

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

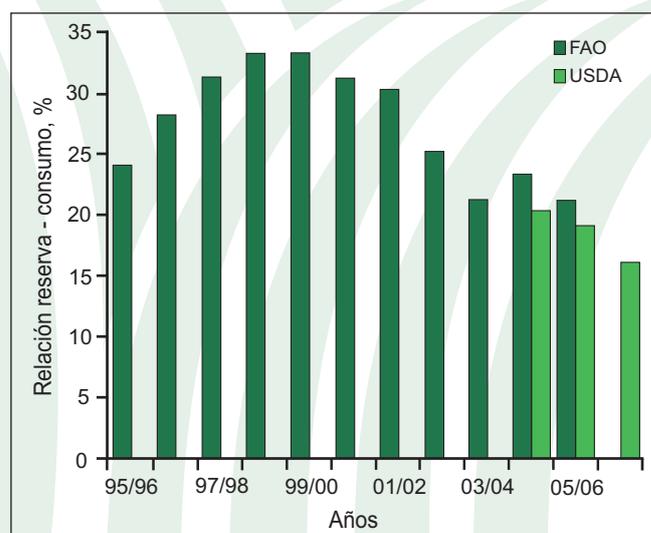


Figura 1. Relación entre las reservas mundiales de cereales y el consumo (FAO, 2006a y USDA, 2006).

* 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

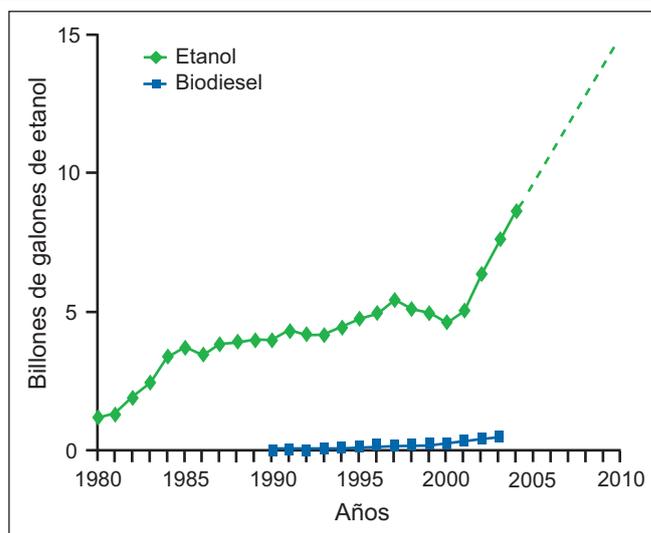


Figura 2. Producción mundial de etanol y biodiesel. (Adaptado del Instituto de Políticas de la Tierra, EPI por sus siglas en inglés, 2005).

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.

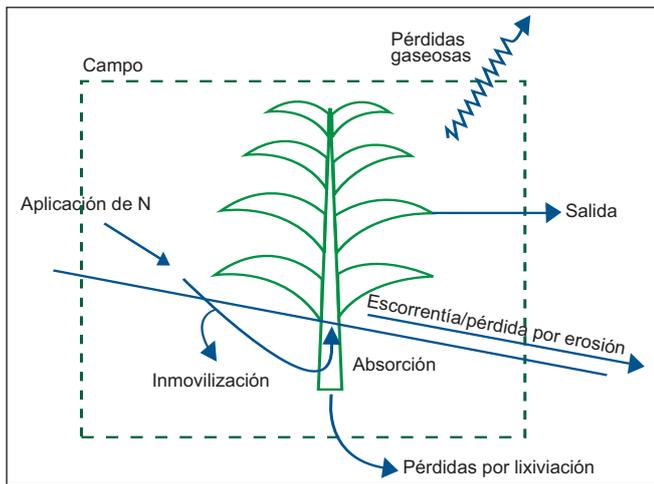


Figura 3. Diagrama esquemático que indica las interacciones entre el N aplicado y los procesos de pérdida (Peoples, 2004).

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 liberare 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

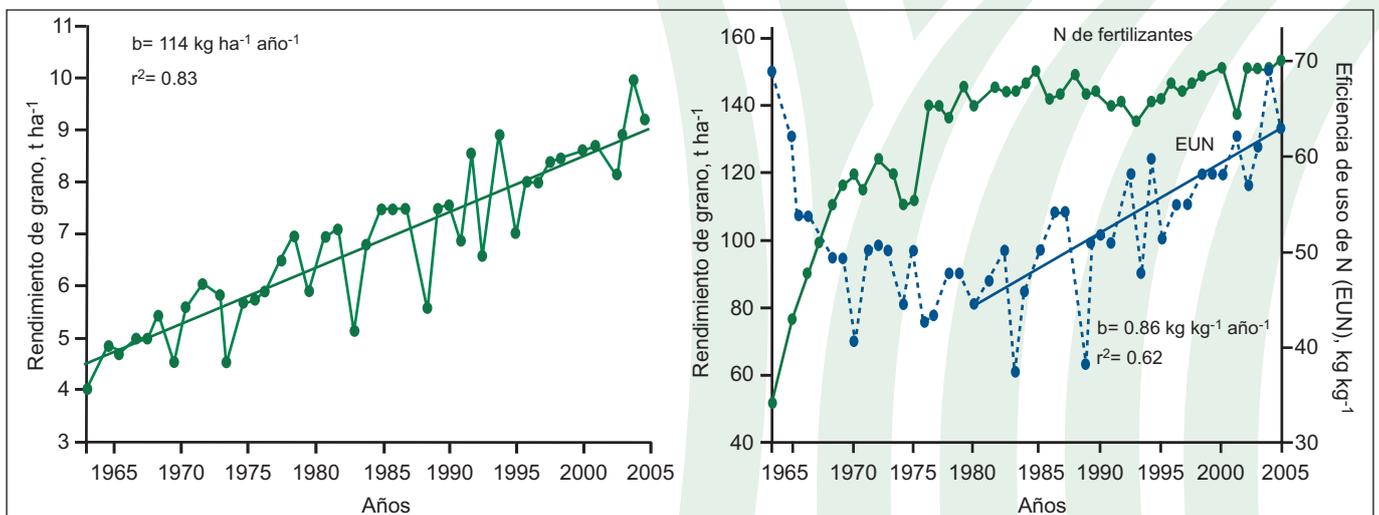


Figura 4. Evolución del rendimiento de maíz (izquierda) y uso de fertilizantes nitrogenados (derecha) en los Estados Unidos (Cassman et al., 2002).

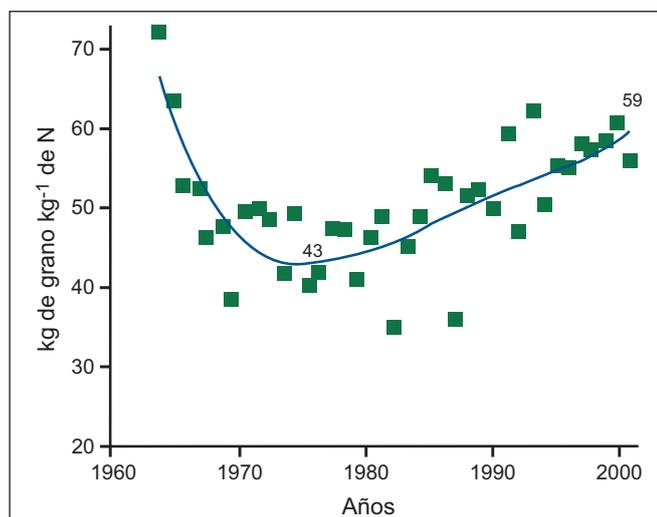


Figura 5. Tendencias en uso eficiente de fertilizantes nitrogenados para maíz de EE.UU (Fixen and Ford, 2002).

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.

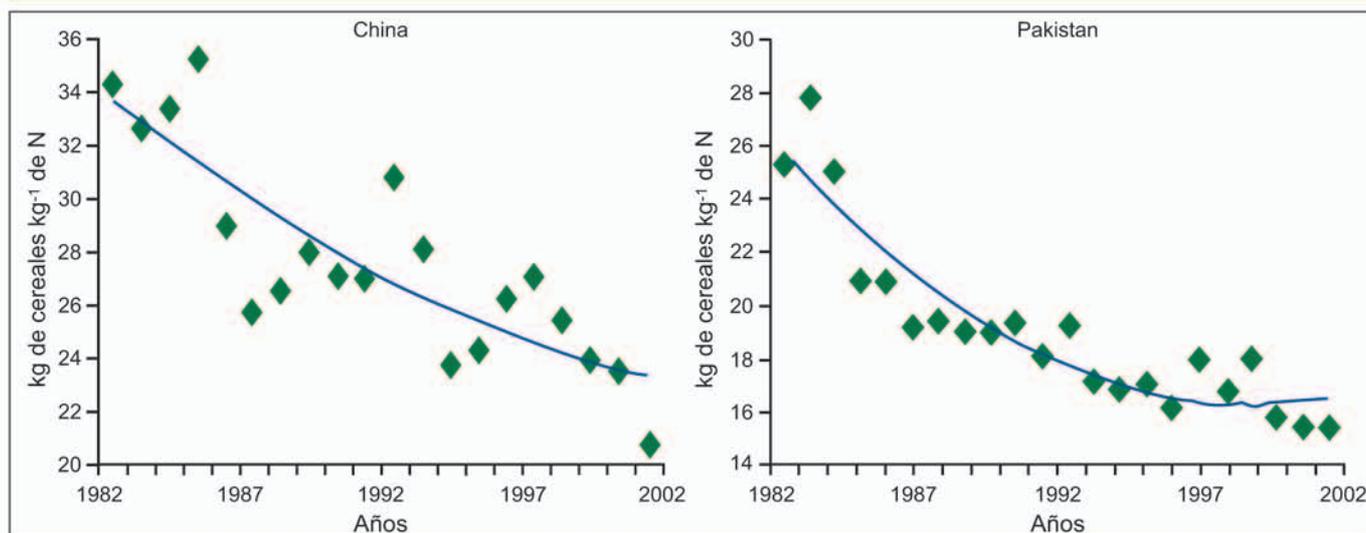


Figura 6. Tendencias en la eficiencia de uso de nitrógeno en la producción de cereales en China y Pakistán (FAO, 2006b e IFA, 2006).

- 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

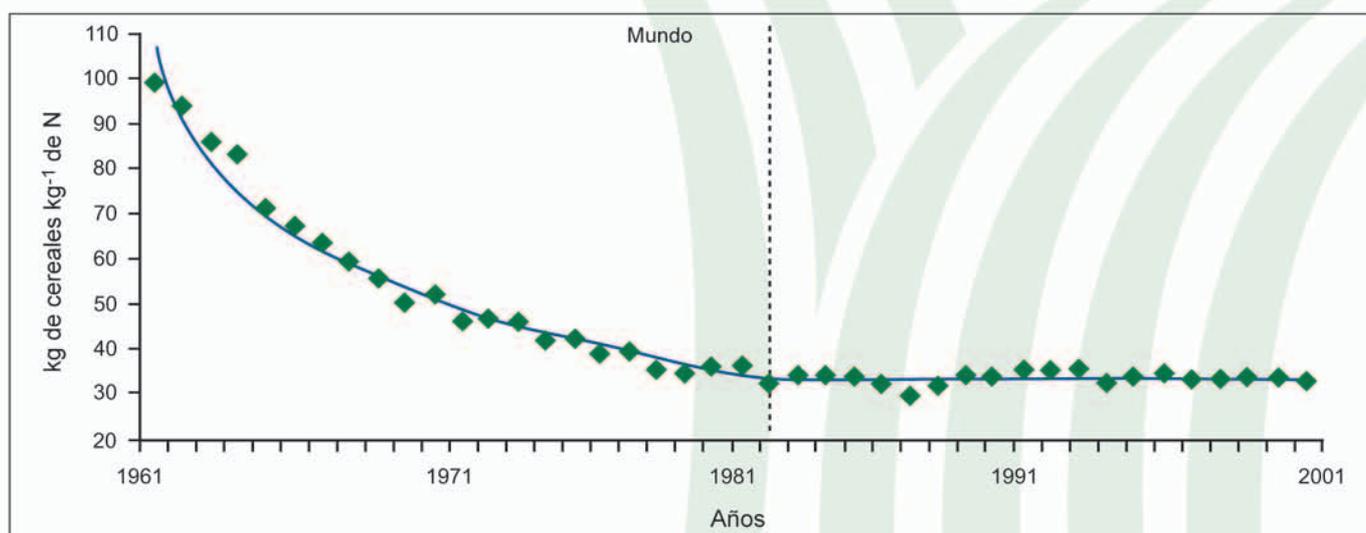


Figura 7. Tendencias en la eficiencia de uso de nitrógeno en la producción global de cereales (FAO, 2006b e IFA, 2006). Datos generados utilizando FAOTAT (FAO, 2006) para la producción de cereales e IFADATA (IFA, 2006) para el consumo de fertilizantes nitrogenados asumiendo que dos tercios del fertilizante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

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. ♦

