% en tratamientos convencionales o en los testigos (Fixen et al., 2005).

La investigación científica y la experiencia práctica demuestran que la clave para enfrentar el crítico reto de incrementar la EUN y la productividad es mejorar simultáneamente el manejo de N y el manejo del cultivo o sistema de cultivos al cual se aplica ese N. Esto es esencial para poder alimentar una población en crecimiento y al mismo tiempo reducir los posibles impactos adversos al ambiente. Se requerirán más educación y aceptación de las nuevas prácticas de

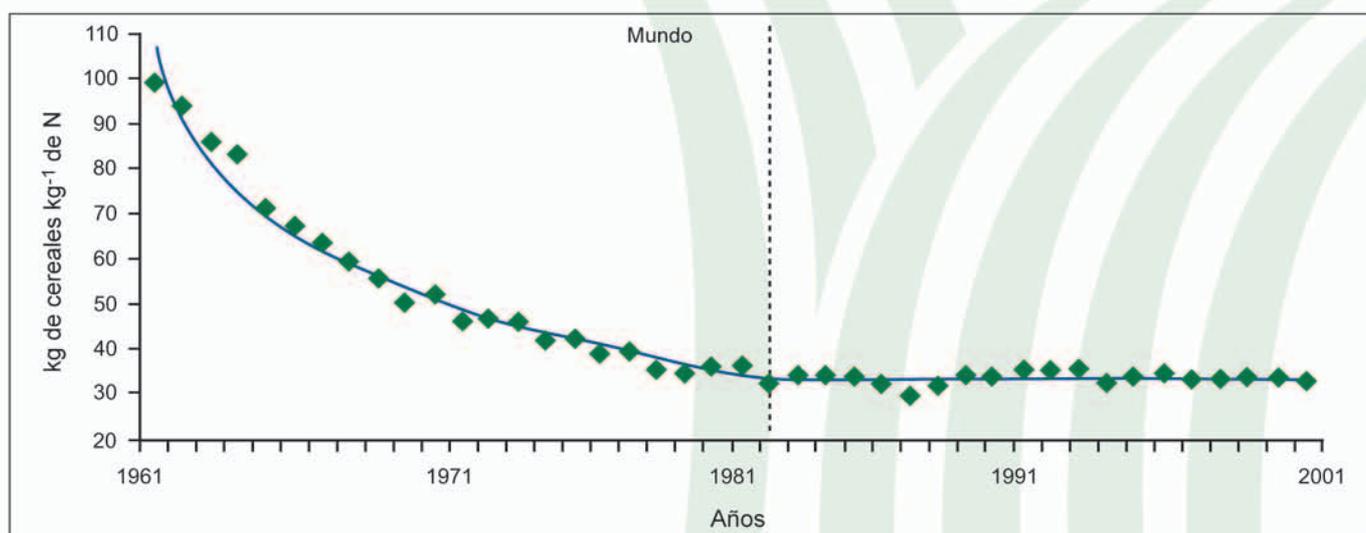


Figura 7. Tendencias en la eficiencia de uso de nitrógeno en la producción global de cereales (FAO, 2006b e IFA, 2006). Datos generados utilizando FAOTAT (FAO, 2006) para la producción de cereales e IFADATA (IFA, 2006) para el consumo de fertilizantes nitrogenados asumiendo que dos tercios del fertilizante nitrogenado se aplican a cereales.

manejo y mejores programas de investigación para continuar mejorando de la tecnología. Los dos primeros ítems de la lista anteriormente son muy conocidos y ampliamente usados. A continuación se discuten algunos de los otros temas.

Fertilizantes de mejor eficiencia

En el mercado existen fertilizantes de liberación lenta o controlada. Estos productos retrasan la disponibilidad de los nutrientes para la absorción de la planta después de la aplicación, o extienden significativamente la disponibilidad más allá de lo que lo hacen los fertilizantes de rápida disponibilidad, como el nitrato de amonio, urea, fosfato de amonio y cloruro de potasio. Al momento, la mayoría de estos productos de mejor eficiencia se usan solo en cultivos hortícolas (frutas, hortalizas y ornamentales) por su diferencia en costo con los fertilizantes convencionales. Su uso para la producción de cultivos extensivos es poco atractivo desde el punto de vista económico.

La producción de arroz en Japón es una notable excepción. El principal incentivo para el uso de fertilizantes recubiertos de polímeros en este cultivo es el alto costo de la mano de obra en ese país. Los fertilizantes recubiertos con polímeros hacen posible que los agricultores japoneses reduzcan el número de aplicaciones de fertilizantes a una sola. Se han desarrollado y puesto a disposición de los agricultores un amplio rango de productos recubiertos de polímeros con variada velocidad de liberación de nutrientes para diferentes condiciones agro-ecológicas, variedades del arroz y sistemas de cultivo.

En otros lugares se han desarrollado iniciativas para producir fertilizantes recubiertos con polímeros con menor costo. Por ejemplo, estos productos están ganando popularidad para la producción de maíz en los Estados Unidos. El precio de estos productos es poco menor que el doble de los fertilizantes convencionales. Debido a que la EUN obtenida con estos productos es mayor que con productos convencionales, las dosis de aplicación son menores y compensan en parte la diferencia en precio.

Se está también incrementando el uso de inhibidores de ureasa (suprimen temporalmente la hidrólisis enzimática de la urea) y de inhibidores de la nitrificación (retrasan la oxidación biológica del amonio a nitrato). Estos productos se usan junto con fertilizantes nitrogenados.

Manejo de nutrientes por sitio específico

El rápido desarrollo de los dispositivos electrónicos portátiles y de la tecnología satelital han contribuido a

la adopción del concepto de manejo de nutrientes por sitio específico. Herramientas tales como el medidor de clorofila, sensores móviles, fotos aéreas e imágenes satelitales, GPS y los Sistemas Geográficos de Información están ganando popularidad. Estas nuevas tecnologías hacen posible el modificar las dosis de aplicación de nutrientes teniendo en cuenta la variación espacial del terreno.

Estas herramientas no están disponibles en pequeña escala para agricultores de países en vías de desarrollo. Sin embargo, los principios del manejo de nutrientes por sitio específico pueden implementarse en estos sistemas de cultivo usando herramientas menos sofisticadas. El Instituto Internacional de Investigación en Arroz (IRRI, por sus siglas en inglés) ha introducido un programa para los productores de arroz en Asia. Este programa combina el uso de parcelas de omisión de P y K y el uso de una tabla de comparación de colores para manejo de N. Este modelo de tecnología ha sido aceptado en varios países asiáticos. También se está investigando en el uso de esta tecnología en otros cultivos como maíz en Indonesia, México, Colombia y Ecuador.

Se espera que la adopción del concepto de manejo de nutrientes por sitio específico mejore significativamente la eficiencia en el uso de nutrientes en países desarrollados y en países en vías de desarrollo en los próximos años.

Fertilización balanceada

Entre las décadas de 1960 a 1980, la demanda mundial de N se incremento mucho más rápidamente que la de P y K. El efecto inmediato de la aplicación de N en el rendimiento es altamente atractivo para los agricultores. Como resultado las relaciones N:P y N:K se redujeron significativamente. En la década de 1990, las relaciones N:P:K se estabilizaron con el uso de programas de fertilización balanceada en varios países de alto consumo de fertilizantes. La demanda mundial de P y K esta creciendo más rápidamente que la demanda de N.

Aparte de P y K, es interesante mencionar que la demanda de nutrientes como azufre (S), magnesio (Mg) y micronutrientes está incrementándose rápidamente en respuesta a las crecientes deficiencias de estos nutrientes y al mayor conocimiento del papel de éstos en la nutrición balanceada de los cultivos. En el caso de S, la deposición atmosférica asociada con las emisiones industriales ha disminuido en muchos países después de la implementación de regulaciones ambientales.

Continúa en la pág. No. 14

FOSFITO: Qué es? Se puede usar? Qué puede hacer?

C.J. Lovatt y R.L. Mikkelsen*

Introducción

El fósforo (P) es un elemento esencial requerido por todos los organismos vivos. El P en forma elemental no aparece en la naturaleza porque es muy reactivo, se combina rápidamente con otros elementos como oxígeno (O) e hidrógeno (H). Cuando se oxida completamente, el P se une con cuatro átomos de O para formar la conocida molécula de fosfato. Sin embargo, cuando no se oxida completamente un átomo de H ocupa el lugar del O y la molécula resultante se denomina fosfito (**Figura 1**). Este aparentemente simple cambio en la estructura molecular causa diferencias significativas que influyen la solubilidad relativa del material y afectan la absorción y metabolismo de las plantas.

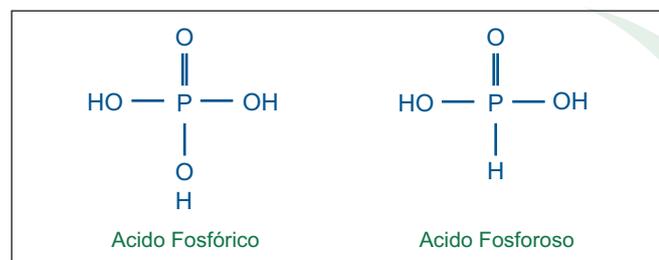


Figura 1. Comparación entre el ácido fosfórico (fosfato) y el ácido fosforoso (fosfito). En el ácido fosforoso el H está enlazado directamente con el P.

El ácido fosforoso (H_3PO_3) y su sal (fosfito) contiene concentraciones de P (39%) más altas que los fertilizantes fosfatados (32%) basados en ácido fosfórico (H_3PO_4). Las sales de fosfito son generalmente más solubles que las sales análogas de fosfato.

El fosfato completamente oxidado es la forma más estable de P en el ambiente, por esta razón, el fosfito pasa por una transformación gradual después de adicionarse al suelo hasta formar fosfato. Los microorganismos del suelo son capaces de asimilar fosfitos y liberar fosfatos, ganando energía y nutrientes durante esta conversión biológica. Los microorganismos absorben preferentemente fosfato para su metabolismo, antes de tomar cantidades significativas de fosfito. El tiempo promedio para la oxidación de fosfito a fosfato en el suelo es de aproximadamente 3 a 4 meses. Sin embargo, debido a su gran solubilidad, cuando se aplica fosfito al suelo, éste es más disponible para los microorganismos y a las raíces de las plantas que el fosfato. La oxidación no biológica del fosfito ocurre gradualmente, pero en menor cantidad.

Existe evidencia que el fosfito se adsorbe o fija en menor grado que el fosfato a los minerales del suelo. Esta propiedad podría usarse para mejorar la movilidad del P aplicado en banda o por medio de un emisor de goteo en el suelo. Este posible beneficio no se ha investigado en detalle. Sin embargo, se ha utilizado la mayor solubilidad en la formulación de fertilizantes basados en fosfito como fosfitos de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K). Se han realizado varios estudios para determinar la efectividad de fosfito aplicado al suelo como fuente de nutrientes para los cultivos. Los primeros trabajos con estos materiales se enfocaron en los efectos tóxicos del fosfito y ácido fosforoso cuando se usan como fuente principal de P en una variedad de cultivos.

Cuando se suplementa fosfito en dosis iguales a aquellas utilizadas con los fertilizantes fosfóricos, la mayoría de los reportes indican que inicialmente es una mala fuente de P para cultivos de ciclo corto (**Figura 2**). Los cultivos fertilizados con altas dosis de fosfito consistentemente presentaron rendimientos bajos comparados con los obtenidos con fosfato durante las primeras semanas o meses después de aplicación. El proceso de oxidación biológica puede ser muy lento (dependiendo de las condiciones del suelo, temperatura, y presencia de microorganismos que metabolizan fosfito) para ser significativo en algunos cultivos anuales. Sin embargo, cuando se vuelven a sembrar los cultivos en el suelo previamente fertilizado con fosfito, el rendimiento es similar a los cultivos en suelos fertilizados con fosfato. Estos efectos tóxicos y el costo adicional asociado con el uso de fosfito limitó las investigaciones por muchos años.

Trabajos recientes han demostrado que el fosfito, en dosis adecuadas, puede estimular a la planta, lo que no podría suceder con fosfato. Sin embargo, las dosis adecuadas de fosfito solo aportan $2.3 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ en cada aplicación al suelo, lo que podría estar muy por debajo las tasas de remoción de P de los cultivos. Se conoce menos de la respuesta de cultivos perennes a la aplicación de fosfito al suelo, pero esta práctica también está creciendo.

El interés por fosfito se reactivó cuando se demostró que un producto comercial (una sal de fosfanato de

* Tomado de: Lovatt, C.J., and R.L. Mikkelsen. 2006. Phosphite fertilizers: What are they?. Can you use them?. What can they do?. Better Crops With Plant Food. 90(4)11:13.

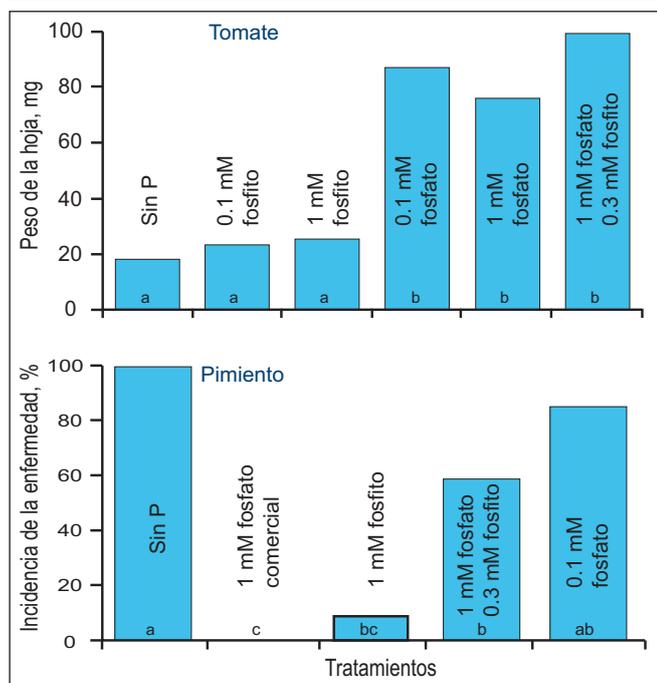


Figura 2. Efecto de tratamientos hidropónicos de P en el crecimiento de tomate (arriba) y la infección de pimiento con *Phytophthora* (abajo) (Foster et al., 1998). Letras iguales indican que no existe diferencia significativa entre tratamientos al 5% de probabilidad.

aluminio denominada fosetyl-Al) se movía desde las hojas hacia las raíces por el floema en forma de fosfito y proporcionaba control de algunas enfermedades radiculares. Se ha demostrado que el fosfito en las raíces inhibe el hongo *Phytophthora* y también estimula los sistemas de defensa contra patógenos de las plantas. Si bien el fosfito puede controlar efectivamente especies específicas de Omicetos, tiene poco efecto en la mayoría de los hongos del suelo. Los relativamente limitados efectos fungicidas, combinados con su habilidad para estimular a las plantas a producir un gran espectro de metabolitos biológicamente activos, hacen que el fosfito sea benigno para el ambiente y sea seguro de usar. Sin embargo, con excepción del control de *Phytophthora*, el uso de fosfito como tratamiento para patógenos puede reducir la severidad de las enfermedades, pero es menos eficiente que los fungicidas convencionales.

Otros nutrientes aplicados en forma foliar tienen también el efecto benéfico de reducir la incidencia de organismos causantes de enfermedades. En cierta forma, el uso de fosfito se puede comparar con el de otros nutrientes que actúan también de esta forma, pero con diferentes modos de acción. Por muchos años, las aplicaciones foliares de zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu) y azufre (S) se han usado eficientemente en la supresión de algunos patógenos. De igual manera, aplicaciones individuales de fosfato a las hojas pueden inducir protección sistémica contra patógenos, como el

oídio, en algunos cultivos anuales y perennes.

Trabajos de investigación han demostrado que las aplicaciones foliares de fosfito pueden reemplazar a las aplicaciones de fosfato en cítricos y aguacate con deficiencia de P. La conversión de fosfito a fosfato puede producirse por lenta oxidación química o por bacterias y hongos oxidantes que viven en las hojas de estos cultivos. Existe consistente evidencia que el fosfito es más rápidamente absorbido por los tejidos de las plantas a diferencia de fosfato. Esto es particularmente cierto para las hojas de cítricos y aguacates que son notoriamente insensibles a fosfato. En estos casos, y en el de otros cultivos, las aplicaciones foliares de fosfito han mostrado ser más que solo fungicidas, incrementan además la intensidad floral, rendimiento, tamaño de fruta, total de sólidos solubles y la concentración de antocianinas, generalmente en respuesta a una sola aplicación. El fosfito es más efectivo cuando la dosis y la época de aplicación sean adecuadamente programadas de acuerdo a las necesidades del cultivo. Sabiendo que el fosfito es químicamente diferente del fosfato, esta diferencia debe tomarse en cuenta para evitar toxicidad en la planta.

Como un ejemplo de los efectos benéficos del fosfito se pueden citar datos de dos estudios diferentes. En el primero, se evaluó la respuesta a una sola aplicación foliar de fosfito antes de la floración a naranjas valencia en Florida. Esta aplicación incremento significativamente el número de flores, rendimiento y total de sólidos solubles a la cosecha, 10 meses después de la aplicación, al compararlo con el testigo (Albrigo, 1999). En el segundo estudio conducido en California, con naranjas naval que recibieron aplicaciones foliares de fosfito en Mayo y Julio produjeron fruta de mayor valor comercial sin reducir el rendimiento total (Figura 3).

Estos resultados sugieren que el efecto de la aplicación de los materiales basados en fosfito no fue a las propiedades fungicidas de la molécula, sino a otras propiedades estimulantes del crecimiento. Los agricultores deben identificar sus metas con respecto a producción (incremento en rendimiento, incremento en el tamaño de la fruta o mejor calidad de fruta) y con esto programar adecuadamente las aplicaciones de fosfito. Se han desarrollado estrategias de producción para una variedad de frutales, cebolla, papas y cultivos ornamentales. Las respuestas fisiológicas al fosfito pueden estar relacionadas con su efecto en el metabolismo del azúcar, con la estimulación de la ruta del ácido shiquímico o con cambios hormonales o químicos internos.

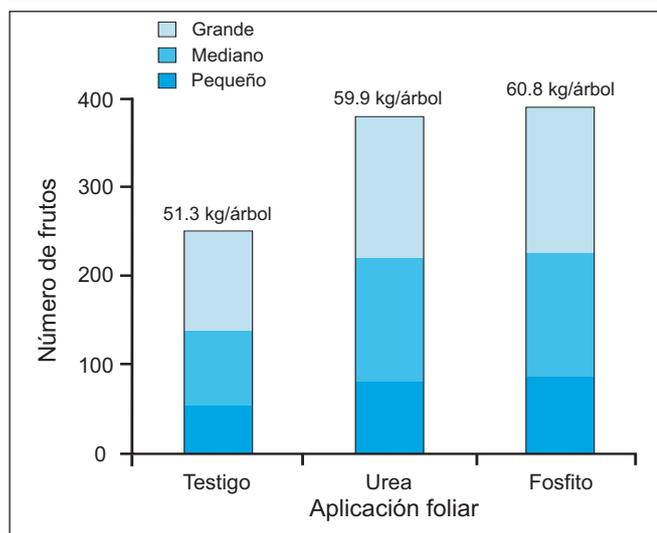


Figura 3. Efecto de la aplicación foliar de fosfito en Mayo, Julio y la aplicación de urea aplicada en Julio en rendimiento y tamaño de naranjas naval. El promedio de diámetro de la fruta grande fue de 8.4 cm, la fruta mediana 7.7 cm y la fruta pequeña 7.1 cm (Lovatt, 1999).

Se ha incrementado el interés en el uso del fosfito como parte del paquete total de producción, especialmente en algunos cultivos de alto valor. Los fertilizantes con base en fosfito, si no están formulados correctamente, tienen un significativo potencial de ser fitotóxicos y pueden inducir reacciones adversas con otros materiales como microelementos y pesticidas en el tanque de aspersión. Todos los fertilizantes, pero en especial el fosfito, deben usarse con cuidado y con el asesoramiento de un profesional.

Bibliografía

- Albrigo, L.C. 1999. Effects of foliar applications of urea or Nutriphite on flowering and yields of valencia orange trees. Proc. Fla. State Hort. Soc. 112:1-4
- Forster, H., J.E. Adaskaveg., D.H. Kim y M.E. Stanghellini. 1998. Effect of phosphite on tomato and pepper plants and on susceptibility of pepper to *Phytophthora* root and crown rot in hydroponic culture. Plant Disease. 82:1165-1170.
- Lovatt, C.J. 1999. Timing citrus and avocado foliar nutrient applications to increase fruit set and size. HortTech. 9:607-612. ♦

Desarrollo tecnológico en el uso ...

Al mismo tiempo, se ha incrementado el uso de fertilizantes de alto análisis que no tienen S en su composición, creando la necesidad de este nutriente. La demanda de micronutrientes también se está expandiendo rápidamente. El crecimiento en la demanda de fertilizantes de especialidad parece también ser mucho mayor que los productos normales.

El papel que desempeñan el P, K, nutrientes secundarios y micronutrientes para mejorar la calidad y el contenido nutricional de los alimentos está también ganando un mayor reconocimiento. Es probable que el desarrollo de alimentos funcional es a través de biotecnología refuerce esta tendencia. Esto significa que las presiones para implementar el concepto de fertilización balanceada vendrán de sectores no agrícolas, como los ministerios de salud.

Bibliografía

- Balasubramanian, V., B. Alves, M. Aulakh, M. Bekunda, Z. Cai, L. Drinkwater, D. Mugendi, C. Van Kessel, and O. Oenema. 2004. Crop, environmental, and management factors affecting nitrogen use efficiency. In SCOPE 65: Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment, edited by A.R. Mosier, J.K. Syers, and J.R. Freney. Island Press, Washington, DC, USA.
- Cassman, K.G., A. Dobermann and D.T. Waters. 2002. Agroecosystems, nitrogen use efficiency, and nitrogen management. Ambio 31(2):132-140.
- Dobermann, A. and K.G. Cassman. 2004. Environmental dimensions of fertilizer nitrogen: What can be done to increase nitrogen use efficiency and ensure global food security? In

- SCOPE 65: Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment, edited by A.R. Mosier, J.K. Syers, and J.R. Freney. Island Press, Washington, DC, USA.
- Earth Policy Institute (EPI). 2005. Ethanol's Potential: Looking Beyond Corn. Earth Policy Institute.
- FAO, 2006a. Food Outlook, June 2006. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.
- FAO, 2006b. FAO on-line statistics. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.
- Fixen, P.E. and F.B. West. 2002. Nitrogen fertilizers... meeting contemporary challenges. Ambio 31(2):169-176.
- Fixen, P.E., J. Jin, K.N. Tiwari, and M.D. Stauffer. 2005. Capitalizing on multi-element interactions through balanced nutrition... a pathway to improve nitrogen use efficiency in China, India, and North America. Science of China: 48(Supp.):780-790.
- IFA. 2006. IFADATA Statistics, April 2006. International Fertilizer Industry Association (IFA), Paris, France.
- Krupnik, T.J., J. Six, J.K. Ladha, M.J. Paine, and C. van Kessel. 2004. An assessment of fertilizer nitrogen recovery efficiency by grain crops. In SCOPE 65: Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment, edited by A.R. Mosier, J.K. Syers, and J.R. Freney. Island Press, Washington, DC, USA.
- Peoples, M.B., E.W. Boyer, K.W.T. Goulding, P. Heffer, V.A. Ochwah, B. Vanlauwe, S. Wood, K. Yagi, and O. Van Cleemput. 2004. Pathways of nitrogen loss and their impacts on human health and the environment. In SCOPE 65: Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the Impacts of Fertilizer Use on Food Production and the Environment, edited by A.R. Mosier, J.K. Syers, and J.R. Freney. Island Press, Washington, DC, USA.
- UNIFA, 2005. Agricultural production and mineral nitrogen fertilizer deliveries. UNIFA, Paris, France.
- USDA, 2006. World Agricultural Supply and Demand Estimates, September 2006. United States Department of Agriculture (USDA), Washington, DC, USA. ♦

REPORTE DE INVESTIGACION RECIENTE

EFICIENCIA Y DISTRIBUCION DEL NITROGENO APLICADO EN BANDA AL MAIZ INTERCALADO EN *Brachiaria ruziziensis* CULTIVADA EN EL SISTEMA SANTA FE

Lara-Cabezas, W.A. Rubén, and R. V. de Padua. 2007. *Efficiency and distribution of nitrogen applied on side-dressing in corn intercropped with Brachiaria ruziziensis, cultivated in Santa Fe system. Bragantia 66 (1):131-140.*

Entre los sistemas integrados de producción ganadera, el maíz intercalado en *Brachiaria ruziziensis*, opción denominada sistema Santa Fe, permite la producción de granos y la producción de forraje durante la época seca, con el propósito de cubrir el suelo y/o la producción de alimento para el ganado. Se condujo un experimento en la finca Canadá, Uberlandia, Minas Gerais, Brasil, en un suelo de textura mediana (218 g kg⁻¹ de arcilla), siguiendo el sistema Santa Fe con los siguientes objetivos: a) cuantificar la eficiencia de uso de N aplicado en banda superficial al maíz y la *B. ruziziensis*; b) cuantificar la cantidad de SO₄²⁻ distribuida en el perfil después de la aplicación del N, y c) evaluar la acumulación de materia seca de *B. ruziziensis* a la cosecha del maíz y 55 días después. El experimento se estableció con un diseño completamente al azar con ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: maíz solo y maíz intercalado con *B. ruziziensis* sin aplicación de N (testigos), maíz solo y maíz intercalado con mezcla de urea

+ sulfato de amonio en relación 1:1 en N, maíz solo y maíz intercalado con urea y maíz intercalado con sulfato de amonio. Se hicieron dos fraccionamientos de la aplicación de N entre las hileras de maíz usando fuentes marcadas con ¹⁵N a 2-3 hojas y 5-6 hojas, utilizando 40 kg de N ha⁻¹ en el primer fraccionamiento y 64 en el segundo. Se sembraron 12 kg ha⁻¹ de *B. ruziziensis* en línea, en medio de las hileras de maíz cuando éste tenía 5-6 hojas. 23 días después de la segunda aplicación de N la concentración de SO₄²⁻ en la capa de 20 a 40 cm de los tratamientos de maíz solo se redujo de la siguiente manera: sulfato de amonio > urea + sulfato de amonio > urea = controles. La eficiencia promedio de N aplicado en la etapa de 2-3 hojas fue de 45%. La eficiencia promedio de N aplicado en la etapa 5-6 hojas fue de 60.7% y el tratamiento con sulfato de amonio fue el mejor con 73.7% en promedio. A la cosecha del maíz, los dos cultivos asimilaron 54.5 kg ha⁻¹ del N aplicado, 97.1 % en la parte aérea del maíz y 2.9% en la parte aérea de la *B. ruziziensis*. No existió diferencia en producción de grano con excepción de los controles. La *B. ruziziensis* presentó un incremento promedio en producción de materia seca de 61% a los 55 días después de la cosecha de maíz. Se puede concluir que la *B. ruziziensis* no afectó al eficiencia del N aplicado y que el sulfato de amonio seguido por la mezcla urea + sulfato de amonio contribuyeron a una mayor recuperación del N por el maíz. Una alta proporción de N asimilado por los dos cultivos fue recuperado por el maíz.❖

CURSOS Y SIMPOSIOS

1. XVII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo

Organiza : SLCS - SMCS
Lugar y Fecha : Guanajuato - México
 Septiembre 17-21, 2007
Información : SLCS - SMCS
 Fax.: 00-52 55 1113-2614
 slcsorg@slcs.org.mx
 www.slcs.org.mx

2. Primer Concurso Latinoamericano de Fotografía: Así son los suelos de Latinoamérica

Organiza : SLCS - SMCS
Lugar y Fecha : Guanajuato - México
 Septiembre 17-21, 2007
Información : SLCS - SMCS
 Fax.: 00-52 55 1113-2614
 slcsorg@slcs.org.mx
 www.slcs.org.mx

3. IX Escuela Latinoamericana de Física de Suelos

Organiza : PROMAS - U. de Cuenca
Lugar y Fecha : Cuenca - Ecuador
 Octubre 01-10, 2007
Información : PROMAS - U. de Cuenca
 Tel.: 593 7 288 5563
 promas@ucuenca.edu.ec

4. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Organiza : AACS
Lugar y Fecha : San Luis - Argentina
 Mayo 13-16, 2008
Información : AACS
 Tel.: (02657) - 430947
 sanluiscacs@yahoo.com.ar
 www.suelos.org.ar

PUBLICACIONES DISPONIBLES



Las siguientes publicaciones del IPNI se encuentran disponibles al siguiente costo en dólares

- * **Manual de Arroz: Desórdenes Nutricionales y Manejo de Nutrientes.** Esta publicación contiene información que permite desarrollar estrategias de recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales. \$ 25.00
- * **Guía Práctica para el Manejo de Nutrientes en Arroz.** Contiene una discusión concisa y muy práctica de las estrategias de manejo nutricional y recomendaciones de fertilización del arroz cultivado en regiones tropicales y subtropicales. Excelente herramienta de apoyo en el contacto diario con los agricultores. \$ 15.00
- * **Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 1: Vivero.** Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 1 cubre el manejo del vivero para producir plántas de calidad que deben estar disponibles para la siembra en el campo en el momento requerido. \$ 20.00
- * **Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 2: Fase Inmadura.** Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 2 cubre el manejo de la fase inmadura de la plantación para lograr una población uniforme de palmas productivas en cada bloque del campo. \$ 20.00
- * **Guía de Campo, Serie en Palma Aceitera, Volumen 3: Fase Madura.** Guía de campo preparada específicamente para uso práctico en el manejo diario de la palma aceitera. El volumen 3 cubre el manejo de la fase madura de la plantación para lograr rendimientos sostenidos de racimos de fruta fresca a través de toda la etapa productiva del cultivo. \$ 20.00
- * **Síntomas de Deficiencias de Nutrientes y Desórdenes en Palma Aceitera.** Guía de Bolsillo para técnicos a cargo del manejo de plantaciones que deseen identificar los síntomas de deficiencia en el campo, conocer algo de sus causas y como éstas podrían prevenirse o remediarse. \$ 8.00
- * **Síntomas de Deficiencias Nutricionales y Otros Desórdenes Fisiológicos en Banano.** Guía de Campo para técnicos y agricultores que permite identificar en el campo los síntomas de deficiencias nutricionales, conocer sus causas y determinar una estrategia de prevención o recuperación. \$ 8.00
- * **Manual Internacional de Fertilidad de Suelos.** Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes con datos y ejemplos de diferentes partes del mundo \$ 15.00
- * **Manual de Nutrición y Fertilización del Café.** Este manual presenta conceptos modernos del manejo de la nutrición y fertilización del cafeto como herramienta para lograr rendimientos altos sostenidos. \$ 20.00
- * **Manual de Nutrición y Fertilización de Pastos.** Esta publicación ofrece a las personas envueltas en la producción ganadera una visión amplia del potencial productivo, de los requerimientos nutricionales y de los factores limitantes impuestos por el ambiente tropical a la producción de forrajes. \$ 15.00
- * **Fertilización del Algodón para Rendimientos Altos.** Publicación que cubre en forma detallada los requerimientos nutricionales, análisis foliar y de suelos y fertilización del cultivo del algodón. \$ 5.00
- * **Nutrición de la Caña de Azúcar.** Este manual de campo es una guía completa para la identificación y corrección de los desórdenes y desbalances nutricionales de la caña de azúcar. El tratamiento completo de la materia y las excelentes ilustraciones hacen de este manual una importante herramienta de trabajo en la producción de caña. \$ 8.00