

CONTENIDO

Pág.

Eficiencia de uso del nitrógeno: desafíos mundiales, tendencias futuras 1

Principios básicos de la eficiencia de fósforo y potasio 6

Pérdidas de nitrógeno por volatilización e implicaciones en el rendimiento de maíz 10

Reporte de Investigación Reciente 14

- Distribución del sistema radicular de la caña de azúcar en función de la fertilización nitrogenada por dos métodos de evaluación: monolito y barreno
- Manejo del nitrógeno en papa bajo riego con labranza convencional y labranza reducida
- Alteraciones anatómicas y estructurales en genotipos de soya provocadas por desórdenes nutricionales causados por manganeso

Cursos y Simposios 15

Publicaciones Disponibles 16

Editores : Dr. José Espinosa

Dr. Raúl Jaramillo

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



IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

Misión: Desarrollar y promover la información científica sobre el manejo responsable de la nutrición de las plantas para beneficio de la humanidad

EFICIENCIA DE USO DEL NITROGENO: DESAFIOS MUNDIALES, TENDENCIAS FUTURAS

Cliff S. Snyder¹

Introducción

Las demandas mundiales de alimentos, fibra y biocombustibles asociadas con el crecimiento de la población hacen necesario un énfasis en el incremento de la producción mundial de cultivos. A medida que se incremente el uso de fertilizantes nitrogenados aumentará también la preocupación por los efectos ambientales de dicho aumento. Se estima que mucho del crecimiento en el uso de fertilizantes portadores de N ocurrirá en regiones tropicales y subtropicales del planeta y en consecuencia se espera que las futuras deposiciones de N aumenten en estas regiones. Por esta razón, existe una urgente necesidad de incrementar la eficiencia de uso y la efectividad de los fertilizantes nitrogenados en los sistemas de cultivo, especialmente en estas regiones del mundo.

Ultimamente se ha percibido la importancia de las interacciones “nitrógeno-carbono-clima” y se han planteado inquietudes acerca de los efectos de la disponibilidad del nitrógeno (N) en el secuestro de carbono (C) en la biósfera terrestre y las implicaciones de este proceso en la mitigación del cambio climático. Si se considera el vínculo entre el N y C en la materia orgánica del suelo y el vínculo entre el ciclo del N y del C, es claro en que los agrónomos y los científicos del suelo juegan un importante papel frente a los significativos desafíos provenientes de las presiones agronómicas y ambientales asociadas con el crecimiento de la población mundial, tanto desde la perspectiva económica de corto plazo, como de la perspectiva de sostenibilidad a largo plazo. Se necesita conducir más investigación agrícola para cuantificar de mejor manera los efectos del manejo de los cultivos y del manejo del N en la magnitud de las pérdidas de este elemento del sistema suelo-cultivo por medio de los procesos de volatilización, lixiviación, denitrificación y escorrentía.

Pérdidas de N vía óxido nitroso

De los tres gases de efecto invernadero (GEI) [dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O)] más prominentes, el CO₂ producido por todos los sectores económicos es el dominante con 77 % del total. Las emisiones de CH₄ representan el 15 % y las del N₂O el 8 % de las emisiones globales de CO₂ equivalente (EPA, 2006). Estos tres GEI difieren en la

¹ Director del Programa del Nitrógeno del International Plant Nutrition Institute (IPNI). Correo electrónico: csnyder@ipni.net

capacidad para atrapar calor y en la tasa de descomposición en la atmósfera. Se considera que las unidades de masa de CH_4 y de N_2O tienen 23 y 296 veces el potencial de calentamiento global (PCG), respectivamente, de una unidad de CO_2 por un periodo de tiempo de 100 años (IPCC, 2001).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) estimó las emisiones de GEI distintos del CO_2 (N_2O y CH_4) por país. China, Brasil, India y los Estados Unidos presentaron los incrementos absolutos más altos en las proyecciones de las emisiones de GEI distintos del CO_2 entre 1990 y el año 2020 (EPA, 2006).

La agricultura contribuyó con el 32 % (13 360 Tg o millones de toneladas) de los 41 382 Tg de emisiones de CO_2 equivalente de GEI en el año 2000. Se considera que el 63 % de los GEI de la agricultura son gases distintos al CO_2 (EPA, 2006). Baumert y colaboradores (2005) reportaron que en el año 2004, alrededor del 15 % de los GEI estuvieron asociados con la agricultura. Los países que tuvieron el porcentaje más alto del sector agrícola global fueron: China 18 %, India 11 %, Unión Europea 9 %, Estados Unidos 9 % y Brasil 8 %. Cada uno de los países incluidos en el siguiente grupo: Pakistán, Indonesia, Argentina, Rusia, Francia, Australia y Alemania tuvieron una contribución individual de alrededor de 2 % de las emisiones de GEI provenientes de la agricultura. Todos los otros países contribuyeron individualmente con 1 % o menos. Se considera que las actividades de manejo del suelo contribuyeron con el 40 % de las emisiones de GEI provenientes de la agricultura. De este porcentaje, el 45 % corresponde a emisiones de N_2O y 46 % a emisiones de CH_4 , en base a CO_2 equivalente. Se conoce que las emisiones de GEI varían dependiendo del uso y manejo del suelo.

En general, en los países desarrollados la contribución de la agricultura es pequeña en comparación con la contribución total de emisiones de GEI de los otros sectores económicos, pero las emisiones causadas por actividades agrícolas pueden representar un alto porcentaje del total de las emisiones de GEI en los países en desarrollo. Por ejemplo, el sector agrícola de India fue responsable del 24 % (aproximadamente 412 Tg de equivalentes de CO_2) de las emisiones del país en el año 2005, mientras que ésta fue menor a 7 % (aproximadamente 413 Tg de equivalentes de CO_2) en los Estados Unidos, en el año 2007. Se proyecta que las emisiones de N_2O de los suelos agrícolas se incrementen hasta el 2020, siendo China, América Latina, África y el Sureste Asiático los responsables de la mayor parte de este incremento (EPA, 2006). Los factores que causan este incremento en emisiones de N_2O son las actividades agrícolas y ganaderas y el incremento en el uso de fertilizantes nitrogenados, necesario para cubrir las demandas impuestas por el aumento de la población.

Pérdidas de N vía volatilización

La urea es la fuente de N que más se utiliza en el mundo y las pérdidas por volatilización del N en forma de amoníaco (NH_3) pueden ser superiores al 45 %, cuando la urea se aplica a la superficie del suelo en condiciones de alta temperatura y humedad. Se estima que la volatilización de NH_3 proveniente de los fertilizantes nitrogenados es de 18 % en los países en desarrollo (basándose en las fuentes de N utilizadas y en las condiciones ambientales prevalentes), mientras que las pérdidas por volatilización de NH_3 en los países industrializados es de 7 %. La mediana mundial de las pérdidas de NH_3 proveniente de los fertilizantes nitrogenados es de 14 %, mientras que las pérdidas de los residuos de corral (estiércol y orina) es de 23 %.

Cuando se aplica urea o residuos de corral a la superficie del suelo y no se incorporan, especialmente en ambientes húmedos y cálidos, buena parte del N puede perderse por volatilización de NH_3 . Estas pérdidas pueden ser superiores al 50 % cuando se aplica urea a arroz de transplante en Asia. Las mayores pérdidas ocurren durante las primeras tres semanas después del transplante, de 7 a 10 días después de la aplicación del N. La volatilización de NH_3 puede ser mayor al 30 % del N aplicado en arroz sembrado directamente y manejado bajo inundación al sur de los Estados Unidos, si se demora la inundación por más de 14 días luego de la aplicación de la urea a la superficie del suelo. La mayor pérdida de NH_3 se presenta también entre los 7 y 10 días luego de la aplicación de la urea si el riego se demora, pero si la inundación ocurre inmediatamente luego de la fertilización, para incorporar la urea aplicada en la superficie de suelo seco, se minimizan las pérdidas y optimiza la recuperación del N aplicado por el cultivo.

A pesar que la aplicación de urea en banda sub-superficial en cereales de grano pequeño es una práctica común en las zonas de producción más secas (por ejemplo las planicies de los Estados Unidos y Canadá), se ha encontrado que en suelos ácidos secos puede ocurrir un incremento en la hidrólisis de la urea que eleva el pH (hasta 8.7) alrededor de la banda, incrementando de este modo las pérdidas de NH_3 . Se ha reportado que las pérdidas de NH_3 fueron de 16 % cuando la urea se aplicó al voleo y luego se incorporó y del 27 % cuando la urea se colocó en banda sub-superficial en suelos arcillo limosos. Sin embargo, las pérdidas de NH_3 fueron menores al 5 % cuando se utilizó urea recubierta con polímeros o con inhibidores de la ureasa y se aplicó el material a la superficie y no se incorporó (Rochette et al., 2009).

Los resultados de estos estudios de volatilización de NH_3 en ambientes contrastantes enfatizan la importancia de conocer los factores que gobiernan la volatilización del NH_3 y la necesidad de recomendaciones de manejo

Tabla 1. Definiciones simples de eficiencia de uso del nitrógeno (EUN) (Snyder y Bruulsema, 2007).

Término EUN	Cálculo	Ejemplos reportados
PPF _N Productividad parcial del factor N	R/D	40 a 80 unidades de grano de cereal por unidad de N
EA _N Eficiencia agronómica del N aplicado	(R-R ₀)/D	10 a 30 unidades de grano de cereal por unidad de N aplicado
BPN _N Balance parcial de N (relación de remoción a uso de N)	U _C /D	0 a más de 1.0: depende de la fertilidad del suelo y de los objetivos de mantenimiento de esta fertilidad <1: sistemas deficientes en nutrientes (mejoramiento de la fertilidad) >1: condiciones de exceso en el sistema Ligeramente menos que 1 a 1 (sostenibilidad del sistema)
ER _N Eficiencia aparente de recuperación del N	(U-U ₀)/D	0.3 a 0.5: típica recuperación de N en cereales 0.5 a 0.8: recuperación de N en cereales con mejor manejo
D = cantidad de N aplicado (como fertilizante, residuos, etc.) R = rendimiento de la porción cosechada del cultivo con la aplicación de N R₀ = rendimiento del tratamiento control sin la aplicación de N U_C = contenido de N de la porción cosechada del cultivo U = acumulación total de N en la biomasa aérea del cultivo con la aplicación de N U₀ = acumulación total de N en la biomasa aérea del cultivo sin aplicación de N		

desarrolladas localmente, que sean específicas para el sitio, en lugares donde se manejan mezclas de fertilizantes que contienen urea.

Reducción de las pérdidas al ambiente mejorando la eficiencia y efectividad de los nutrientes

La eficiencia en el uso del N proveniente de los fertilizantes (EUN) está generalmente influenciada por tres factores: 1) suministro de N del suelo, fertilizantes y otras entradas, 2) adquisición del N por el cultivo y 3) pérdidas del sistema suelo-planta (Ladha et al., 2005). Cada uno de estos factores está afectado por el sistema de manejo del cultivo y las condiciones ambientales. Debido al riesgo de confusión entre los términos de eficiencia, Snyder y Bruulsema (2007) recomendaron el uso de cuatro términos simples que pueden utilizarse fácilmente en el trabajo de campo por extensionistas, consultores y agricultores para evaluar y monitorizar la eficiencia de uso de un nutriente (por ejemplo N) (Tabla 1).

La PPF_N para el maíz en los Estados Unidos ha mejorado continuamente desde mediados de los años 70, reflejando el efecto de la utilización de mejores prácticas de manejo de los fertilizantes, mejores prácticas de manejo del sistema de cultivo y mejoras a la genética del maíz.

Aun cuando la PPF_N para el maíz ha mejorado en los Estados Unidos en las tres últimas décadas, existe preocupación de que el incremento en el consumo de fertilizantes nitrogenados en la cuenca hidrográfica del río Mississippi, en la que se produce más del 80 % del maíz y que consume más del 80 % del fertilizante del país, pueda provocar un incremento en el flujo del N por

el río Mississippi al Golfo de México. Se considera que este incremento en el flujo de N es parcialmente culpable de la eutrofización de la costa y del desarrollo de hipoxia estacional en el norte del Golfo de México (EPA, 2008). Sin embargo, gracias en gran medida al incremento en rendimiento y la consecuente absorción de N por esta mayor cosecha de maíz en la sub cuenca del alto Mississippi y en la sub cuenca Ohio-Tennessee, el flujo de N que llega al Golfo de México se ha reducido en 21 % desde el año 2001 hasta el 2005, en comparación con el período de 1980 a 1996 (EPA, 2008). Estas dos sub cuencas reciben más del 70 % del total de N que se descarga en el río Mississippi (EPA, 2008; Snyder, 2008b).

Si se mejora la eficiencia de uso y la efectividad del N, serían de esperarse reducciones correspondientes en muchas de las pérdidas de N al ambiente, especialmente en términos de pérdidas de N por unidad de cultivo cosechada. Por ejemplo, la EPA indica que mejorar en 25 % la eficiencia de absorción de N por el cultivo sería una de las acciones más importantes para reducir la carga de N.

El adecuado manejo de los fertilizantes, aplicando los cuatro fundamentos básicos de la nutrición: fuente correcta, en la dosis, época y localización correctas (4Fs), conduce a una mejor y más económica producción de cultivos y minimiza los efectos en el ambiente. La adopción de los 4Fs (Bruulsema et al. 2009), la implementación de las mejores prácticas de manejo de fertilizantes (MPMF) (Bruulsema et al., 2008; IFA, 2007) y el manejo de nutrientes por sitio específico (MNSE) ayudan a conseguir los resultados

económicos y ambientales esperados (Adviento-Borbe et al., 2007; Dobermann y Fairhurst, 2000; Dobermann y Cassman, 2002; Fixen et al., 2005; Snyder, 2008a; Snyder et al., 2007, 2009).

A pesar de que el N del suelo y el N proveniente de los fertilizantes y residuos de corral es utilizado, en términos globales, en forma relativamente ineficiente por la mayoría de los cultivos, con una eficiencia de uso de 50 % o menos (Balasubramanian et al., 2004; Ladha et al., 2005), esta eficiencia de uso se puede incrementar a 60 o 70 % con mejor manejo en muchos sistemas de cultivo del mundo (Cassman et al., 2002; Kitchen y Goulding, 2001; Ladha et al., 2005; Raun y Johnson, 1999). Estudios de Dobermann y Cassman (2002) reportaron que la típica ER_N a nivel de finca era de solamente 30 % en arroz y del 37 % en maíz, pero que con buen manejo la ER_N puede llegar a un rango entre 50 y 80 %. Se espera que el incremento en ER_N de los cultivos pueda reducir las pérdidas potenciales de N que amenazan los recursos agua y aire y que reducen la rentabilidad del cultivo.

Información reportada en la literatura de estudios que utilizaron fertilizante marcado con ^{15}N indica que la máxima recuperación de N lograda en trigo (*Triticum aestivum* L.) con riego en parcelas experimentales fue del 96 % (Balasubramanian et al., 2004), 87 % para maíz con riego y 83 % en parcelas de investigación con arroz el año de aplicación (Krupnik et al., 2004). La recuperación del N residual por los siguientes cultivos fue de 5 % o menos, lo que indica que muchas de las pérdidas al ambiente ocurren durante o inmediatamente después del año de aplicación del N (Krupnik et al., 2004). Investigación conducida con cereales por Dobermann (2007) demostró que la ER_N total de una aplicación individual de N es, en promedio, de 50 a 60 % en condiciones experimentales y que en condiciones de finca es de 40 a 50 %, en la mayoría de los casos. A pesar de que varios otros factores, además del manejo del N, influyen el crecimiento del cultivo y la respuesta a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, los datos de los artículos revisados demuestran la considerable diferencia entre la ER_N en muchos campos de agricultores y la ER_N que se puede conseguir en parcelas de investigación.

La porción de N que no fue tomada por el cultivo, o por el sistema de cultivos, puede almacenarse en el suelo o perderse del sistema. El uso de dosis de N económicamente óptimas reduce la acumulación de nitrato (NO_3^-) residual en el perfil del suelo (Hong et al., 2007). Un estudio de largo plazo conducido en las planicies de Norte América en el que se compararon las respuestas del maíz al N, con y sin adición de P, demostró que una adecuada fertilización con P para cubrir las demandas de una adecuada nutrición aumentó

los rendimientos en 42 %, mejorando los retornos económicos y reduciendo en 66 % las pérdidas de NO_3^- del perfil (Schlegel et al., 1996). Se ha demostrado que una adecuada nutrición con K también puede mejorar la ER_N y reducir las pérdidas de NO_3^- (Johnson et al., 1997). Estudios de maíz de alto rendimiento conducidos por Gordon (2005) en el estado de Kansas, Estados Unidos, demostraron que la utilización de cantidades adecuadas de los principales nutrientes esenciales, incluyendo el azufre (S) puede incrementar de manera significativa el rendimiento y la ER_N .

Conclusiones

El manejo de N en los sistemas de producción de cultivos se debe basar en principios científicos. Los principios fundamentales de la nutrición, fuente correcta de N, en la dosis, época y localización correctas (4F), debe ser la base de cada decisión de uso de nutrientes tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo. Los investigadores en universidades e instituciones de investigación, los líderes en extensión, las agencias gubernamentales, los asesores, los representantes de la industria de fertilizantes y los agricultores necesitan trabajar conjuntamente para implementar una estrategia de mejor manejo del N. La eficiencia de uso del N puede mejorarse con un enfoque de los "4Fs" y así elevar los valores de ER_N del rango típico de menos del 50 % a 60-70 % o más. Los esfuerzos para mejorar el manejo del N pueden simultáneamente reducir las pérdidas de N al ambiente. A medida que el crecimiento poblacional promueve la reducción de áreas naturales y limita la disponibilidad de tierra con vocación para la producción agrícola, el manejo de nutrientes por sitio específico utilizando el enfoque de los "4Fs" se vuelve cada vez más importante.

Bibliografía

- Adviento-Borbe, M.A.A., M.L. Haddix, D.L. Binder, D.T. Walters, and A. Dobermann. 2007. Soil greenhouse gas fluxes and global warming potential in four high-yielding maize systems. *Glob. Change Biol.* 13:1972-1988
- Balasubramanian, V., B. Alves, M. Aulakh, M. Bekenda, Z. Cai, L. Drinkwater, D. Mugendi, C. van Kessel, and O. Oenema. 2004. Ch. 2, pp. 19-43. Crop environmental, and management factors affecting nitrogen use efficiency. In: Mosier, A.R., J.K. Syers and J.R. Freney (eds.). *Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the impacts of fertilizer use on food production and the environment*. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), of the International Council for Science. Island Press. Washington, DC, USA.
- Baumert, K.A., T. Herzog, and J. Pershing. 2005. *Navigating the Numbers: Greenhouse Gas Data and*

- International Climate Policy. World Resources Institute. Washington, DC. 122 pp. <http://www.wri.org>
- Bruulsema, T.W., C. Witt, F. Garcia, S. Li, T.N. Rao, F. Chen, S. Ivanova. 2008. A global framework for fertilizer BMPs. *Better Crops* 92(2):13-15.
- Bruulsema, T., J. Lemmon, B. Herz. 2009. Know your fertilizer rights. *Crops & Soils* March-April 2009. American Society of Agronomy. Madison, WI. pp. 13-18.
- Cassman, K.G., A. Dobermann and D.T. Walters. 2002. Agroecosystems, Nitrogen-use Efficiency, and Nitrogen Management. *Ambio* 31(2):132-140.
- Dobermann, A. 2007. Nutrient use efficiency – measurement and management. In: *Fertilizer Best Management Practices: General Principles, Strategy for their Adoption and Voluntary Initiatives vs Regulations*. 259 pp. Proc. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. 7-9 March 2007. Brussels, Belgium. International Fertilizer Industry Association. Paris, France. pp. 1-28.
- 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 Soil* 247:153–175.
- Dobermann, A. and T.H. Fairhurst. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. 191 pp. International Rice Research Institute and Potash & Phosphate Institute.
- EPA. 2006. Global Anthropogenic non-CO2 greenhouse gas emissions: 1990-2020. United States Environmental Protection Agency. EPA 430-R-06-003. June 2006 revised. Washington, DC, Available at <http://www.epa.gov/nonco2/econ-inv/downloads>.
- EPA. 2008. Hypoxia in the northern Gulf of Mexico: an update by the EPA Science Advisory Board. 275 pp. Available at: <http://yosemite.epa.gov/sab>
- Fixen, P.E., J. Jijun, 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 in China Ser. C Life Sciences Special Issue* 48:780-790.
- Gordon, B. 2005. Maximizing irrigated corn yields in the Great Plains. *Better Crops* 89(2):8-10.
- Hong, N., P.C. Scharf, J.G. Davis, N.R. Kitchen, and K.A. Sudduth. 2007. Economically optimal nitrogen rate reduces soil residual nitrate. *J. Environ. Qual.* 36:354–362.
- IFA. 2007. *Fertilizer Best Management Practices: General Principles, Strategy for their Adoption and Voluntary Initiatives vs. Regulations*, Proc IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. 7-9 March 2007. Brussels, Belgium. International Fertilizer Industry Association., Paris, France. 259 pp.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In: Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, UK and New York, NY. USA. 881 pp.
- Johnson, J.W., T.S. Murrell, and H.F. Reetz. 1997. Balanced fertility management: a key to nutrient use efficiency. *Better Crops* 81:3-5.
- Kissel, D. 1988. Management of urea fertilizers. NCR 326, North Central Regional Extension Publication. Kansas State University. Manhattan, Kansas.
- Kitchen, N.R., and K.W.T. Goulding. 2001. On-farm technologies and practices to improve nitrogen use efficiency. In: Follett, R.F. and J.L. Hatfield (eds.) *Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management*. Elsevier. Amsterdam, The Netherlands. Ch. 13, pp. 335-370.
- 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. Ch. 14, pp. 193-207. In: Mosier, A.R., J.K. Syers and J.R. Freney (eds.). *Agriculture and the Nitrogen Cycle: Assessing the impacts of fertilizer use on food production and the environment*. Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), of the International Council for Science. Island Press. Washington, DC, USA.
- Ladha, J.K., H. Pathak, and T.J. Krupnik. 2005. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production: retrospects and prospects. *Adv. Agron.* 87:85-156.
- Raun, W.R. and G.V. Johnson. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agron. J.* 91:357–363.
- Rochette, P., J.D. MacDonald, D.A. Angers, M.H. Chantigny, M.-O. Gasser, and N. Bertrand. 2009. Banding of urea increased ammonia volatilization in a dry acidic soil. *J. Environ. Qual.* 38:1383–1390.
- 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.
- Schlesinger, W.H. 2009. On the fate of anthropogenic nitrogen. *Proc. Natl. Academy Sci.* 106(1):203-208.
- Snyder, C.S., and T.W. Bruulsema. 2007. *Nutrient Use Efficiency and Effectiveness in North America: Indices of Agronomic and Environmental Benefit*. International Plant Nutrition Institute. June 2007. Ref # 07076. 4 pp. International Plant Nutrition Institute. Norcross, GA, USA. <http://www.ipni.net>
- Snyder, C.S. 2008a. Fertilizer nitrogen BMPs to limit losses that contribute to global warming. Ref # 080507, International Plant Nutrition Institute. Norcross, GA, USA., 8 pp.
- Snyder, C.S. 2008b. Nutrients and Hypoxia in the Gulf of Mexico- An Update on Progress, 2008. *Better Crops* 92(2):16-22.
- Snyder, C.S., T.W. Bruulsema, T.L. Jensen, and P.E. Fixen. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agric. Ecosyst. Environ. Agric. Ecosyst. Environ.* 133 (2009) 247-266. ❁

PRINCIPIOS BASICOS DE LA EFICIENCIA DE FOSFORO Y POTASIO

T. Scott Murrell¹

Introducción

El fósforo (P) y el potasio (K) son retenidos por el suelo y pueden, por esta razón, impactar el rendimiento de los cultivos y la fertilidad del suelo por varios años después de su aplicación. Este impacto se denomina efecto “residual”. En consecuencia, la eficiencia de una aplicación puede evaluarse para un solo ciclo de cultivo o para varios. La evaluación adecuada de los efectos residuales requiere de periodos largos para capturar de forma adecuada el real impacto del proceso (Syers et al., 2008). Este artículo discute dos formas de evaluar la eficiencia de nutrientes: la eficiencia agronómica (EA) y el balance parcial de nutrientes (BPN). Se seleccionaron estas eficiencias porque son parte central de los aspectos de manejo de P y K que más preocupan a los agricultores y consultores.

Eficiencia agronómica (EA)

La EA considera cuanto incremento en rendimiento se logra por unidad de nutriente aplicado. Se define como (Snyder y Bruulsema, 2007):

$$EA = (R - R_0) / D \quad [1]$$

Donde:

R es el rendimiento fertilizado (kg ha⁻¹), R₀ es el rendimiento sin fertilizar (kg ha⁻¹) y D es la dosis del nutriente aplicado (kg ha⁻¹). Por esta razón, la EA es una expresión sin unidades.

Para demostrar algunas de las diferentes formas de evaluar la EA de nutrientes como el P y K se presentan los datos de un estudio comparando los efectos en el rendimiento de maíz de la aplicación de una sola dosis de 146 kg P ha⁻¹ y aplicaciones anuales de 11.2 kg P ha⁻¹ hechas en la misma unidad experimental a través del tiempo (Webb et al., 1992). Ambas dosis fueron aplicadas al voleo e incorporadas. Las prácticas de labranza incluyeron arado de vertedera en el otoño seguida de paso de disco en primavera. Se incluyó un testigo (R₀), lo que permite calcular la EA de la dosis única y de las dosis anuales de P. Para poder comparar los dos tratamientos se consideraron un total de 13 años de modo que el total acumulado de las pequeñas dosis anuales se iguale a la alta dosis aplicada una sola vez.

En la **Figura 1** se presentan los resultados de calcular la EA en forma diferente. La línea superior con la mayor EA se la calcula usando solamente el R - R₀ observado en un año dado con la dosis de 11.2 kg ha⁻¹. Por esta

razón, esta EA representa una eficiencia anual que no toma en cuenta la historia de fertilización o rendimiento (corto plazo). En los otros dos casos, el R - R₀ es la respuesta total en rendimiento de todos los años hasta e incluyendo el año de interés. De igual forma, D representa la suma de las dosis de todos los años hasta e incluyendo el año de interés (largo plazo).

Los datos de la **Figura 1** demuestran que las evaluaciones de corto plazo que ignoran el historial de la fertilización y el historial de la respuesta en rendimiento pueden producir valores artificiales de EA. Adicionalmente, los datos demuestran también que una aplicación individual de una dosis alta de P produce una EA de largo plazo, esencialmente igual a la misma cantidad total de P dividida en dosis más pequeñas aplicadas anualmente. En consecuencia, la evaluación de aplicaciones anuales debe considerar la historia de fertilización para ser adecuadamente comparada con dosis más altas aplicadas en periodos más amplios.

Otra importante diferencia entre la aplicación de una sola dosis alta de P y la aplicación anual de dosis más pequeñas es su efecto relativo en el contenido de P determinado por el análisis de suelos (**Figura 2**). En el mismo estudio citado arriba, la dosis de 146 kg ha⁻¹ incrementó inicialmente el contenido de P en el suelo a niveles superiores al nivel crítico (20 mg kg⁻¹ P, Bray 1). A contenidos de P por debajo del nivel crítico existen las más altas probabilidades de que los contenidos de P en

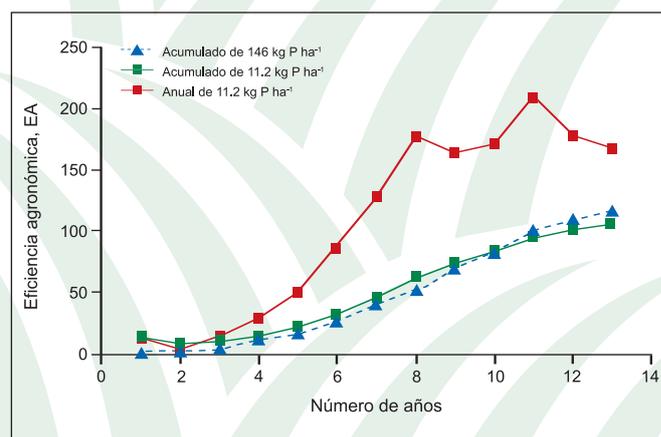


Figura 1. Eficiencia agronómica (EA) de una sola aplicación de 146 kg P ha⁻¹ y la aplicación anual de 11.2 kg P ha⁻¹. La EA de la aplicación anual se calculó de dos formas: 1) cada año considerado individualmente sin tomar en cuenta la historia previa de fertilización (dosis anual de 11.2 kg P ha⁻¹) y 2) EA basada en la suma acumulada de las dosis anuales hasta e incluyendo el año de interés (acumulado de la dosis anual de 11.2 kg P ha⁻¹) (Webb et al., 1992).

¹ Director para la Zona Central de Norte América del International Plant Nutrition Institute (IPNI). Correo electrónico: smurrell@ipni.net

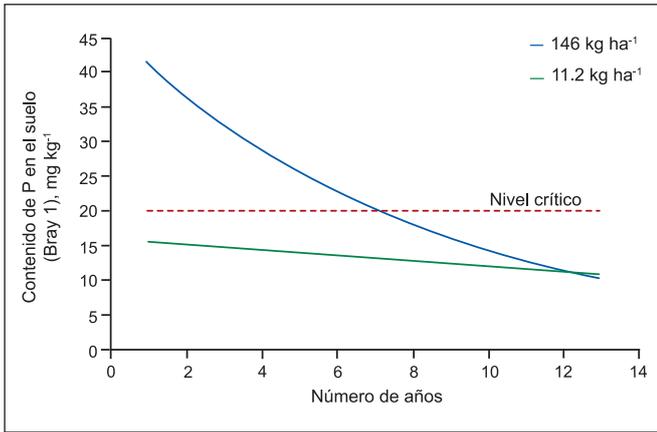


Figura 2. Efecto de la aplicación individual de una dosis alta de P y de una serie de aplicaciones anuales de cantidades más pequeñas en el contenido de P en el suelo. La cantidad total aplicada en el periodo de tiempo considerado fue la misma (Webb et al., 1992).

el suelo sean muy bajos para satisfacer las necesidades del cultivo. A medida que transcurre el tiempo, sin la subsecuente aplicación de P, los niveles de P descendieron de manera exponencial y para el año 8 estuvieron por debajo del nivel crítico. Este tipo de caída exponencial ha sido observado por otros investigadores (McCollum, 1991; Syers et al., 2008). Por otro lado, las aplicaciones anuales de 11.2 kg ha⁻¹ nunca elevaron el contenido de P en el suelo a niveles mayores al nivel crítico. Al contrario, estos provocaron una constante reducción de la fertilidad del suelo. Al final del periodo considerado, ambas dosis generaron niveles bajos de P casi idénticos.

Una importante diferencia entre las dos dosis en el estudio de Webb y colaboradores (1992) se presenta en el rendimiento. La **Figura 3** muestra que la aplicación individual de una sola dosis alta resultó en rendimientos acumulados más altos en el año 4 y permanecieron altos por el resto de 13 años evaluados. El análisis económico del estudio evaluó solamente los retornos a corto plazo de las aplicaciones anuales. Sin embargo, existen implicaciones sobre la rentabilidad a largo plazo. Los rendimientos más altos obtenidos al principio son capaces de proporcionar ingresos que tienen un valor más alto cuando se consideran el periodo total de 13 años, debido a la tendencia de devaluación del dinero en el tiempo. Además, una sola compra de P podría hacerse coincidir con una época de precios más favorables del cultivo y del fertilizante, si existe suficiente capital y si la tierra es de propiedad o arrendada por un periodo largo de tiempo. En algunos casos, una sola alta inversión en fertilizante hecha en la época apropiada puede ser más rentable a largo plazo que pequeñas compras anuales que están más sujetas a las fluctuaciones del mercado. El análisis de rentabilidad debe examinar estos factores a largo plazo para entregar una visión clara del riesgo.

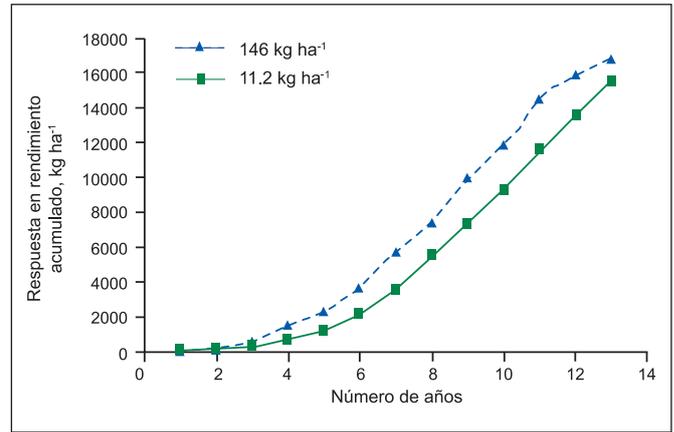


Figure 3. Respuesta en rendimiento acumulado a una sola dosis alta de P y a dosis anuales más pequeñas (Webb et al., 1992).

Balance parcial de nutrientes (BPN)

El BPN es la relación entre la cantidad de nutriente removido en las partes cosechas del cultivo (U_C) y la cantidad de nutriente aplicado (Snyder y Bruulsema, 2007):

$$BPN = U_C / D \quad [2]$$

La precisión de la determinación del BPN se basa en: 1) determinación en el laboratorio, antes que la estimación de datos de la literatura, de la concentración del nutriente en las partes cosechadas del cultivo. 2) tener en cuenta todas las aplicaciones del nutriente, incluyendo las aplicaciones de residuos de corral y otros residuos y de fertilizantes minerales.

El objetivo principal de esta medición de eficiencia es determinar que tan cercano está el sistema a 1. Un valor de BPN cercano a 1 indica que existe un balance de masa (aplicación del nutriente a una unidad de superficie es aproximadamente igual a la remoción de esa misma superficie). Este balance es necesario para sostener el nivel de fertilidad del suelo del sistema.

Sin embargo, un BPN de 1 no garantiza que el contenido del nutriente en el suelo, según el análisis, sea estático. En un estudio con alfalfa bajo riego conducido por Fixen y Ludwick (1983), en dos suelos diferentes, se encontró que para mantener los niveles de P en el suelo se necesitaban valores de BPN de 2.2 y 1.4. Para K los valores del BPN fueron de 0.75 y 0.22. Al inicio de este estudio se utilizaron dosis altas de fertilizante que se aplicaron al voleo y luego se incorporaron y que fueron seguidas por aplicaciones anuales que no se incorporaron. Moncrief y colaboradores (1985) demostraron que la misma cantidad de K aplicada a un suelo con labranza y otro sin labranza, la aplicación a la superficie sin incorporación en el suelo sin labranza incrementó el contenido de K en los primeros 15 cm del suelo. Estos dos estudios demuestran que la distribución del nutriente dentro del suelo puede determinar si el

contenido del nutriente en el suelo permanece constante o cambia con las aplicaciones de mantenimiento hechas para mantener el BPN cerca de 1.

Efecto de la localización de los nutrientes en la EA y el BPN

En muchos estados del cinturón maicero de los Estados Unidos se recomienda reducir las dosis de fertilizantes si estos se aplican en banda en lugar de aplicarlas al voleo (Gerwing y Gelderman, 2005; Rehm et al., 2006; Shapiro et al., 2003). En ocasiones el grado de reducción varía con el contenido del nutriente en el suelo según el análisis (Rehm et al., 2006) y a veces no (Shapiro et al., 2003). A menudo, las dosis de aplicación en banda son la mitad de las dosis al voleo.

Esta recomendación asume que las aplicaciones en banda (B) son generalmente más eficientes que las aplicaciones al voleo (V) y que esencialmente producen la misma respuesta en rendimiento que las aplicaciones al voleo. Este razonamiento se presenta gráficamente en la **Figura 4** donde se escogió el popular modelo cuadrático-meseta ($R = \beta_0 + \beta_1 D + \beta_2 D^2$ para $D \leq D_{max}$; $R = R_{max}$ para $D > D_{max}$) para modelar la respuesta. Esta figura muestra que la EA es el doble cuando se hace la aplicación en banda en comparación con la aplicación al voleo ($EA_B = 2EA_V$, gráfico inferior). Este duplicamiento en EA se produce estrictamente por el hecho que se usa la mitad de la dosis con la aplicación en banda para producir el máximo rendimiento (R_{max}) que con la aplicación al voleo ($D_{max-B} = 0.5D_{max-V}$, parte superior del gráfico). La mayor eficiencia de la aplicación en banda se puede expresar con la relación D_{max-B} / D_{max-V} , que en este caso es igual a 0.5.

Se puede demostrar que en el escenario de respuesta descrito arriba se pueden presentar las siguientes relaciones. En primer lugar, los interceptos (β_0) de las dos ecuaciones son los mismos:

$$\beta_{0V} = \beta_{0B} \quad [3]$$

Donde:

β_{0V} es el intercepto de la curva de respuesta a la aplicación al voleo y β_{0B} es el intercepto de la aplicación en banda. Luego, el coeficiente de la sección lineal de la pendiente (β_1) de la curva de respuesta para las dosis al voleo se puede describir de la siguiente forma:

$$\beta_{1V} = (D_{max-B} / D_{max-V}) \beta_{1B} \quad [4]$$

Donde:

β_{1V} es el coeficiente de la parte lineal de la curva de las dosis al voleo y β_{1B} es el mismo coeficiente para las dosis en banda. De igual manera, la curvatura (β_2) de las dos ecuaciones de respuesta se describe de la siguiente forma:

$$\beta_{2V} = (D_{max-B} / D_{max-V})^2 \beta_{2B} \quad [5]$$

Si estas relaciones se mantienen, el mejor desempeño de la EA de las aplicaciones en banda sobre las aplicaciones al voleo es una constante a través de todas las dosis de aplicación. La implicación práctica de esta relación es que si los agricultores tienen que reducir las dosis por debajo de aquellas necesarias para producir máximo rendimiento, las aplicaciones en banda de estas dosis reducidas todavía tendrán la misma eficiencia de aquellas que producen el máximo rendimiento.

Investigación para demostrar la mayor eficiencia de las aplicaciones en banda fue conducida previamente por varios grupos (Welch et al., 1966a; Welch et al., 1966b, Peterson et al., 1981). Todos estos investigadores compararon las aplicaciones al voleo con las aplicaciones en banda durante un solo ciclo de cultivo y no consideraron los efectos residuales. Todos estos estudios también reportaron que la respuesta a las aplicaciones era cuadrática, permitiendo probar la relación teórica descrita anteriormente.

Se reportaron 12 sitios-año, 9 que investigaron P y 3 K. De estos 12 estudios, solamente un sitio-año se ajustó a la respuesta teórica descrita en la **Figura 4**. El estudio mostró una relación $D_{max-B} / D_{max-V} = 0.63$, demostrando en este sitio, que tenía un bajo contenido de P, que la aplicación en banda puede producir la misma respuesta en rendimiento con dos tercios de la dosis aplicada al voleo. En 5 sitios-año no se aplicaron dosis suficientes para maximizar la respuesta a ambos métodos de aplicación. En los 4 sitios-año restantes, los máximos rendimientos obtenidos por los métodos de aplicación fueron diferentes y en tres de ellos la aplicación en banda produjo rendimientos máximos más altos que las aplicaciones al voleo.

Los investigadores envueltos en estos estudios no usaron la relación teórica de la **Figura 4** para evaluar los dos tipos de aplicaciones. En lugar de esto, eligieron un nivel de rendimiento y se compararon las dosis necesarias para obtener ese rendimiento. Si bien se puede calcular la relación D_B / D_V de esta manera para un determinado juego de datos, esta relación no ofrece una visión completa de las respuestas y puede ser engañosa. Por ejemplo, es importante que el agricultor conozca que sin importar la eficiencia, las aplicaciones al voleo no serán iguales en rendimiento a las respuestas de la aplicación en banda y viceversa. Además, si el incremento en EA de un método sobre el otro no es constante en todas las dosis del nutriente en cuestión, no se puede esperar que los rendimientos a obtenerse con la dosis escogida de la relación sean los rendimientos esperados.

El trabajo de Anghinoni y Barber (1980) demostró que cuando se aplican dosis bajas de fertilizante a un suelo deficiente, las aplicaciones en banda, que fertilizan un

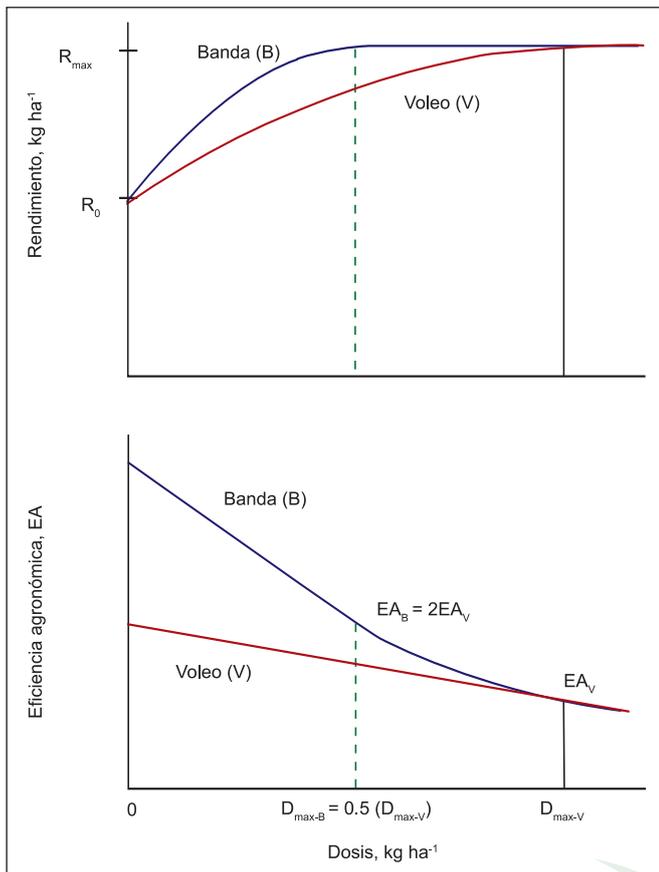


Figura 4. Relaciones teóricas entre la eficiencia agronómica (EA) y el balance parcial de nutrientes (BPN) para una situación donde la dosis de mantenimiento de un nutriente (BPN = 1) es rentable en un ciclo de crecimiento, resultando en una $EA > Q$.

pequeño volumen de suelo producen rendimientos más altos que aquellos obtenidos con las mismas dosis incorporadas completamente en un volumen mayor de suelo. Sin embargo, a medida que se incrementa la dosis, se necesita fertilizar un mayor volumen de suelo para maximizar el rendimiento y el rendimiento obtenido con esta dosis más alta es mayor que el rendimiento obtenido con una dosis más baja aplicada en banda. Las aplicaciones conjuntas en banda y al voleo pueden ofrecer una nutrición más completa que cualquiera de las dos utilizadas en forma individual. Los nutrientes colocados en banda cerca de la semilla proveen de la disponibilidad posicional de una banda concentrada al inicio del ciclo (Mengel y Barber, 1974). La completa incorporación de la aplicación al voleo incrementa la cantidad del nutriente disponible para un sistema radicular más extenso más tarde en el ciclo.

En los casos en los cuales un método de localización del fertilizante mejora la EA, se debe examinar cuidadosamente los resultados de la dosis reducida para determinar que tan cerca está del BPN de 1 necesario para sostener los niveles de fertilidad del suelo. En los casos donde el BPN de una dosis más eficiente es menor a 1 es importante pensar si el mejoramiento en eficiencia

a corto plazo es una buena alternativa frente a la posible reducción de la fertilidad del suelo a largo plazo si esta dosis se utiliza repetidamente.

Bibliografía

- Anghinoni, I. and S.A. Barber. 1980. Predicting the most efficient phosphorus placement for corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:1016-1020.
- Fixen, P.E. and A.E. Ludwick. 1983. Phosphorus and potassium fertilization of irrigated alfalfa on calcareous soils: I. Soil test maintenance requirements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47:107-112.
- Gerwing, J. and R. Gelderman. 2005. South Dakota fertilizer recommendations guide. Sep. 2005. EC750. South Dakota Coop. Ext. Serv., South Dakota State Univ.,
- McCullum, R.E. 1991. Buildup and decline in soil phosphorus: 30 year trends on a typical umprabuilt. *Agron. J.* 83:77-85.
- Mengel, D.B. and S.A. Barber. 1974. Rate of nutrient uptake per unit of corn root under field conditions. *Agron. J.* 66:399-402.
- Moncrief, J.F., P.M. Burford, and J.B. Swan. 1985. The effect of tillage on interpretation and response to soil K. *J. Fert. Iss.* 2:17-25.
- Peterson, G.A., D.H. Sander, P.H. Grabouski, and M.L. Hooker. 1981. A new look at row and broadcast phosphate recommendations for winter wheat. *Agron. J.* 73:13-17.
- Rehm, G., G. Randall, J. Lamb, and R. Eliason. 2006. Fertilizing corn in Minnesota. FO-3790-C. Rev. 2006. Minnesota Coop. Ext. Serv., St. Paul., MN.
- Shapiro, C.A., R.B. Ferguson, G.W. Hergert, A.R. Dobermann, and C.S. Wortmann. 2003. Fertilizer suggestions for corn. G74-174-A. Rev. Nov. 2003. Nebraska Coop. Ext. Serv., Univ. Nebraska, Lincoln.
- Snyder, C.S., and T.W. Bruulsema. 2007. Nutrient use efficiency and effectiveness in North America: Indices of agronomic and environmental benefit. Ref # 07076. International Plant Nutrition Institute. Norcross, GA.
- Syers, J.K., A.E. Johnson, and D. Curtin. 2008. Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use: Reconciling changing concepts of soil phosphorus behaviour with agronomic information. *FAO Fert. Plant Nutr. Bull.* 18. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Webb, J.R., A.P. Mallarino, and A.M. Blackmer. 1992. Effects of residual and annually applied phosphorus on soil test values and yields of corn and soybean. *J. Prod. Agric.* 5:148-152.
- Welch, L.F., P.E. Johnson, G.E. McKibben, L.V. Boone, and J.W. Pendleton. 1966a. Relative efficiency of broadcast versus banded potassium for corn. *Agron. J.* 58:618-621.
- Welch, L.F., D.L. Mulvaney, L.V. Boone, G.E. McKibben, and J.W. Pendleton. 1966b. Relative efficiency of broadcast versus banded phosphorus for corn. *Agron. J.* 58:283-287. ✱

PERDIDAS DE NITROGENO POR VOLATILIZACION E IMPLICACIONES EN EL RENDIMIENTO DE MAIZ

Gustavo N. Ferraris¹, Lucrecia A. Couretot¹ y Mirta Toribio²

Introducción

La pérdida de nitrógeno (N) por volatilización del gas amoníaco (NH₃) puede ser la principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales. Dichas pérdidas son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos, cuya magnitud depende de factores ambientales (temperatura, viento y tensión de vapor superficial), factores de suelo [pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y contenido de materia orgánica] y factores de manejo (cobertura y calidad de los residuos en superficie y dosis y localización del fertilizante).

En la región pampeana de Argentina, los cultivos de gramíneas habitualmente se fertilizan con fuentes nitrogenadas sólidas y líquidas. Existen datos locales sobre las pérdidas de N por volatilización de dichas fuentes, pero esta información representa solamente casos puntuales lo que hace necesario ampliar la dimensión geográfica y temporal de estas evaluaciones. Por otro lado, en los últimos años se han desarrollado inhibidores de ureasa, enzima que cataliza la hidrólisis de la urea, para reducir las pérdidas de N por volatilización y mejorar la eficiencia de uso del N aplicado. La eficacia de estos inhibidores debe evaluarse localmente.

El objetivo de este trabajo fue cuantificar las pérdidas de N en forma de NH₃ y el rendimiento de maíz de tratamientos que recibieron aplicaciones de distintas fuentes nitrogenadas, dosis crecientes de N e inhibidores de la ureasa.

Materiales y métodos

El ensayo fue conducido en la localidad de Pergamino, sobre un suelo serie Pergamino, Argiudol típico, Clase de



Foto 1. Medición de emisiones de N en forma de NH₃. INTA, EEA Pergamino, Noviembre de 2008.

uso 1 de muy buena productividad. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones y siete tratamientos (**Tabla 1**).

El ensayo se sembró el 10 de octubre de 2008 bajo el sistema de siembra directa (SD) utilizando el híbrido Syngenta NK 910. La rotación anterior fue trigo/soya. Todas las parcelas recibieron una aplicación de 20 kg P ha⁻¹ y 18 kg S ha⁻¹ a la siembra. Las fuentes utilizadas fueron superfosfato triple y sulfato de calcio. Las diferentes fuentes de N se aplicaron también a la siembra. La urea y urea+NBPT se aplicaron al voleo y el UAN se aplico en chorro en banda superficial. La urea + NBPT es urea tratada previamente con NBPT [n (n-butyl) tiamida tiofosfórica], compuesto que actúa bloqueando la enzima ureasa por diez días aproximadamente (Trenkel, 1997; Watson, 2000). El análisis de suelo del sitio experimental que se presenta en la **Tabla 2** indica niveles relativamente bajos de materia orgánica y N y contenido normal de P y muy bajo de S.

Para cuantificar la volatilización del NH₃ se utilizó el método de absorción semiabierto estático, adaptado del propuesto por Nommik (1973) y utilizado por Videla

Tabla 1. Fuentes y dosis de N utilizadas en el ensayo con maíz conducido en Pergamino, Argentina, campaña 2008-2009.

No.	Tratamiento	Dosis de N kg N ha ⁻¹
T1	Testigo	-
T2	Urea granulada (Urea)	60
T3	Urea granulda (Urea)	120
T4	Urea+NBPT	60
T5	Urea+NBPT	120
T6	Solución de Urea-Nitrato de amonio (UAN)	60
T7	Solución de Urea-Nitrato de amonio (UAN)	120

¹ Area de Desarrollo Rural INTA, EEA Pergamino

² Investigación & Desarrollo Profertil SA. Correo electrónico: nferraris@pergamino.inta.gov.ar

Tabla 2. Análisis de suelo del sitio experimental al momento de la siembra.

Profundidad cm	MO %	pH	N total	NO ₃ ppm	NO ₃ kg ha ⁻¹	P-Bray	SO ₄	K ppm	Mg	Ca
0 - 20	2.5	5.8	1.26	10	26	19	2	508	122	1717
20 - 40				8	22					
40 - 60				4	11					

Tabla 3. Registros ambientales diarios de los nueve días posteriores a la aplicación de los fertilizantes (17 al 26 de noviembre del 2008) en Pergamino, Argentina.

	----- Días desde la aplicación de los fertilizantes -----									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T máxima (° C)	30.2	32.3	33.0	32.0	31.4	33.7	36.0	34.0	38.0	27.2
T media (° C)	19.5	22.9	24.6	24.7	23.7	25.0	27.5	27.0	27.0	24.0
T mínima (° C)	8.8	13.5	16.2	17.4	16.0	16.2	19.0	20.0	16.0	20.7
Precipitación (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5
Heliofanía (hs)	13.0	10.7	11.7	11.6	12.7	12.1	12.9	2.1	11.8	3.1
Vel. viento (km/h)	8.7	11.2	13.1	12.9	14.5	17.0	11.6	5.2	7.7	6.3
HR (%)	49.5	48.5	51.5	53.5	50.5	52.5	45.5	57.5	58.5	73.0

(1994). El procedimiento consiste en atrapar el NH₃ en dos planchas de poliuretano de 1.5 cm de espesor embebidas en ácido sulfúrico colocadas en un cilindro de polietileno de 30 cm de diámetro por 50 cm de altura (**Foto 1**).

La ausencia de precipitaciones que interrumpieran el proceso permitió cuantificar la volatilización del NH₃ por nueve días consecutivos desde la aplicación del fertilizante.

La intensidad del índice de verdor mediante el medidor de clorofila SPAD 502, la altura de plantas e inserción de la espiga principal y el número de hojas verdes y senescentes se evaluaron en floración plena (estado R2). La cosecha se realizó en forma manual con trilla estacionaria de las muestras. Se midieron los componentes del rendimiento: número (NG) y peso (P1000) de los granos. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza y comparaciones de medias. Debido a variancias heterogéneas entre tratamientos, se modelaron las covariancias por tratamiento para el N total volatilizado en 9 días.

Resultados y discusión

En la **Tabla 3** se visualizan las condiciones ambientales prevalentes en los días posteriores a la aplicación de los fertilizantes. En este periodo se cuantificaron las pérdidas de N en forma de NH₃. Estas condiciones se caracterizaron por presentar elevadas temperaturas, alta insolación, viento predominante del sector norte y baja humedad relativa. Además, el sitio tenía una cobertura del 75 % (método de la recta transecta) compuesta por residuos de trigo y soja que no superaron los 2 cm de espesor. Estas condiciones configuran un ambiente

favorable para que ocurra el proceso de volatilización, por lo que se puede considerar que las emisiones medidas podrían ser muy cercanas al máximo probable para la localidad del estudio.

La emisión de NH₃ fue detectable desde el inicio del ensayo, pero sólo se evidenciaron diferencias entre tratamientos a partir del tercer día (**Figura 1**). Se nota que aún el testigo sin fertilización mostró pérdidas cuantificables de N por volatilización, superiores a las observadas por otros investigadores (Sainz Rozas et al., 1997; Barbieri et al., 2005; Salvaggiotti, 2005; Fontanetto et al., 2006). Esto muestra la severidad ambiental bajo la cual se realizaron las mediciones.

Se observaron también diferencias significativas entre tratamientos para la volatilización acumulada de N (P<0.001). Las pérdidas por volatilización de la urea sola y del UAN superaron significativamente al testigo (**Figura 1, Tabla 4**). El inhibidor NBPT agregado a la urea logró mitigar casi en forma completa las pérdidas y los tratamientos correspondientes no fueron significativamente diferentes del testigo. En el caso de la urea, la volatilización se vio además favorecida por la concentración del sustrato, es decir, al incrementar la dosis de fertilizante las pérdidas porcentuales de N tendieron a aumentar. Esto sucede por la saturación de la capacidad tampón del amonio (NH₄), limitada en este caso por el bajo contenido de materia orgánica del suelo (**Tabla 2**).

Las pérdidas máximas se alcanzaron con la dosis de 120 kg N ha⁻¹ agregados como urea (19 kg N ha⁻¹, **Figura 1** y **Tabla 4**). Para calcular el N perdido del fertilizante se deben restar los 3.14 kg N ha⁻¹ capturados en el tratamiento testigo y dividirlos por los kg de N aplicados

Tabla 4. Volatilización acumulada de N y porcentaje del N volatilizado proveniente del fertilizante a lo largo del periodo de evaluación en Pergamino, Argentina.

Tratamiento	Volatilización acumulada de NH ₃		NH ₃ volatilizado del fertilizante %
	Promedio	Error estándar	
	----- kg ha ⁻¹ -----		
Testigo	3.1	0.23	-
Urea 60	7.4	1.96	7.1
Urea 120	19.0	8.17	13.2
Urea + NBPT	3.4	0.25	0.4
Urea + NBPT	4.7	1.04	1.3
UAN 60	5.7	0.75	4.3
UAN 120	7.1	0.56	3.3

con el fertilizante. Luego del cálculo, las pérdidas de N proveniente de los fertilizantes alcanzan un rango de 0.4 a 13.2 % (Tabla 4).

Experimentos en maíz conducidos en otros lugares de Argentina produjeron resultados similares. En Balcarce se registraron pérdidas máximas de 16 kg N ha⁻¹ (120 kg N ha⁻¹, urea al voleo) (Barbieri et al., 2005). En Oliveros se midieron emisiones de hasta 16 kg N ha⁻¹ (200 kg N ha⁻¹, urea al voleo) (Salvagiotti, 2005). En esta última localidad, las pérdidas en el mes de octubre alcanzaron un rango entre 14 % (80 kg N ha⁻¹, urea al voleo y rastrojo bajo) y 21 % (80 kg N ha⁻¹, urea al voleo y rastrojo alto) y en noviembre un rango de 26 a 36 % para igual dosis, fuente y cobertura. En Rafaela se cuantificaron pérdidas por volatilización de 5.8 kg N ha⁻¹ en trigo (Fontanetto et al., 2006).

Durante la campaña 2008-2009, las condiciones ambientales de Pergamino se asemejaron a aquellas predominantes en localidades ubicadas más al norte, favoreciendo ampliamente el proceso de volatilización. Es de esperarse que las pérdidas de N por volatilización en un año con registros medios de temperatura y humedad alcancen valores intermedios a los determinados en sitios localizados más al norte o sur del sitio experimental.

Los efectos de los tratamientos se manifestaron en varios parámetros medidos durante el ciclo de

crecimiento del cultivo (Tabla 5) y en alguna medida anticiparon lo que sucedería luego con los rendimientos. El testigo mostró síntomas claros de deficiencias de N. Las diferencias entre dosis se manifestaron en variables como las lecturas de índice de verdor con SPAD o el número de hojas verdes en floración. Esta medida fue especialmente sensible, marcando diferencias entre dosis para aquellas fuentes que sufrieron pérdidas de menor magnitud, es decir, que dejaron más N en el suelo para que la planta lo pueda absorber.

A la cosecha se observaron diferencias significativas en rendimiento entre tratamientos (P = 0.003; CV = 6.7 %). El testigo se diferenció claramente del resto de tratamientos (Figura 2). En general, la diferencia en rendimiento obtenida con las dosis de N de todas las fuentes no fue apreciable. La sequía que imperó durante la campaña 2008-2009 limitó los rendimientos y probablemente la respuesta a N, impidiendo así que se manifiesten en el rendimiento los posibles efectos de la dosis más alta (120 kg N ha⁻¹) y de la menor pérdida por volatilización en los tratamientos con inhibidor de la ureasa.

Conclusiones

Se registraron elevadas pérdidas por volatilización del N proveniente de la urea bajo condiciones predisponentes en la localidad de Pergamino, Argentina. Las pérdidas alcanzaron un rango de 3 a 19 kg N ha⁻¹ y podrían

Tabla 5. Efecto de las fuentes, dosis e inhibidores de la volatilización de N en el índice de verdor (unidades SPAD), número de hojas verdes y secas, altura de plantas y de inserción de espigas en Maíz en Pergamino, Argentina.

Tratamiento	Lecturas SPAD	Número hojas senescidas R1	Número hojas verdes R1	Altura plantas cm	Altura inserción cm
Testigo	39.0	6	10	205	110
Urea 60	40.8	5	12	233	110
Urea 120	43.5	4	13	230	105
Urea + NBPT	39.7	5	12	238	125
Urea + NBPT	42.2	3	14	230	120
UAN 60	41.1	4	13	225	105
UAN 120	44.4	2	15	230	120

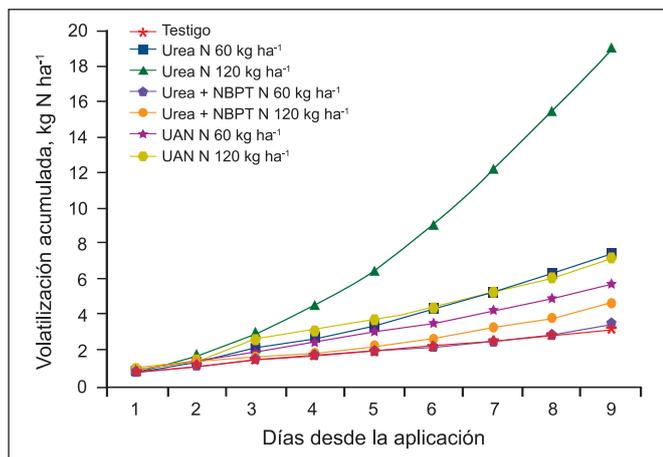


Figura 1. Emisión acumulada de N en forma de NH₃ a lo largo del periodo de evaluación en Pergamino, Argentina.

considerarse muy próximas al máximo esperable para la localidad. La magnitud de las pérdidas de N por volatilización fue afectada por la fuente, la dosis y el uso de inhibidores de la ureasa. Las mayores pérdidas de N del fertilizante se observaron con la aplicación de urea, con promedios de 7.1 y 13.2 % para las dosis de 60 y 120 kg N ha⁻¹, respectivamente. La aplicación de UAN redujo las pérdidas de N por volatilización con un promedio de 4.3 y 3.3 % con las dosis de 60 y 120 kg N ha⁻¹, respectivamente. La presencia del inhibidor de la ureasa (NBPT) en la urea fue muy efectiva para reducir la volatilización de N como NH₃ a niveles similares al testigo. Las pérdidas de N por volatilización con las dosis de 60 y 120 kg N ha⁻¹ que incluyeron inhibidor de la ureasa fueron de 0.4 y 1.3 %, respectivamente.

El efecto de los tratamientos en el rendimiento siguió la tendencia de las pérdidas por volatilización y se asoció a variables simples que reflejaron el estado de la nutrición nitrogenada. El rendimiento en general obtenido con los diferentes tratamientos con N no fue el rendimiento esperado para la localidad, condición que se atribuye a la baja demanda de N causada por el estrés hídrico imperante durante el ciclo del cultivo. Sin embargo, los resultados de este experimento reflejan la factibilidad de alcanzar elevada eficiencia de uso y la posibilidad de reducir las pérdidas de N con una variedad de estrategias de fertilización. La utilización de inhibidores de la ureasa es una herramienta de manejo adicional a las ya conocidas, que permite ampliar el espectro de fuentes nitrogenadas que pueden utilizarse en forma segura y confiable.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por Profertil S.A. y el Proyecto Regional Agrícola, CERBAN, INTA.

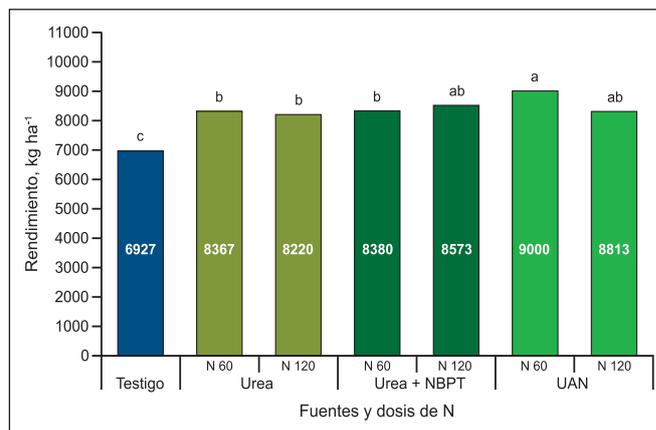


Figura 2. Efecto de diferentes fuentes, dosis e inhibidores de la volatilización de N en el rendimiento de grano de maíz en Pergamino, Argentina. Letras distintas en las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos (DMS $\alpha = 0.1$).

Bibliografía

- Barbieri, P.A., H.E. Echeverría y H. Sainz Rozas. 2005. Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización en el cultivo de maíz en función de la fuente, dosis y métodos de colocación del fertilizante. Convenio INTA Balcarce - Profertil, 2004/05.
- Fontanetto, H. y O. Keller. 2006. Manejo de la fertilización en Maíz. Experiencias en la Región Pampeana Argentina. En: Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2006. Publicación Miscelánea N° 106. pp 85-113 INTA EEA Rafaela.
- Nommik, H. 1973. The effect of pellet size on the ammonia loss from urea applied to forest soil. *Plant Soil*. 39:309-318.
- Sainz Rozas, H., H.E. Echeverría, G.A. Studdert y F.H. Andrade. 1997. Volatilización de amoníaco desde urea aplicada al cultivo de maíz bajo siembra directa. *Ciencia del Suelo* 15: 12-16
- Salvagiotti, F. 2005. Cuantificación de las pérdidas de nitrógeno por volatilización y su efecto en el rendimiento del cultivo de maíz. EEA INTA Oliveros. Convenio INTA Oliveros - Profertil, 2004/05
- Trenkel, M.E. 1997. Improving Fertilizer Use Efficiency. Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture. 151 p.
- Videla, C.C. 1994. La volatilización de amoníaco: una vía de pérdida de nitrógeno en sistemas agropecuarios. EEA Balcarce INTA Bol. Tec. 131, 16 p.
- Watson, C.J. 2000. Urease activity and inhibition. Principles and practice. The International Fertiliser Society. Proceeding N° 454. 39 p. ❀

REPORTE DE INVESTIGACION RECIENTE

DISTRIBUCION DEL SISTEMA RADICULAR DE LA CAÑA DE AZUCAR EN FUNCION DE LA FERTILIZACION NITROGENADA POR DOS METODOS DE EVALUACION: MONOLITO Y BARRENO

Otto, R., P.C. Ocheuze Trivelin, H.C. Junqueira Franco, C.E. Faroni e A.C. Vitti. 2009. *Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar, em função da adubação nitrogenada, avaliados por dois métodos: monólito e sonda. Rev. Bras. Ciênc. Solo* 33(3):601-611.

A pesar de su importancia, pocos estudios sobre caña de azúcar han evaluado el sistema radicular. Esto se debe principalmente a la dificultad de la evaluación y la alta variabilidad de los resultados. El objetivo de este estudio fue desarrollar un método de evaluación del sistema radicular de la caña por medio de sondas a fin de determinar la masa, distribución y total de raíces metabólicamente activas en relación con la fertilización nitrogenada aplicada a la siembra. Se condujo un experimento en un suelo Arenic Kandiuistult con textura media en Jaboticabal, Sao Paulo, Brasil. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron control 0, 40, 80 y 120 kg ha⁻¹ de N aplicado en forma de urea en la línea de siembra de la caña variedad SP81 3250. Una semana antes de la cosecha se aplicó una solución de urea marcada con ¹⁵N en la base del tallo para detectar el metabolismo activo en el sistema radical. Se abrieron calicatas de 1.5 m de longitud y 0.6 m de profundidad entre dos hileras de caña para la toma de muestras de raíz por dos métodos: monolitos (0.3, 0.2 y 0.15 m de ancho, profundidad y largo, respectivamente) tomadas de la pared de la calicata. Se tomaron también muestras con barreno (diámetro interior de 0.055 m). Por cada método de muestreo, se recolectaron 15 muestras por parcela. Las raíces fueron separadas del suelo usando un tamiz (malla de 2 mm) para luego ser secadas al horno (65 ° C) y pesadas para determinar materia seca. El muestreo mediante barreno resultó en una masa de raíces que no difirió de la evaluación con monolitos, lo que indica que este método de evaluación puede utilizarse para estimar la masa de raíces en la caña de azúcar, aun cuando este método no evaluó bien la distribución de raíces en el perfil del suelo y la masa del rizoma, debido al pequeño volumen de la muestra. La fertilización nitrogenada a la siembra no se tradujo en una mayor acumulación de raíces en la planta de caña, pero causó cambios en la distribución del sistema radicular en el suelo. La ausencia de N dio lugar a una mejor distribución de raíces en el perfil del suelo, con 50, 34 y 16 % en las capas de 0-0.2, 0.2-0.4 y 0.4-0.6 m, respectivamente. En los tratamientos fertilizados las raíces se concentran en la capa superficial, con un promedio de 70, 17 y 13 % para las mismas capas descritas anteriormente. Las raíces metabólicamente activas se concentraron en el centro de los residuos, lo que representa el 40 % de la masa total de las raíces, independientemente de la fertilización con N (aplicación de 120 kg ha⁻¹ N o sin N). *

MANEJO DEL NITROGENO EN PAPA BAJO RIEGO CON LABRANZA CONVENCIONAL Y LABRANZA REDUCIDA

Alva, A.K., H.P. Collins and R.A. Boydston. 2009. *Nitrogen Management for Irrigated Potato Production under Conventional and Reduced Tillage. Soil Sci. Soc. Am. J.* 73:1496-1503.

Se condujeron estudios de campo con papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo riego por pivote central por cuatro años usando parcelas grandes y prácticas culturales estándares de la industria para evaluar los efectos de la labranza (convencional vs. reducida) y diferentes prácticas de manejo de N (pre-siembra más aplicaciones durante el ciclo de dosis de 56 + 280, 112 + 224, 112 + 336 y 112 + 112 kg N ha⁻¹). A pesar de que las condiciones de crecimiento permitieron tener rendimientos de 80 t ha⁻¹, la distribución y la gravedad específica de los tubérculos fue similar a través de los tratamientos de labranza y prácticas de manejo de N, con excepciones menores en uno de los cuatro años. La labranza reducida evitó cuatro pases de equipo en el campo en comparación con la labranza convencional. El rendimiento y calidad de los tubérculos fue igual a través de todas las dosis de N. El incremento de la frecuencia de aplicación de N durante el ciclo de crecimiento de 5 a 10 fracciones de la misma dosis de N no produjo incremento en rendimiento o en la calidad de los tubérculos. Este estudio demuestra que no existe efecto negativo de la labranza reducida en la producción de papa bajo riego. El mejor programa de fertilización parece ser 112 kg de N ha⁻¹ antes de la siembra y una dosis similar fraccionada en 5 aplicaciones cada 2 semanas empezando 4 semanas después de la emergencia de la semilla. La labranza reducida ofrece la opción de ahorrar energía y mano de obra sin comprometer el rendimiento y la calidad de los tubérculos proveyendo, además del incentivo económico, beneficios derivados de la reducción de la erosión y del mejoramiento de la biología y calidad del suelo. *

ALTERACIONES ANATOMICAS Y ESTRUCTURALES EN GENOTIPOS DE SOYA PROVOCADAS POR DESORDENES NUTRICIONALES CAUSADOS POR MANGANESO

Lavres Junior, J., E. Malavolta, N. Nogueira, M. Ferreira Moraes, A. Rodrigues Reis, M. Lanzoni Rossi e C. Pereira Cabral. 2009. *Alterações anatômicas e ultraestruturais em genótipos de soja pela desordem nutricional em manganês. Rev. Bras. Ciênc. Solo* 33(2):395-403.

El efecto negativo de la deficiencia y la toxicidad de Mn en el desarrollo de las plantas se ha evaluado en aspectos relacionados con la anatomía, estructura y bioquímica de la plántula, enfocándose principalmente en la manifestación de síntomas visibles del problema. Sin embargo, existe muy poca información en la literatura sobre los cambios en el sistema radicular en respuesta al suministro de Mn. El objetivo de este estudio fue el evaluar el efecto de varias

dosis de Mn (0.5, 2.0 y 200.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$) en una solución nutritiva sobre la anatomía de las hojas y raíces de los cultivares de soya [*Glycine max* (L.)] Santa Rosa, IAC-15 y IAC-Foscarin 31. Los síntomas de deficiencia visual fueron observados primero en los cultivares Santa Rosa y IAC-15, que fueron también los únicos cultivares que presentaron síntomas de toxicidad. Sólo en el cultivar IAC-15, el suministro elevado de Mn produjo un engrosamiento de las raíces, pero sin alteraciones de las células de la corteza, epidermis, exodermis y endodermis. El grado de desorganización de los vasos del xilema, en particular del meta-xilema, fue diferente entre los cultivares. La cantidad y forma de las células del parénquima en empalizada fue

influenciada tanto por la deficiencia como la toxicidad de Mn. Se observó una reducción en el número de cloroplastos en condiciones de deficiencia en los tres genotipos. Las alteraciones anatómicas en el cultivar IAC-15 debido al estrés nutricional fueron mayores y se expresaron como una desorganización extensiva del citoplasma de las células radiculares y un aumento en las vacuolas con las dosis más altas de Mn. Se presentaron distintos grados de intensidad de cambio anatómico y de organización ultra-estructural en raíces y hojas en los genotipos de soya estudiados, sugiriendo la existencia de mecanismos de tolerancia a las distintas intensidades de falta o exceso de Mn.*

CURSOS Y SIMPOSIOS

1. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

Organiza : AACS
Lugar y Fecha : Rosario, Santa Fe, Argentina
 Mayo 31 - 4 Junio, 2010
Información : AACS
 : Tel.: 54 11 4783 3021/23
 : Fax.: 54 11 4783 3024
 : www.suelos.org.ar

3. Conferencia Internacional sobre Fertilizantes de Eficiencia Mejorada

Organiza : IFA
Lugar y Fecha : Miami, Florida, USA
 Marzo 23, 2010
Información : IFA
 : pheffer@fertilizer.org
 : www.newaginternational.com

2. XIX Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo

Organiza : ASSSI - IUSS
Lugar y Fecha : Brisbane, Australia
 Agosto 1-6, 2010
Información : ASSSI - IUSS
 : Tel.: 617 3368 2644
 : soil@ccm.com.au
 : www.19wcss.org.au

4. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo

Organiza : SECS
Lugar y Fecha : Sto. Dgo. de los Tsáchilas - Ecuador
 Noviembre 17-19, 2010
Información : SECS
 : lmartinez@ute.ed.ec
 : calvache@uio.satnet.net
 : jespinoza@ipni.net
 : www.secsuelo.org

NUEVA PUBLICACION

Uso Eficiente de Nutrientes

En esta publicación se resume el estado del conocimiento con respecto a la eficiencia de uso de nutrientes en las Américas y discute el contexto contemporáneo dentro del cual se deben manejar los nutrientes. Debido a que los principios del manejo apropiado de nutrientes son universales, la primera parte de esta publicación se enfoca en los principios generales, sin geografía específica. Debido a que las mejores prácticas de manejo, como manifestaciones de campo del apropiado uso de los nutrientes, son específicas para el sitio, la segunda parte de esta publicación se enfoca en regiones específicas de América Latina.

Para mayor información contactar al correo electrónico: aormaza@ipni.net



PUBLICACIONES DISPONIBLES

	<p>* NUEVA PUBLICACION: Uso Eficiente de los Nutrientes. Esta publicación resume el estado del conocimiento con respecto a la eficiencia de uso de nutrientes en las Américas y discute el contexto contemporáneo dentro del cual se deben manejar los nutrientes.</p>	<p>\$ 15.00</p>
	<p>* NUEVA PUBLICACION: 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. Está nueva edición es un versión mejorada del antiguo manual con una nueva estructura y más información sobre manejo de nutrientes en palma.</p>	<p>\$ 15.00</p>
	<p>* Nutrición y Fertilización del Mango. Esta publicación ofrece información básica para el manejo de la nutrición y fertilización del mango tomando en cuenta las particulares características de desarrollo de este cultivo en el trópico.</p>	<p>\$ 15.00</p>
	<p>* 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.</p>	<p>\$ 15.00</p>
	<p>* 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.</p>	<p>\$ 15.00</p>
	<p>* 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.</p>	<p>\$ 15.00</p>
	<p>* 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</p>	<p>\$ 15.00</p>
	<p>* 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.</p>	<p>\$ 10.00</p>
	<p>* 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.</p>	<p>\$ 10.00</p>
	<p>* 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.</p>	<p>\$ 8.00</p>
	<p>* Estadística en la Investigación del Uso de Fertilizantes. Publicación que presenta conceptos actuales de diseño experimental e interpretación estadística de los datos de investigación de campo en el uso de fertilizantes.</p>	<p>\$ 6.00</p>