



## CONTENIDO

	Pág.
<b>Las MPM de los fertilizantes nitrogenados para limitar las pérdidas que contribuyen al calentamiento global</b> .....	1
<b>Factor de productividad parcial de nitrógeno en papa</b> .....	6
<b>Relación del índice de verdor con la aplicación de nitrógeno en diez híbridos de maíz</b> .....	9
<b>Reporte de Investigación Reciente</b> .....	15
- Efecto de la aplicación de silicato y carbonato en la nutrición, rendimiento y calidad de la papa bajo condiciones de estrés.	
- Efecto de la aplicación de nitrógeno y potasio en banana usando fertirrigación y fertilización convencional en el estado nutricional de la planta y la producción de fruto.	
<b>Cursos y Simposios</b> .....	15
<b>Publicaciones Disponibles</b> .....	16
<b>Editor: Dr. José Espinosa</b>	

*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.*



## **LAS MPM DE LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS PARA LIMITAR LAS PERDIDAS QUE CONTRIBUYEN AL CALENTAMIENTO GLOBAL**

Clifford S. Snyder\*

El concepto de las Mejores Prácticas de Manejo (MPM) de fertilizantes no es nuevo, fue introducido en el medio hace casi 20 años (Roberts, 2007). Las MPM de fertilizantes son hoy más importantes que nunca y necesitan fundamentarse en el simple concepto de sincronizar el abastecimiento de nutrientes con los requerimientos del cultivo, minimizando al mismo tiempo las pérdidas de nutrientes del campo. Todos quienes utilizan fertilizantes para nutrir los cultivos deben aplicar el nutriente correcto, en la cantidad adecuada, en el momento y ubicación necesarios para lograr abastecer la demanda del cultivo – “fuente, dosis, época y localización correctas”. Además, las MPM de fertilizantes deben ser adaptables a todos los sistemas agrícolas, ya que no todas las condiciones son las mismas (Roberts, 2007).

Una adecuada nutrición de los cultivos, con el balance apropiado logrado con la utilización de las MPM de fertilizantes, maximiza la captura de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a través de la fotosíntesis y el secuestro de carbono (C) por el cultivo, optimiza la productividad del cultivo por unidad de área, logrando al mismo tiempo rentabilidad para el agricultor y el cumplimiento de las metas de sostenibilidad. Cualquiera de las MPM de fertilizantes que incremente el rendimiento y la absorción y recuperación de los nutrientes aplicados tiene una alta probabilidad de minimizar o limitar el potencial de pérdida no deseada de nutrientes al agua y al aire.

La ciencia y la experiencia han demostrado que el impacto de las MPM de fertilizantes en el rendimiento, calidad y rentabilidad del cultivo, así como el efecto sobre las pérdidas de nutrientes al agua o al aire, están a su vez influenciadas por otras prácticas agronómicas como densidad de siembra, variedad o híbrido, labranza y manejo de plagas, así como también por las prácticas de conservación como terrazas, cultivo en fajas, manejo de residuos, zonas de amortiguamiento, barreras rompe vientos y otras (Fixen, 2007). A menudo, las prácticas que se definen como suficientemente útiles para la toma de decisiones del uso de fertilizantes se vuelven “mejores prácticas” solo cuando se usan en conjunto con otras MPM agronómicas y de conservación. Cualquiera de las MPM de fertilizantes puede ser totalmente ineficiente si el sistema de cultivo en el cual se utiliza tiene otros serios limitantes (Fixen, 2007).

\* Director del Programa de Nitrógeno del International Plant Nutrition Institute.  
Correo electrónico: csnyder@ipni.net

Las prácticas que se resumen a continuación pueden ser guías útiles en la toma de decisiones sobre el uso de fertilizantes nitrogenados y pueden ayudar a reducir el impacto del uso de estos fertilizantes en las emisiones de gases de efecto invernadero (GI) y de esta manera ayudar a mitigar el potencial de calentamiento global (PCG). El PCG se expresa en equivalentes de CO<sub>2</sub>. Los tres GI de interés en agricultura son: óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El PCG del CH<sub>4</sub> es 23 veces mayor que aquel de CO<sub>2</sub> y el PCG de N<sub>2</sub>O es 296 veces mayor que el del CO<sub>2</sub>. Debido a que el uso de fertilizantes nitrogenados puede estar asociado con las emisiones de N<sub>2</sub>O y porque el PCG de N<sub>2</sub>O es mucho mayor que el de CO<sub>2</sub>, las MPM de los fertilizantes nitrogenado se enfatizan en esta guía como medio para reducir las emisiones de N<sub>2</sub>O. Por ejemplo, las MPM de los fertilizantes nitrogenados que ayudan a minimizar el exceso de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en el suelo durante las épocas cálidas y húmedas o cuando el suelo está saturado con agua pueden reducir el riesgo de emisiones de N<sub>2</sub>O (Snyder et al., 2007).

## Principios generales

### *Antes de aplicar cualquier fertilizante nitrogenado*

- Establecer una meta de rendimiento realista que se base en las condiciones climáticas y del suelo del lote a fertilizar.
- Determinar: 1) la fertilidad actual del suelo, 2) el aporte de nutrientes del agua de riego, residuos orgánicos y leguminosas, y 3) la demanda total de nutrientes del cultivo para identificar las dosis de los fertilizantes.
- Identificar otros factores que limiten la eficiencia de uso de N y manejarlos lo mejor posible. Por ejemplo, bajos niveles de otros nutrientes, pobre establecimiento del cultivo, competencia de malezas, drenaje inadecuado y compactación, son factores que reducen la eficiencia de la aplicación de N.
- Evaluar las condiciones del suelo y ambientales para determinar las vías más probables y la intensidad de la pérdida de N.
- Seleccionar uno o más lotes para monitorizar el estado nutricional de las plantas durante el ciclo de cultivo.
  - El análisis foliar permite monitorizar las concentraciones de nutrientes en la planta durante la época de mayor demanda, que generalmente ocurre justo antes de o al inicio de la polinización.
  - En cultivos como arroz y maíz se puede utilizar la tabla de comparación de colores para monitorizar el estado del N en la planta y tomar decisiones de manejo de este nutriente (Ver artículo Pág. No. 9).
- Identificar cualquier riesgo ambiental relacionado con nutrientes que pudiese presentarse en la cuenca hidrográfica o región donde se está trabajando. Algunas de estas condiciones son: 1) alta concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en la capa freática, 2) cuerpos de agua eutrofizados o cuerpos de agua con alto crecimiento de algas nocivas, o 3) fenómenos de enriquecimiento con nutrientes “aguas abajo” que se presenten como bajas concentraciones de oxígeno (hypoxia).

## Equipos, aplicación apropiada y tecnología de aplicación

- Evitar o retrasar las aplicaciones de fertilizantes cuando el campo es susceptible a compactación por el uso de equipos pesados. Evaluar la capacidad de carga de los equipos, la presión de las llantas y su impacto en la compactación del suelo. El incremento en la compactación del suelo puede agravar o acelerar las emisiones de N<sub>2</sub>O del suelo. Considerar el uso de sistemas de labranza que reduzcan los pases de maquinaria a través del campo y que provean del necesario control del agua de escorrentía y de la erosión.
- Calibrar los equipos de aplicación de fertilizantes para asegurar una adecuada entrega de las dosis de N prescritas y una adecuada localización. Evitar la sobre aplicación y la localización del producto fuera del lugar indicado. Asegurar la uniformidad de las aplicaciones a lo ancho del aplicador. Si se hacen aplicaciones en sub-superficie asegurarse de una apropiada profundidad de colocación.
- Asegurar que exista apropiado cerrado del suelo y buena retención de N atrás del aplicador cuando se hacen aplicaciones sub-superficiales de N.

## MPM de los fertilizantes nitrogenados – Como lograr los cuatro pasos fundamentales

### Fuentes de N

- Escoger la fuente de N que encaje con los requerimientos económicos y logísticos y que minimice los riesgos de pérdida de N. La selección de las fuentes de N puede afectar la dosis, época de aplicación y localización del fertilizante.

### *Amonio vs. Nitrato*

- Siempre que sea posible y práctico, el proveer nutrición en forma de amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) en lugar de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> es probable que minimice la emisión total de GI. Esta guía no pretende hacer un análisis del ciclo total de nutrientes, sin embargo, es importante notar que los fertilizantes que tienen N en forma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> son manufacturados con menos emisiones de

GI que los fertilizantes que tienen  $\text{NO}_3^-$  (con excepción de nitrato minado de Chile). Adicionalmente, el  $\text{NO}_3^-$  es más vulnerable a la denitrificación, lo cual resulta en emisiones  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{N}_2$  en forma de gas (Harrison y Webb, 2001; Firestone, 1982).

- Escoger fuentes de N que tengan el nutriente N en forma amoniacal ( $\text{NH}_4$  y  $\text{NH}_3$ ) y no fuentes basadas en  $\text{NO}_3^-$  (Harrison y Webb, 2001), cuando se aplique N temprano en el ciclo, antes que el sistema radicular del cultivo esté bien establecido. Si se utilizan fuentes de N que contengan  $\text{NO}_3^-$  se debe evitar aplicarlas en suelos que se saturan o contengan agua estancada al inicio del ciclo del cultivo. El estancamiento en condiciones cálidas puede generar altas emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ .

### Urea y materiales que contienen urea

- Idealmente, se debe aplicar urea, urea-nitrato de amonio (UAN) y otros materiales que contienen urea cuando es posible una completa incorporación del material al suelo por la lluvia o el riego, a por lo menos 0.5 a 1.0 cm de profundidad, o cuando es posible la incorporación con labranza, dentro de las 24 a 48 horas después de la aplicación. Se deben seguir estas prácticas especialmente donde las condiciones ambientales son favorables a la volatilización de N como amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) (Jones et al., 2007; Trenkel, 1997; Kissel, 1988).
- Aplicaciones de urea en banda sobre la superficie pueden ayudar a reducir el contacto de rastrojo con el fertilizante.
- Los inhibidores de urea se discuten en la sección de “época de aplicación de N”.

### Dosis de N

- Utilizar dosis apropiadas de N, en balance con otros nutrientes esenciales, para optimizar los rendimientos del cultivo y proteger el ambiente. Dosis excesivas pueden causar pérdidas al ambiente, reducir el rendimiento e incrementar los costos. Las dosis de N se deben manejar para:
  - Minimizar los residuos de  $\text{NO}_3$  en el suelo, y para;
  - Reducir los riesgos de emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  (Halvorson et al., 2008b; McSwiney y Robertson, 2005), especialmente en suelos mal drenados.
- Implementar planes para el manejo de nutrientes que consideren las reservas de N en el suelo y la contribución de nutrientes de todas las fuentes utilizadas. Dar crédito a las fuentes de N disponible, como el proveniente de la mineralización de la materia orgánica del suelo (MOS), leguminosas, residuos, agua de riego y deposición atmosférica.



- Identificar las dosis de N requeridas para alcanzar la meta de rendimiento de acuerdo a las condiciones particulares del sitio. Procurar seguir las recomendaciones basadas en investigaciones o en comparaciones replicadas de dosis de N en el campo.
- Después de la cosecha, calcular el factor parcial de productividad (FPP), el balance parcial de nutrientes (BPN) y, en donde sea posible, determinar la eficiencia agronómica (EA) y la eficiencia de recuperación de N (ER) (Snyder y Bruulsema, 2007). Las oportunidades para refinar el manejo del N pueden identificarse a través de estos indicadores. Las evaluaciones pueden extenderse a zonas del campo claramente distintas e identificables que sean lo suficientemente grandes para permitir el manejo de nutrientes por sitio específico.
- Emplear evaluaciones durante y después del ciclo (ver aquellos mencionados anteriormente en la sección de Principios Generales) para evaluar la suficiencia, deficiencia o cualquier exceso en la nutrición con N de las plantas.

### Epoca de aplicación de N

- Un adecuado cronograma de aplicación de N es un factor fundamental que influencia marcadamente la absorción de N por el cultivo y el potencial de elevado contenido de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo, lo que aumenta el riesgo de emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ .
- No aplicar N antes de la siembra en suelos con alto potencial de pérdida de  $\text{NO}_3$  por lixiviación o drenaje, como en suelos de textura gruesa o media bien drenados en regiones húmedas con lluvias anuales superiores a 1 000 mm.
- Evite la aplicación de fertilizantes nitrogenados antes de la siembra donde las condiciones del suelo permitan que se desarrollen las siguientes situaciones:
  - Rápida nitrificación (transformación de  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ ) generalmente asociada con temperaturas del suelo superiores a 21 °C con humedad adecuada (Schmidt, 1982);

- Significativa lixiviación de  $\text{NO}_3^-$  y/o pérdida por escorrentía;
- Significativo potencial de pérdida de  $\text{N}_2\text{O}$  por denitrificación (conversión microbiana de  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{N}_2$  y gas  $\text{N}_2$ ), condición asociada a espacios de poros saturados con agua (más de 60%), suplemento de compuestos de carbono (C) disponibles (por ejemplo materia orgánica) y temperaturas del suelo mayores a 21 °C por más de 2 a 3 días consecutivos.
- Planificar que las aplicaciones de N coincidan, tan práctica y logísticamente como sea posible, con la demanda para maximizar la absorción de N por el cultivo, minimizar el exceso de  $\text{NO}_3^-$  residual y evitar pérdidas al aire o al agua. Evitar la aplicación muy temprana o muy tardía de N en relación con la demanda del cultivo.
- Fraccionar la dosis total de N para sincronizar de esta manera el abastecimiento con la demanda del cultivo. El fraccionamiento de las aplicaciones de N puede incrementar la eficiencia de uso de N. Por ejemplo, trabajos de investigación han demostrado que en maíces tropicales es aconsejable dividir la dosis total de N en tres fracciones, 20% a la siembra, 40% a V6 y 40% a V10 (Ver artículo Pág. No. 9).
- Evitar la utilización de cualquier fuente de N en suelos muy húmedos o con agua estancada, especialmente durante períodos cálidos cuando el N de las fuentes usadas puede convertirse rápidamente en  $\text{NO}_3^-$  y ser susceptible a denitrificación y emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ . Una excepción es el cultivo de arroz inundado que por sus características fisiológicas y por su capacidad de absorber N rápidamente puede usar eficientemente el N aplicado a suelos saturados o inundados.
- Evitar aplicaciones de urea o fuentes de N amoniacal a la superficie de suelos húmedos o con agua estancada (excepto las aplicaciones de N en medio del ciclo del cultivo de arroz inundado) o en suelos secos en condiciones de alta humedad ambiental y con limitadas oportunidades de incorporación en el suelo por varios días después de la aplicación. Esto limita la volatilización de N como  $\text{NH}_3$ .
- Usar inhibidores de nitrificación con fuentes de N amoniacal en ambientes donde existe un alto potencial de lixiviación de  $\text{NO}_3^-$  y/o emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  (Wolt, 2004; Hoef, 1984). Por ejemplo:
  - Ambientes con abundante lluvia;
  - Suelos pobremente drenados (> 60% poros saturados) o con humedad mayor al 60% de la capacidad de campo por varias semanas después de la aplicación del fertilizante nitrogenado;
- Cuando se aplican altas dosis de  $\text{NH}_4$  (incluyendo fuentes que contienen urea) fuera del período de rápido crecimiento y absorción de nutrientes del cultivo.
- Usar inhibidores de ureasa con fuentes de N que contienen urea donde existe un alto riesgo de volatilización de  $\text{NH}_3$  (siembra directa y labranza reducida). Generalmente para aplicaciones superficiales bajo las siguientes condiciones:
  - Donde existen altos niveles de residuos de cultivos en la superficie del suelo, temperaturas cálidas, alta humedad ambiental y vientos;
  - Donde el N se aplica a la superficie del suelo al voleo o en banda;
  - Donde sea poco probable, o no sea posible, lograr una completa incorporación al suelo por medio de la lluvia o el riego (por lo menos 0.5 a 1.0 cm), o por labranza dentro de 24 a 48 horas después de la aplicación.
- Usar fertilizantes de liberación lenta o controlada que ayuden a controlar la liberación de N de estos materiales para así reducir el riesgo de pérdidas por lixiviación de  $\text{NO}_3^-$ , pérdidas por volatilización de  $\text{NH}_3$  y emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  (Blaylock et al., 2005; Burton et al., 2008; Halvorson et al., 2008a y 2008b; Merchan-Paniagua, 2006; Motavalli et al., 2008; Shaviv, 2000; Trenkel, 1997). Estas fuentes pueden actuar bien donde los riesgos de lixiviación de  $\text{NO}_3^-$  y/o las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  son altamente probables al inicio del ciclo de crecimiento, por ejemplo en:
  - Ambientes con alta humedad ambiental y mucha lluvia;
  - Suelos con más del 60% de poros saturados (cerca o por encima de la capacidad del campo) varias semanas después de la aplicación de N o suelos muy húmedos por bastante tiempo del año.
- Es importante conocer las características de liberación de N de las fuentes de liberación lenta o controlada (obtener datos de experimentación de campo comprobada) para escoger la fuente más apropiada de acuerdo a un cultivo específico, su demanda de absorción de N, el régimen prevalente de humedad del suelo y las condiciones climáticas locales.

### Localización del N

- Evitar la colocación de cualquier fuente de N en contacto directo con los residuos del cultivo anterior porque esto incrementa el riesgo de pérdidas de  $\text{N}_2\text{O}$  (Parkin y Kaspar, 2006).
- Evitar las aplicaciones al voleo o en banda de cualquier fuente de N en suelos muy húmedos que

no permitan una adecuada incorporación del fertilizante con la lluvia o el riego (por baja infiltración en el suelo) y en sitios donde exista significativo arrastre del fertilizante por escorrentía.

- Incorporar al suelo la urea, o las fuentes que contienen urea, de la siguiente manera (Jones et al., 2007; Kissel, 1988):
  - Aplicación en banda por debajo de la superficie;
  - A través de la incorporación al suelo por medio de la lluvia o el riego (0.5 a 1.0 cm) o por labranza de 24 a 48 horas después de la aplicación.
- Los inhibidores de ureasa se discutieron en la sección de “Época de aplicación de N”.

Las siguientes prácticas de manejo ofrecen excelentes oportunidades para reducir las emisiones directas de GI y también reducir otras importantes pérdidas de (volatilización de  $\text{NH}_3$ , lixiviación  $\text{NO}_3^-$  y arrastre por escorrentía) que pueden contribuir indirectamente a emisiones de GI. La implementación de estas prácticas puede reducir significativamente la contribución de los fertilizantes nitrogenados al PCG.

1. Estimar cuidadosamente las condiciones de suelo y clima del sitio para determinar el potencial del rendimiento y las posibles vías y magnitud de las pérdidas de N. Procurar aplicar dosis de N que sean suficientes, pero evitar excederse de lo requerido para el rendimiento óptimo y la buena calidad del cultivo. Se debe tomar en cuenta el suplemento de N del suelo y el aporte de todas las otras fuentes de N más allá del fertilizante nitrogenado.
2. Utilizar prácticas de manejo del cultivo que puedan optimizar la efectividad del N y minimizar sus pérdidas (adecuado y balanceado suplemento de todos los nutrientes esenciales, selección de variedades o híbridos de genética superior, uso de labranza de conservación, manejo adecuado de plagas, etc.).
3. Usar un apropiado cronograma de aplicaciones de N y seleccionar la fuente adecuada para minimizar emisiones directas e indirectas de  $\text{N}_2\text{O}$  y que también minimizan el potencial de pérdida de N por otras vías.
4. Usar otras tecnologías, como los inhibidores de ureasa y de nitrificación y fuentes de liberación lenta o controlada de N. Estas tecnologías generalmente reducen la probabilidad de pérdida de N e incrementan su efectividad, especialmente en situaciones donde el fraccionamiento de N presenta riesgos significativos de pérdidas de N.
5. Incorporar el fertilizante bajo la superficie cuando se utilizan fuentes que contienen urea, especialmente en condiciones conducentes a la pérdida de  $\text{NH}_3$ .
6. Utilizar indicadores de desempeño, como el análisis

foliar, durante el ciclo del cultivo y análisis de suelos después del ciclo para evaluar la efectividad de las aplicaciones de N.

7. Tomar las decisiones sobre la fuente, dosis, época y localización del N considerando todas las formas de pérdida que puedan afectar el uso efectivo de este nutriente. Evitar enfocarse solamente en el manejo de las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ , ya que otras vías de pérdida de N pueden ser más importantes en la reducción del uso eficiente del N, dependiendo de la ubicación geográfica y de las condiciones específicas de cada sitio.

## Conclusiones

La utilización de estas guías para la implementación de las MPM ayuda a mejorar la recuperación del N aplicado por el cultivo, incrementa el rendimiento y la captura de  $\text{CO}_2$  y reduce los riesgos de emisión de GI y el PCG neto asociado con el uso de fertilizantes nitrogenados. Los agricultores deben buscar ayuda específica basada en investigación de manejo de N en sistemas de cultivos de consultores certificados, proveedores de fertilizantes, agentes de extensión e investigadores de universidades y centros de investigación. Está claro que el principio de aplicar el producto correcto, en la dosis, época y localización correctas permite minimizar las pérdidas de N. Se necesita más investigación para mejorar el conocimiento de los efectos de los fertilizantes nitrogenados en las emisiones de GI y otras pérdidas de N al ambiente bajo condiciones locales. También se necesita más investigación y monitoreo para medir el impacto de las MPM específicas para N en el desarrollo sostenible y en las metas económicas, sociales y ecológicas de las actuales y futuras generaciones.

## Bibliografía

- Blaylock, A.D., G.D. Binford, R.D. Dowbenko, J. Kaufmann, and R. Islam. 2005. ESN<sup>®</sup>, controlled-release nitrogen for enhanced nitrogen efficiency and improved environmental safety. pp. 381-390. *In Proc. 3rd International Nitrogen Conference Contributed Papers, October 12-16, 2004, Nanjing, China.* Z. Zhu, K. Minami, and G. Xing, editors. Science Press and Science Press USA, Monmouth Junction, NJ.
- Burton, D.L., X. Li, and C.A. Grant. 2008. Influence of fertilizer nitrogen source and management practice on  $\text{N}_2\text{O}$  emissions from two Black Chernozemic soils. *Can. J. Soil Sci.* 88:219-227.
- Firestone, M.K. 1982. Soil nitrogen budgets. pp. 289-326. *In F.J. Stevenson (ed.) Nitrogen in Agricultural Soils.* Agron. monogr. 22. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

## Bibliografía

- Fixen, P.E. 2007. Can we define a global framework within which fertilizer best management practices can be adapted to local conditions? pp. 77-86. *In Fertilizer Best Management Practices: General Principles, Strategy for their Adoption, and Voluntary Initiatives vs. Regulations*. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. 7-9 March 2007. Brussels, Belgium.
- Halvorson, A.D., S.J. Del Grosso, and C.A. Reule. 2008a. Nitrogen fertilization effects on nitrous oxide emissions from irrigated cropping systems. pp. 28-33. *In Proc. of 2008 Great Plains Soil Fertility Conference*, March 4-5, 2008, Denver, CO.
- Halvorson, A.D., S.J. Del Grosso, and C.A. Reule. 2008b. Nitrogen, tillage, and crop rotation effects on nitrous oxide emissions from irrigated cropping systems. *J. Environ. Qual.* (accepted for publication).
- Harrison, R. and J. Webb. 2001. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. *Adv. Agron.* 73:65-108.
- Hoeft, R.G. 1984. Current status nitrification inhibitor use in U.S. Agriculture. Ch. 37 pp. 561-570. *In Nitrogen in Crop Production*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Jones, C.A., R.T. Koenig, J.W. Ellworth, B.D. Brown, and G.D. Jackson. 2007. Management of urea fertilizer to minimize volatilization. EB 173. Montana State University Extension and Washington State University Extension.
- Kissel, D.E. 1988. Management of urea fertilizer. North Central Region Extension Publication. #326. Kansas State University. Manhattan, KS.
- McSwiney, C.P. and G.P. Robertson. 2005. Nonlinear response of N<sub>2</sub>O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize (*Zea mays* L.) cropping system. *Global Change Biology*. 11:1712-1719.
- Merchan-Paniagua, S. 2006. Use of slow-release N fertilizer to control nitrogen losses due to spatial and climatic differences in soil moisture conditions and drainage in claypan soils. M.S.Thesis. 104 pp. University of Missouri-Columbia.
- Motavalli, P.P., K.W. Goynes, and R.P. Udawatta. 2008. The environmental impacts of enhanced efficiency nitrogen fertilizer. *Crop Management* (in review). Plant Management Network. St. Paul, MN.
- Parkin, T.B. and T.C. Kaspar. 2006. Nitrous oxide emissions from corn-soybean systems in the Midwest. *J. Environ. Qual.* 35:1496-1506.
- Roberts, T.L. 2007. Right product, right rate, right time and right place...the foundation of best management practices for fertilizer. pp. 29-32. *In Fertilizer Best Management Practices: General Principles. Strategy for their Adoption, and Voluntary Initiatives vs. Regulations*. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices. 7-9 March 2007. Brussels, Belgium.
- Schmidt, E.L. 1982. Nitrification in soil. pp. 253-288. *In F.J. Stevenson (ed.) Nitrogen in Agricultural Soils*. Agron. Monogr. 22. ASA, CSSA, and SSSA. Madison, WI.
- Shaviv, A. 2000. Advances in controlled release fertilizers. *Advances in Agronomy* 71:1-49.
- Snyder, C.S. and T.W. Bruulsema. 2007. Nutrient Use Efficiency and Effectiveness in North America: Indices of Agronomic and Environmental Benefit. 4 pp. International Plant Nutrition Institute. June 2007. Reference # 07076. Norcross, GA, U.S.A. ([www.ipni.net](http://www.ipni.net)).
- Snyder, C.S., T.W. Bruulsema, and T.L. Jensen. 2007. Greenhouse gas emissions from cropping systems and the influences of fertilizer management – a literature review. International Plant Nutrition Institute, Norcross, Georgia, U.S.A. (<http://www.ipni.net/ppiweb>)
- Trenkel, M.E. 1997. Improved Fertilizer Use Efficiency. Controlled-release and stabilized fertilizer in agriculture. International Fertilizer Industry Association. Paris, France. ([www.fertilizer.org](http://www.fertilizer.org))
- Wolt, J.D. 2004. A meta-evaluation of nitrapyrin agronomic and environmental effectiveness with emphasis on corn production in Midwestern USA. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 69:23-41. ❖