

CONTENIDO

	Pág.
Consideraciones en el uso eficiente de nutrientes	1
Biuret en fertilizates de urea	7
Níquel - de nutriente tóxico a nutriente esencial	10
Manejo orgánico de los cultivos y fósforo en el suelo	13
Reporte de Investigación Reciente	15
- Indices en el suelo y en la planta para predecir la respuesta del eucalipto a nitrógeno en Uruguay.	
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.



CONSIDERACIONES EN EL USO EFICIENTE DE NUTRIENTES

W.M. Stewart*

Introducción

Se espera que la población mundial se incremente en más de 40% en los próximos 40-45 años, pasando de los actuales 6.6 billones de personas a 9.4 billones en el año 2050 (U.S. Census Bureau, 2006). En estas condiciones, será necesario incrementar el rendimiento de los cultivos y la eficiencia de la producción para lograr llenar en constante incremento la demanda de alimentos para una población en crecimiento, generalmente con mayor poder adquisitivo. Por ejemplo, se ha estimado que los sistemas de producción de maíz en los Estados Unidos y de arroz en Asia estaban funcionando a un 40-65% del potencial de rendimiento obtenible, y que se necesita un incremento hasta 70-80% del potencial del rendimiento para lograr satisfacer las demandas de alimentos de los próximos 30 años (Dobermann y Cassman, 2002). Adicionalmente, la demanda de biocombustibles provenientes de la agricultura está creciendo rápidamente, haciendo mayor el reto de mejorar la producción. Para lograr esto, serán necesarias estrategias que produzcan rendimientos más altos, que integren también la conciencia ambiental y la rentabilidad del agricultor. El mejor manejo y el incremento en la eficiencia de uso de los nutrientes serán componentes importantes para lograr este objetivo.

Definiciones de eficiencia de uso de nutrientes

El tópico del uso eficiente de nutrientes ha ganado recientemente más atención con el incremento en los costos de fertilizantes y la continua preocupación por el impacto ambiental, particularmente por la calidad del agua, asociada con el uso inapropiado de nutrientes. El incremento de las regulaciones gubernamentales y de programas de incentivos a todos los niveles también aumentan el interés en el tema. Es consenso general que mejorar la eficiencia de los fertilizantes es una labor valiosa que potencialmente puede entregar abundantes beneficios. Sin embargo, es necesario definir precisamente que significa uso eficiente de nutrientes y si la eficiencia difiere entre nutrientes. Además, es también importante precisar como y cuanto se puede mejorar la eficiencia.

Los conceptos de uso eficiente de nutrientes o de fertilizantes generalmente describen que tan bien las plantas o un sistema de producción usan los

* Director de la Oficina para las Planicies Centrales de los Estados Unidos del International Plant Nutrition Institute (IPNI). Correo electrónico: mstewart@ipni.net

Tabla 1. Índices agronómicos de eficiencia de uso de N (Dobermann, 2007).

Término	Cálculos	Rango para N en cereales
Eficiencia aparente de recuperación	$ER = (\text{kg de incremento en absorción de nutriente aplicado}) / (U - U_0)$	0.3 a 0.5 kg kg ⁻¹ ; 0.5 a 0.8 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso de N o a bajo suplemento de N del suelo.
Eficiencia fisiológica	$EF = (\text{kg de incremento en rendimiento de nutriente absorbido}) / (R - R_0) / (U - U_0)$	40 a 60 kg kg ⁻¹ ; >50 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso de N o a bajo suplemento de N del suelo.
Eficiencia interna de utilización	$EI = (\text{kg de rendimiento de nutriente absorbido}) / R/U$	30 a 90 kg kg ⁻¹ ; el rango óptimo es de 55 a 65 con nutrición balanceada a niveles altos de rendimiento.
Eficiencia agronómica	$EA = (\text{kg de incremento en rendimiento de nutriente aplicado}) / (R - R_0) / F = ER \times EF$	10 a 30 kg kg ⁻¹ ; >25 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso de N o a bajo suplemento de N del suelo.
Factor parcial de productividad	$FPP = (\text{kg de rendimiento de nutriente aplicado}) / R/F = (R_0/F) + EA$	40 a 80 kg kg ⁻¹ ; >60 en sistemas bien manejados, a bajo nivel de uso de N o a bajo suplemento de N del suelo.
R = Rendimiento del cultivo con aplicación de nutrientes. R₀ = Rendimiento del cultivo sin aplicación de fertilizantes. F = Dosis del nutriente. U = Absorción del nutriente de la biomasa sobre el suelo a madurez fisiológica. U₀ = Absorción de la planta sin aplicación de fertilizantes.		

nutrientes. La eficiencia puede verse a corto o largo plazo y puede basarse en el rendimiento, recuperación o remoción. Entre las expresiones más comunes de la eficiencia de los fertilizantes está la eficiencia de recuperación (ER). Las definiciones de ER pueden variar dependiendo del compartimento considerado en la recuperación (toda la planta, biomasa sobre suelo, porción cosechada) y las fuentes de nutrientes tomadas en cuenta (fertilizantes, residuos de corral, mineralización, deposición atmosférica) (Bruulsema et al., 2004). Sin embargo, la ER de un nutriente específico como el N se define a menudo como el porcentaje del nutriente recuperado en la biomasa de la planta que se encuentra sobre el suelo durante el ciclo de crecimiento (Cassman et al., 2002). Se ha estimado que la tasa de utilización (eficiencia de recuperación del cultivo) bajo condiciones favorables para N proveniente de fertilizantes es de 50-70%, para P de 10-25% (15% de promedio) y para K de 50-60% (Isherwood, 1990). El autor también menciona que la eficiencia de P y K con el tiempo (múltiples ciclos de crecimiento) deben tomarse en cuenta. En otras palabras, con nutrientes con significativo valor residual o potencial de almacenamiento en

el suelo, como P y K, la ER a largo plazo será significativamente más alta que a corto plazo. Además, la interacción entre nutrientes pueden tener un impacto significativo en la medición de la eficiencia de nutrientes individuales (Aulakh y Malhi, 2004).

La naturaleza y conducta de un nutriente en el suelo es importante para determinar la eficiencia. Los nutrientes con potencial de acumulación en el suelo, como P y K, pueden verse a corto plazo, sin embargo, se prestan más para que su eficiencia y recuperación sean evaluadas a largo plazo. Por otro lado, la eficiencia de N generalmente se evalúa en el corto plazo, o en un solo ciclo de crecimiento, debido a la naturaleza transitoria del N inorgánico (potencial de volatilización, denitrificación y lixiviación). Sin embargo, cuando existe potencial para elevar las reservas de C en el suelo, es más apropiado evaluar la eficiencia de N a largo plazo, debido a que lo que afecta el balance de C también afecta el balance de N ya que la relación C:N de la materia orgánica del suelo es relativamente constante.

En la **Tabla 1** se presentan los índices agronómicos de eficiencia de uso de N (Dobermann, 2007). Estos

índices son ampliamente usados en investigación de la eficiencia del N y otros nutrientes aplicados y son independientes en escala. Estos índices se usan principalmente con la intención de enfatizar la respuesta del cultivo a los fertilizantes y pocas veces se usan en sistemas donde la principal fuente de N son materiales orgánicos o la fijación biológica de la fijación de N (Mosier et al., 2004).

El N ha recibido más atención en lo referente a la evaluación y mejoramiento de la eficiencia. La eficiencia de recuperación del N (ER_N) generalmente se estima de la respuesta individual de un año ya sea por la diferencia de absorción de N entre plantas fertilizadas y no fertilizadas, o usando trazadores isotópicos como el ^{15}N . Los dos métodos están sujetos a error. El error en el método de la diferencia ocurre porque las plantas responden a las deficiencias de nutrientes alterando el crecimiento radicular y por lo tanto la capacidad de las raíces para adquirir nutrientes. Estos mecanismos podrían no ser operativos o compatibles con el tipo de crecimiento de las plantas asociado con niveles altos de rendimiento de plantas fertilizadas. Los estimativos de recuperación usando trazadores isotópicos se confunden con el reciclamiento interno de nutrientes en el suelo. Por ejemplo, la rápida absorción y liberación de amonio y nitrato (ciclo de mineralización-inmovilización) generalmente reduce la concentración del trazador en el N disponible para las plantas. El método de la diferencia tiene menos factores de confusión y por lo tanto se lo prefiere frente a la técnica del trazador isotópico de N (Cassman et al., 2002).

Un estudio reciente evaluó la diferencia en la absorción de N entre lotes fertilizados y sin fertilizar en 56 lotes de maíz en el centro norte de los Estados Unidos (Cassman et al., 2002). Este estudio puede ser usado como ejemplo para demostrar y discutir las diferentes formas de expresar la eficiencia del uso de N. Los detalles se resumen en la **Tabla 2**. La eficiencia de recuperación del N del fertilizante en la biomasa de la porción aérea de la planta (ER_N) fue, en promedio, 37%

del N del fertilizante aplicado. Esto significa que cuando los lotes fueron fertilizados con la dosis óptima (cuyo promedio fue de 103 kg de N ha^{-1}), se incrementó la absorción de N hacia la porción aérea de la planta en 38 kg ha^{-1} (37% de 103). Asumiendo que el grano contiene 56% del N de la porción aérea de la planta, un típico índice de cosecha, solo 21% del N aplicado es removido en el grano. El maíz fertilizado absorbió en promedio 184 kg de N ha^{-1} , 146 del suelo y 38 del fertilizante. La cantidad total de N en el grano sería entonces 56% de 184, o 103 kg de N ha^{-1} , cantidad igual a la aplicada como fertilizante. ¿Cual eficiencia de recuperación es correcta? una recuperación del 21% cuando se estima de la recuperación en el grano de solo un año, o 100% como se calcula usando la absorción total de N (N del suelo + N del fertilizante), asumiendo que el suelo puede continuar el abastecimiento de N a largo plazo. La respuesta no es clara a menos que se entienda la dinámica del ciclo del N a largo plazo.

Los nutrientes aplicados en los fertilizantes que no son absorbidos por el cultivo en un solo ciclo de crecimiento no necesariamente se pierden del sistema y pueden ser utilizados por los futuros cultivos. Esto es particularmente cierto para P y K, pero de alguna forma también es cierto para N, debido a que cierta cantidad de N puede ser temporalmente inmovilizada en la materia orgánica del suelo para luego de un tiempo ser liberada para beneficio de los cultivos. Por esta razón, Dobbermann et al. (2005) usaron el término nivel de eficiencia del sistema para tomar en cuenta la contribución de los nutrientes añadidos a la absorción del cultivo y al suplemento de nutrientes en el suelo.

Optimización de la eficiencia de uso de los nutrientes

Entre las prácticas adecuadas de manejo (PAM) de la nutrición de los cultivos se encuentra la de aplicar nutrientes en dosis, época y localización correctas. Estas prácticas son críticas para lograr óptima eficiencia de uso de los nutrientes.

Tabla 2. Eficiencia del N del fertilizante en maíz de 56 experimentos conducidos en lotes de agricultores en el centro norte de los Estados Unidos (fuente de los datos: Cassman et al., 2002; fuente de los cálculos: Bruulsema et al., 2004).

Promedio de la dosis óptima de N aplicada como fertilizante, kg ha^{-1}	103
N del fertilizante recuperado en el cultivo, kg ha^{-1}	38
Total de N absorbido por el cultivo, kg ha^{-1}	184
N removido en el grano cosechado*, kg ha^{-1}	103
N retornado al campo con los residuos del cultivo, kg ha^{-1}	81
Eficiencia de recuperación del cultivo (38 kg de N recuperados/103 kg de N aplicados), %	37
Eficiencia de remoción del cultivo (103 kg de N aplicados/103 kg de N en el grano), %	100
* Asume un índice típico de cosecha de 56%.	

Dosis correcta: El rendimiento de la mayoría de los cultivos es específico del sitio y época del año y dependen del cultivar, prácticas de manejo y clima, etc., por esta razón, es crítico que se establezcan metas de rendimiento reales y que se apliquen nutrientes para lograr esta meta. La aplicación de cantidades menores o mayores a las necesarias resulta en una pobre eficiencia de uso de los nutrientes o en pérdidas en el rendimiento y calidad del cultivo. El análisis de suelo sigue siendo una de las mejores herramientas para determinar la capacidad del suelo para suplementar nutrientes, pero para ser útil en el diseño de adecuadas recomendaciones de fertilización es necesario una buena calibración.

A medida que la tecnología y los sistemas de cultivo cambian y mejoran es importante que las recomendaciones basadas en análisis de suelo sean periódicamente evaluadas. Un ejemplo de esta condición se ha mostrado en un reciente trabajo con maíz de rendimientos altos en el centro norte de Kansas, Estado Unidos (Gordon, 2005). Las dosis de nutrientes recomendadas en la época de este estudio por el laboratorio público de la localidad se compararon con dosis consideradas como más consistentes para la producción de maíz de altos rendimientos. Los resultados se muestran en la **Figura 1**. Este esfuerzo de 5 años demostró la necesidad de la calibración de los análisis del suelo y de investigación en manejo de fertilizantes para rendimientos altos. Además, se demostró que las recomendaciones estándar no hubiesen producido rendimientos más altos.

Los nutrientes no funcionan aisladamente. Es importante la interacción entre nutrientes ya que la deficiencia de uno limita la absorción y uso de otro. Numerosos estudios han demostrado la importancia del balance de

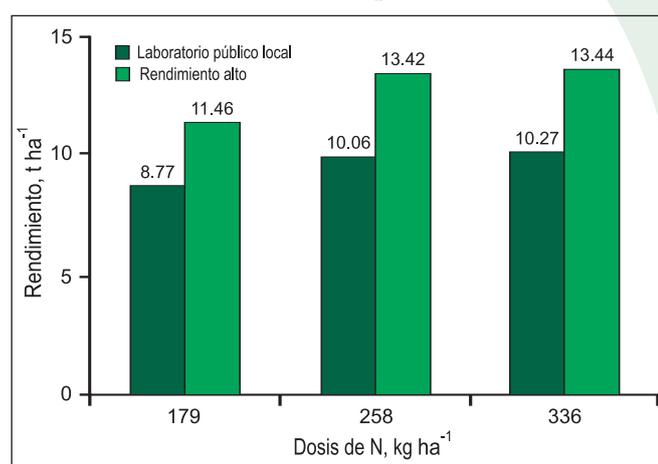


Figura 1. Efecto de la aplicación de nutrientes en el rendimiento de maíz bajo riego (Gordon, 2005). Los tratamientos para N, P, K y S fueron: I recomendación del laboratorio público: 15 kg de P ha⁻¹, sin K, sin S; II rendimiento alto: 50 kg de P ha⁻¹, 74 kg de K ha⁻¹, 45 kg de S ha⁻¹. Rendimiento promedio de 3 años y 2 poblaciones de plantas en un suelo franco arenoso.

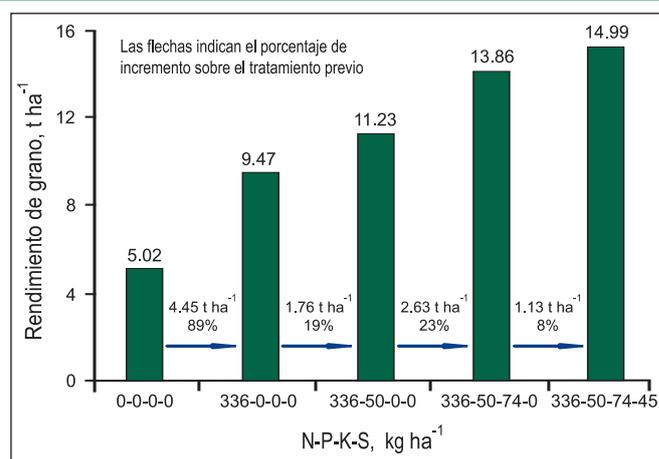


Figura 2. Respuesta de maíz bajo riego a la aplicación de nutrientes (Gordon, 2005). Promedio de 3 años en un suelo franco arenoso.

nutrientes. Por ejemplo, en el estudio de maíz de altos rendimientos en Kansas mencionado anteriormente (Gordon, 2005) se añadieron tratamientos para evaluar el impacto de los nutrientes individuales y en combinación. La **Figura 2** muestra el incremento en el rendimiento a una dosis constante de N (336 kg ha⁻¹) con la adición de P, K y S individualmente. El FPP de N (kg de rendimiento kg⁻¹ de N) se incremento de 28 con solamente N a 45 con la aplicación de N, P, K y S. El desbalance de nutrientes y la consecuente reducción de la eficiencia puede resultar en un mayor potencial de pérdida de nutrientes al ambiente. Esto se demostró en un estudio de maíz a largo plazo en el oeste de Kansas, Estados Unidos, que comparó la aplicación de solamente N con la aplicación de N+P (Schlegel et al., 1996). Después de 30 años de iniciado el experimento se midió el contenido de N como nitrato a una profundidad de 3 m en las parcelas de los tratamientos con N y N+P. A la dosis óptima de N, el contenido de nitrato (la fracción más vulnerable a pérdida) se redujo en 66% cuando se aplicó P conjuntamente, en comparación con el tratamiento donde solo se aplicó N (**Figura 3**). Fixen (2005) calculó la eficiencia de recuperación aparente (ER_N) para los tratamientos del estudio y encontró que fertilización complementaria con P incrementó la ER_N del maíz en todas las dosis de N. Además, la ER_N a los niveles óptimos de N se incrementó desde menos 40% en el tratamiento sin P hasta más de 70% en el que incluye P.

La remoción de nutrientes por los cultivos también es un importante factor a considerar en la determinación de las dosis de nutrientes a utilizarse. Si los nutrientes removidos en el grano cosechado y en la biomasa del cultivo no son reemplazados, la fertilidad del suelo se agota eventualmente. Esto es particularmente cierto en pastos de corte donde toda la biomasa aérea se remueve en la cosecha. Un buen ejemplo de que tan rápido se agotan los nutrientes del suelo con la producción de forrajes es el estudio con pasto bermuda conducido al

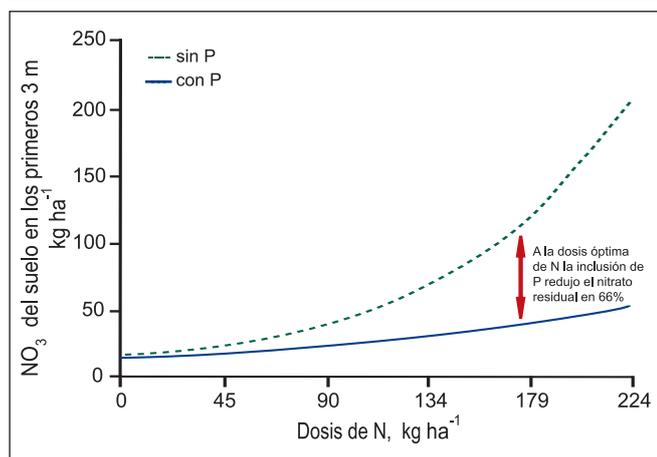


Figura 3. Efecto de la nutrición balanceada en el nitrato residual después de 30 años de producción de maíz al oeste de Kansas, Estados Unidos (Schlegel et al., 1996).

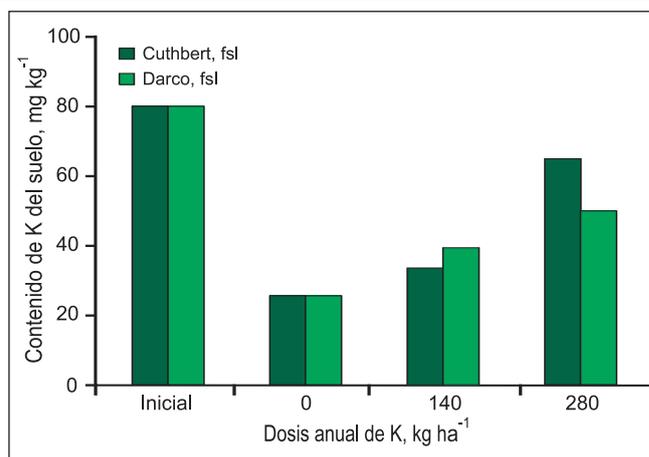


Figura 4. Contenido de K en el suelo después de años de producción de forraje de pasto bermuda bajo diferentes tratamientos de fertilidad en el este de Texas, Estados Unidos (Nelson et al., 1983).

este de Texas, Estados Unidos (Nelson et al., 1983). La **Figura 4** muestra el impacto de la pobre aplicación de K en el contenido de este nutriente en dos tipos de suelos después de solamente 3 años de producción de forraje. Donde no se aplicó el nutriente, el contenido de K en el suelo se redujo a un tercio de su valor original en ambos suelos (de 80 a 25 ppm de K).

Epoca correcta: Es necesario una mayor sincronización entre la demanda del cultivo y el suplemento de nutrientes del suelo para mejorar la eficiencia de uso de los nutrientes, especialmente N. El fraccionamiento de las aplicaciones de N durante el ciclo de crecimiento, en lugar de una sola aplicación de todo el N antes de la siembra, se conoce que es una práctica efectiva para incrementar la eficiencia de uso de N (Cassman et al., 2002). El análisis del tejido es un método muy conocido para determinar el contenido de N en los cultivos en crecimiento, pero también existen otras herramientas de diagnóstico como el medidor de clorofila y tabla de comparación de colores. Los sensores que miden el contenido de N en el suelo instantáneamente se encuentran al momento disponibles en el mercado y se pueden acoplar con equipo de aplicación dosis variable de fertilizantes para corregir automáticamente las deficiencias de N en el cultivo por sitio específico (Raun et al., 2004).

Otra estrategia para mejorar la sincronización entre la aplicación y la absorción es el uso de fertilizantes con mayor eficiencia. La Asociación Americana de Oficiales de Control de Fertilizantes ha definido a los fertilizantes de mayor eficiencia como productos que tienen características que minimizan el potencial de pérdidas de nutrientes hacia el ambiente, en comparación con productos solubles de referencia (AAPFCO, 2006). Dentro de la clase de fertilizantes se incluyen compuestos orgánicos sintéticos de lenta solubilidad que contienen N, los fertilizantes

nitrogenados solubles rodeados por una barrera física o recubrimiento que impide la liberación y fertilizantes nitrogenados estabilizados (fertilizantes nitrogenados tratados con inhibidores de ureasa y/o nitrificación).

La mayoría de fertilizantes de lenta liberación son más caros que los fertilizantes nitrogenados solubles en agua y tradicionalmente se han usado en cultivos especiales de alto valor. Sin embargo, las mejoras tecnológicas han reducido los costos de manufactura al punto que fertilizantes de liberación controlada se han hecho disponibles para uso en maíz, cebada y otros granos (Blaylock y Tindall, 2006). Entre los productos con más posibilidades para su uso agrícola están aquellos recubiertos con polímeros que liberan nutrientes de una forma predecible y controlada con el objetivo de sincronizar mejor la liberación del nutriente con la demanda del cultivo. Las tasas de liberación de nutrientes se pueden controlar ajustando el grosor y propiedades del polímero de recubrimiento. Los productos recubiertos de polímeros han sido extensivamente evaluados en el cinturón maicero de los Estados Unidos en los últimos años. La **Figura 5** resume 247 comparaciones entre urea recubierta con polímeros con urea normal y solución urea nitrato de amonio. La urea recubierta con polímeros fue mejor que los materiales solubles en 71% de las comparaciones, con el incremento más dramático en rendimiento en aquellos ambientes donde el potencial para pérdida de N era mayor (Blaylock y Tindall, 2006).

La tecnología de estabilización de N ha estado disponible para la agricultura comercial por muchos años. El uso de estos materiales ha crecido en los Estados Unidos en los últimos años debido a los precios más altos del N y al incremento en el uso de urea. Los estabilizadores de nitrógeno inhiben ya sea la nitrificación (nitrapyrin, DCD [dicyandiamide]) o la actividad de la ureasa (NBPT). En el primer caso se

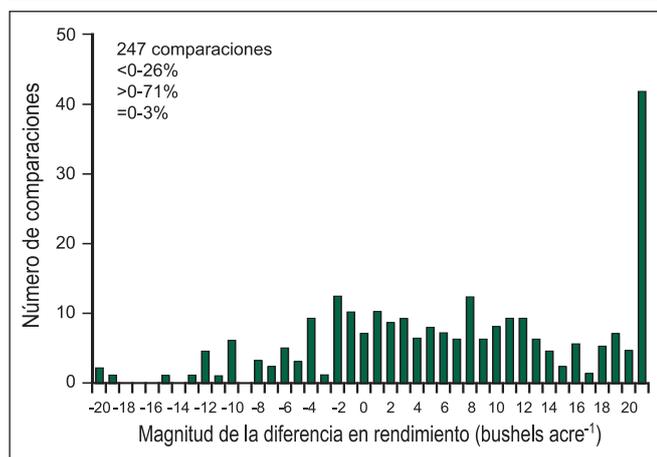


Figura 5. Diferencia en la respuesta en rendimiento de maíz con el uso de urea recubierta con polímeros y fuentes solubles de referencia (urea y solución urea nitrato de amonio) (Blaylock y Tindall, 2006). La diferencia en rendimiento se obtiene de la substracción del rendimiento con urea o solución urea nitrato de amonio del rendimiento obtenido con urea recubierta con polímeros a la misma dosis de N. Se juntaron los datos de experimentos replicados y experimentos en fajas conducidos por agricultores en sus lotes.

reduce la conversión del N en el fertilizante a nitrato y en el segundo caso se reduce el riesgo de volatilización del amonio de la urea (Havlin et al., 2005). Cuando las condiciones ambientales y de suelo son favorables para la volatilización o para la pérdida de nitrato, el uso de un estabilizador tiene el potencial para incrementar la eficiencia de N.

Localización correcta: La colocación de fertilizantes siempre ha sido una importante consideración en el manejo de nutrientes. El determinar el lugar correcto puede ser tan importante como determinar la dosis correcta de aplicación. Existen numerosas opciones de localización, pero la mayoría generalmente se relacionan con aplicaciones superficiales o sub-superficiales de nutrientes ya sea en banda o al voleo antes o después de la siembra. En general, la eficiencia de recuperación de nutrientes tiende a ser mayor en las aplicaciones en banda ya que se reduce el contacto con el suelo y la posibilidad de pérdida de nutrientes debido a lixiviación o reacciones de fijación. Las decisiones de localización del fertilizante dependen del cultivo y de las condiciones del suelo, además de la disponibilidad de equipos y productos.

La labranza del suelo en faja se ha convertido en una práctica popular de labranza de conservación en muchas áreas en las planicies de los Estados Unidos. La labranza en fajas ayuda a superar algunos problemas asociados con la siembra directa (condiciones frías y húmedas al inicio de la temporada). También ofrece nuevas opciones para localización de fertilizantes comparado con la siembra directa. Durante las

operaciones de labranza, generalmente en otoño, los nutrientes se pueden localizar a varios centímetros de profundidad (15-20 cm), directamente abajo de la cama de siembra. Adicionalmente, muchos agricultores aplican fertilizantes de arranque durante las operaciones de siembra en la primavera. Esta combinación puede ser agronómica y económicamente eficiente al suplir parte o todos los requerimientos de nutrientes del cultivo (Kansas State University, 2004; Irrigation Research Foundation, 2006).

Conclusiones

La eficiencia de uso de nutrientes y sus varias expresiones no deben confundirse con manejo efectivo de nutrientes. A menudo se pueden conseguir eficiencias más altas al reducir las dosis y sacrificar el rendimiento, pero generalmente esto no es económico o sostenible. En un trabajo clásico Dibb (2000) discutió la importancia de considerar la eficiencia y la viabilidad económica total dentro del sistema de producción de alimentos. El autor señala que la eficiencia de uso de los nutrientes, la eficiencia de uso del suelo, el retorno económico y la protección ambiental son componentes que definen y determinan la sostenibilidad actual y la del futuro. Roberts (2006) apropiadamente indicó que “El mejorar la eficiencia de uso de nutrientes es una meta válida y un reto fundamental que debe enfrentar la industria de fertilizantes y agricultura en general”. Las oportunidades aparecen y existen las herramientas para lograr el objetivo de mejorar la eficiencia de los nutrientes aplicados. Sin embargo, debemos evitar que las mejoras en eficiencia se produzcan a expensas de la viabilidad económica de los agricultores o del ambiente. Se deberá utilizar en forma juiciosa las PAM ... dosis, época y localización correctas ... para lograr el objetivo de alcanzar rendimientos altos y eficiencia en el uso de nutrientes, esto beneficia por igual a los agricultores, la sociedad y el ambiente.

Bibliografía

- AAPFCO. 2006. Official publication No. 59. <http://www.aapfco.org>
- Aulakh, M.S. and S.S. Malhi. 2004. Fertilizer nitrogen use efficiency as influenced by interactions with other nutrients. In A.R. Mosier, J.K. Syers, and J.R. Freney (eds.) Agriculture and the nitrogen cycle. SCOPE (Scientific Committee on Problems of the Environment). 65:181-191.
- Blaylock, A. and T. Tindall. 2006. Advances in slow-release nitrogen fertilizers. In Proceedings of the Great Plains Soil Fertility Conference. Denver, Colorado. March 7-8, 2006. p. 37-43.
- Bruulsema, T.W., P.E. Fixen, and C.S. Snyder. 2004. Fertilizer nutrient recovery in sustainable cropping systems. Better Crops. 88(4):15-17.

- Cassman, K.G., A. Dobermann, and D. T. Walters. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency, and nitrogen management. *Ambio*. 31(2):132-140.
- Dibb, D.W. 2000. The mysteries of nutrient use efficiency. *Better Crops* 84(3):3-5. <http://www.ipni.net/ppiweb>
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency-measurement and management. Proc. of International Fertilizer Industry Association (IFA) Workshop on Fertilizer Best Management Practices. Brussels, Belgium. March 7-9.
- Dobermann, A. and K.G. Cassman. 2002. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. *Plant and Soil*. 247:153-175.
- Dobermann, A., K.G. Cassman, D.T. Waters, and C. Witt. 2005. Balancing short and long-term goals in nutrient management. In Proceedings of the XV International Plant Nutrient Colloquium, Beijing, China. Sep. 14-16.
- Fixen, P.E. 2005. Understanding and improving nutrient use efficiency as an application of information technology. Proceedings of the Symposium on Information Technology in Soil Fertility and Fertilizer Management, a satellite symposium at the XV International Plant Nutrition Colloquium, Beijing, China. Sep. 14-16.
- Gordon, W.B. 2005. Maximizing Irrigated Corn Yields in the Great Plains. *Better Crops*. 89(2):8-10. <http://www.ppi-ppic.org/ppiweb>
- Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, and W.L. Nelson. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management*. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey. 7th ed., pp. 153-157.
- Isherwood, K.F. 1990. IFA, 5th AFA International Annual Conference, 1999, Cairo, Egypt. <http://www.fertilizer.org>
- Irrigation Research Foundation. 2006. <http://www.irf-info.com>
- Kansas State University. 2004. Agronomy field research. Report of progress 928. Manhattan, KS.
- Mosier, A.R., J.K. Syers, and J.R. Freney. 2004. Agriculture and the nitrogen cycle. Appendix. SCOPE (Scientific Committee on Problems of the Environment). 65:279.
- Nelson, Keisling and Rouquette. 1983. Potassium rates and sources for coastal bermudagrass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47(5):963-966.
- Raun, W.R., G.V. Johnson, F.B. Solie, M.L. Stone, K.L. Martin, and K.W. Freeman. 2004. In season fertilizer nitrogen rates using predicted yield potential and the response index. *Better Crops*. 88(2):8-11. <http://www.ipni.net/ppiweb>
- Roberts, T.L. 2006. Improving nutrient use efficiency. In Proceedings of the IFA Agriculture Conference, Optimizing Resource Use Efficiency for Sustainable Intensification of Agriculture. Kunming, China.
- Schlegel, A.J., K.C. Dhuyvetter, and J.L. Havlin. 1996. Economic and environmental impacts of long-term nitrogen and phosphorus fertilization. *J. Prod. Agric.* 9:114-118.
- U.S. Census Bureau. 2006. International Data Base. <http://www.census.gov/ipc>
- 