



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. Lemonyon, 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. ❁