

MEJORES PRÁCTICAS DE MANEJO PARA MINIMIZAR LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO ASOCIADAS CON EL USO DE LOS FERTILIZANTES

Cliff Snyder¹, Tom Bruulsema² y Tom Jensen³

Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI).

¹ Director del Programa de Nitrógeno, Conway, Arkansas, USA; ² Director de la Región Noreste, Guelph, Ontario Canadá; ³ Director de la Región de las grandes planicies del Norte, Saskatoon, Saskatchewan, Canadá.

csnyder@ipni.net

Presentado en el XVI Congreso de AAPRESID. Rosario, 12-15 Agosto 2008.

La agricultura es vista como un gran contribuyente a las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, representa solamente en 8-10% de las emisiones totales en EE.UU. y Canadá. Este artículo sintetiza una revisión reciente de las mejores prácticas de manejo de fertilizantes nitrogenados para reducir la emisión de gases de efecto invernadero. La revisión completa se encuentra disponible en www.ipni.net

El cambio climático y el calentamiento global continúan siendo temas de considerable debate a nivel científico y de interés público. En forma creciente, la agricultura es vista como un gran contribuyente a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), emisiones que manejan el potencial de calentamiento global (PCG). Los fertilizantes nitrogenados utilizados han sido identificados como el principal factor. Este trabajo resume una revisión de literatura científica sobre el impacto del uso y manejo de los fertilizantes sobre las emisiones de los GEI (Snyder et al., 2007), representando un breve resumen del conocimiento actual.

La agricultura juega un rol sustancial en el balance de los tres GEI más significativos, y sus emisiones son influenciadas por la actividad humana. Estos tres gases son: dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) y metano (CH₄). El PCG del N₂O y el CH₄ son de 296 y 23 veces más grandes, respectivamente, que la unidad de CO₂. Entre estos tres gases, el N₂O podría ser el más importante para el uso de los fertilizantes debido a que presenta una mayor influencia en el PCG por unidad equivalente de CO₂.

La agricultura representa un porcentaje menor al 8% de las emisiones totales de GEI en Canadá y menos del 10% en los EE.UU., y, en la actualidad, no se

observan incrementos (Fig. 1). Para la economía total, las emisiones de CO₂ son las más importantes, pero para la agricultura la más importante es la emisión de N₂O (Fig. 2). Las emisiones de CH₄ son principalmente derivadas de la producción ganadera, y contribuyen esencialmente al PCG. A pesar de que las emisiones de N₂O constituyen solamente una fracción menor del total de los GEI en los EE.UU. (Fig. 2); en esta revisión se realiza gran énfasis de las emisiones de óxido nitroso, debido a que la agricultura es la mayor fuente de producción, y esto se relaciona con el manejo del suelo y el uso de fertilizantes nitrogenados.

Las concentraciones atmosféricas de N₂O se han incrementado desde cerca de 270 partes por billón (ppb) durante la era pre-industrial a 319 ppb en el año 2005. Las emisiones de N₂O a partir de la superficie de la tierra se han incrementado en un 40-50%, con posterioridad a los niveles pre-industriales, como resultado de la actividad humana. La proporción de las emisiones de N₂O provenientes directamente de áreas cultivadas, inducida por la fertilización, son estimadas en aproximadamente un 23% a nivel mundial, y presenta un rango entre 24% y 35% en América del Norte.

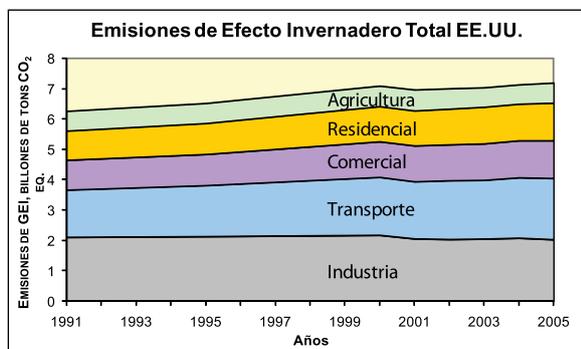


Figura 1. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por sector de la economía de los EE.UU. en billones (10⁹) de toneladas de equivalente en CO₂.

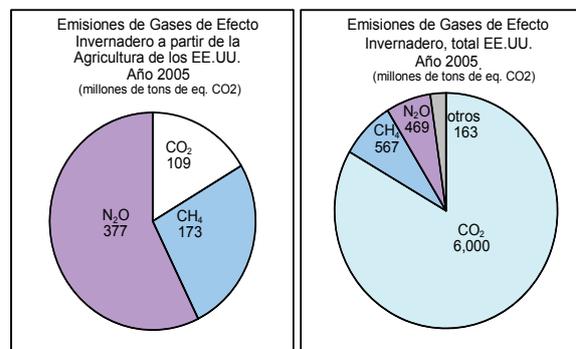


Figura 2. Distribución de las emisiones de gases de efecto invernadero derivado de la agricultura y del total del país, EE.UU.

Fertilizante N – Fuente, Dosis, Momento, Ubicación

La base para un buen manejo de los fertilizantes descansa sobre los principios de utilizar la fuente correcta, en la dosis correcta, en el momento correcto, y con la ubicación correcta (Roberts, 2007). Muchos estudios han mostrado que las condiciones del suelo tales como el espacio poroso ocupado por agua (WFPS), temperatura, y la disponibilidad de carbono (C) soluble tienen una influencia dominante sobre las emisiones de N_2O . Los factores de manejo del cultivo y fuente del fertilizante a utilizar pueden afectar las emisiones de N_2O , pero debido a las interacciones con los factores del suelo es difícil realizar conclusiones generales. Un manejo inadecuado de dosis correcta, fuente, momento, o ubicación del fertilizante N, y la falta de un balance apropiado con otros nutrientes esenciales pueden incrementar la pérdida total de N y las emisiones de N_2O . Cuando el N es aplicado a dosis superiores a la óptima económica, o cuando el N disponible del suelo (especialmente en formas de NO_3^-) excede la absorción realizada por el cultivo, el riesgo de aumento de las emisiones de N_2O se incrementa. Cuando son incluidos leguminosas u otros cultivos fijadores de N en los sistemas de rotación, estos pueden contribuir a un incremento en las emisiones de N_2O , con posterioridad a la cosecha del cultivo, durante la descomposición de los residuos vegetales. Investigaciones alrededor del mundo han mostrado resultados contrastantes en las emisiones de N_2O a partir de diferentes fuentes de fertilizantes N. En la actualidad, basado sobre la literatura disponible, ninguna conclusión puede ser realizada que permita diferenciar una fuente de N como de un gran riesgo de pérdida de N_2O con respecto a otra fuente.

Ureasa e Inhibidores de la Nitrificación, y Mejoradores de la Eficiencia de los productos

Los mejoradores de la eficiencia de los fertilizantes (fertilizantes de liberación lenta y controlada y fertilizantes de N estabilizados) han sido definidos como productos que minimizan la potencial pérdida de nutrientes al medioambiente, comparados con los fertilizantes "solubles". Los fertilizantes con ureasa e inhibidores de la nitrificación han mostrado un buen potencial en incrementar la retención en suelo y la recuperación del N aplicado mediante fertilizante por la planta, pero poco se conoce acerca de sus impactos en las reducciones de las emisiones de N_2O . Los fertilizantes estabilizados, de liberación lenta y controlada han mostrado que incrementan la recuperación por el cultivo y reducen las pérdidas de N vía drenaje o emisiones atmosféricas. Los beneficios en reducir las emisiones de N_2O han sido explorados

en menor grado. Evidencias recientes sugieren que estos pueden ser efectivos en reducir las emisiones en el corto plazo, pero el efecto de las pérdidas en el largo plazo es menos claro. Actualmente, se realizan estudios para mejorar la cuantificación de las emisiones y los beneficios potenciales.

Potencial de Calentamiento Global de los Sistemas Intensivos de Producción de Cultivos

La agricultura es considerada una fuente de los GEI; sin embargo, en ciertas condiciones, la agricultura puede también ser considerada como destino para el CO_2 , resultando en una reducción neta del PCG. La fertilización adecuada puede contribuir a incrementar la materia orgánica del suelo (MOS) o atenuar su reducción. La fertilización inadecuada limita la producción de biomasa por el cultivo, resultando en un menor retorno de C al suelo, menor MOS y, potencialmente, causando una disminución de la productividad del suelo en el largo plazo.

Aplicaciones óptimas de N son necesarias para mantener la productividad primaria del cultivo y la estabilización de la MOS, la cual depende del almacenamiento de carbono orgánico del suelo (COS). Combinaciones de fuente de fertilizante, dosis, momento y ubicación que optimizan la producción de los cultivos minimizan el PCG de las emisiones por unidad de producción, y reducen la necesidad de convertir tierras naturales a la agricultura.

Las prácticas de manejo intensivas de cultivos, las cuales incrementan la absorción de nutrientes mientras logran rendimientos elevados, pueden ayudar a alcanzar reducciones en las emisiones de los GEI a partir de la producción de los cultivos. Cultivos de altos rendimientos pueden incrementar el almacenamiento de C del suelo. El cultivo siguiente de la rotación, tipo de suelo y el manejo de los fertilizantes son factores que ayudan a minimizar el PCG neto: (1) elegir la combinación correcta de variedades o híbridos adaptados, fecha de siembra, y densidad de plantas para maximizar la producción de biomasa por el cultivo; (2) uso de tácticas de manejo de agua y N, incluyendo aplicaciones frecuentes de N para alcanzar una elevada eficiencia de uso del N con mínima oportunidad para la producción de emisiones de N_2O ; y (3) uso de aproximaciones de manejo de los residuos de los cultivos que favorezcan la construcción del COS, como resultado de grandes cantidades de residuos que retornan al suelo.

Mediciones recientes muestran que los grandes factores que contribuyen a generar diferencias entre los sistemas de cultivos en el PCG neto, están relacionados con los cambios en el C del suelo y las emisiones de N_2O (Tabla 1). La misma información muestra que el incremento en el uso de fertilizante N, no siempre produce un aumento en el PCG neto, y

que en sistemas intensivos de producción la utilización de dosis elevadas de N pueden tener un menor PCG por unidad de producción de alimentos, con respecto a los sistemas de bajo input y orgánicos.

La producción intensiva puede resultar en una mayor producción de alimentos por unidad de área. Por ejemplo, los sistemas de secano menos intensivos (MI) requieren un área tres veces mayor para lograr producir la misma cantidad de maíz, respecto al área requerida por los sistemas irrigados (NE) (Tabla 1). La importancia de medición del PCG, por unidad de productividad es acentuada por el hecho que para la mitigación del PCG neto, la liberación de tierras a partir de la producción presenta una gran oportunidad (un ejemplo de conversión de áreas cultivadas a bosques de populus se incluye en la Tabla 1). Las mejores prácticas de manejo (MPM) de los fertilizantes, y las prácticas relacionadas que tienden a incrementar la recuperación del N aplicado por el cultivo, incrementan los rendimientos y reducen el riesgo de las emisiones de los GEI incluyen: fuente de N, dosis, momento y ubicación apropiada; calibración del equipo de aplicación; planeamiento y evaluación del sistema de manejo de nutrientes-labranza-cultivo; uso apropiado de los inhibidores de conversión del N (ureasa, nitrificación) y fuentes de eficiencia mejorada; y consideración de las prácticas sitio-específicas de conservación de

suelos y de aguas, ya que pueden interactuar con otras prácticas de manejo, y también servir como línea secundaria de defensa en limitar la pérdida de nutrientes al medioambiente.

Acciones en el Manejo de los Fertilizantes – Oportunidades y desafíos ambientales

Esta revisión bibliográfica expuso varios desafíos en medir en forma apropiada los efectos combinados de diferentes sistemas de manejo cultivos-labranza-nutrientes sobre las emisiones de los GEI. Un desafío crítico es la falta de mediciones simultáneas de los tres GEI (CO₂, N₂O, and CH₄) sobre períodos de tiempo prolongados en estudios agronómicos y ambientales. Se convirtió en algo distintivo durante esta revisión, que muchos estudios reportaron emisiones solamente de un GEI, basados en mediciones en tiempos relativamente cortos; a menudo con una duración menor a 30 días. Esta “observación aislada” de la evaluación de las emisiones de los GEI limita la habilidad de determinar, en forma precisa, efectos del manejo de nutrientes y cultivos sobre el PCG neto. Otra deficiencia expuesta en esta revisión es el muestreo inadecuado del COS a lo largo de los sistemas de labranzas. Muchos estudios involucran muestreos no más profundos que los primeros 15 cm superficiales, lo cual resulta en mediciones imprecisas

Tabla 1. Comparación del PCG neto en sistemas de producción de cultivos.

Sistemas de Cultivos			PCG en unidades equivalentes de CO ₂ (kg/ha/año)					Rendimiento promedio (t/ha)			Rend. Alim. ¹
Localización	Rotación ⁴	Labranza	C del suelo ⁵	Prod. de fert N ⁶	Comb*	N ₂ O	PCG Neto	Maíz	Trigo	Soja	Gcal/ha/año
MI ²	M-S-T	LC	0	270	160	520	1140	5.3	3.2	2.1	12
MI ²	M-S-T	SD	-1100	270	120	560	140	5.6	3.1	2.4	13
MI ²	M-S-T bajo input con leguminosas	LC	-400	90	200	600	630	4.5	2.6	2.7	12
MI ²	M-S-T orgánico con leguminosas	LC	-290	0	190	560	410	3.3	1.6	2.7	9
NE ³	MM MPM	LC	-1613	807	1503	1173	1980	14.0			48
NE ³	MM intensivo	LC	-2273	1210	1833	2090	3080	15.0			51
NE ³	M-S MPM	LC	1100	293	1283	917	3740	14.7		4.9	35
NE ³	M-S intensivo	LC	-73	660	1613	1247	3740	15.6		5.0	37
MI ²	Conversión de tierras cultivadas a bosques	SD	-1170	50	20	100	-1050				

1 Rendimiento en alimentos= energía de alimentos calculada a partir de los rendimientos de los cultivos de EE.UU. y la base de datos de nutrientes del USDA <http://riley.nal.usda.gov/NDL/index.html>

2 Michigan, sistemas de cultivos de secano (Robertson et al., 2000)

3 Nebraska, sistemas de cultivos irrigados (Adviento-Borbe et al., 2007)

4 M-S-T = maíz – soja – trigo; CC = maíz continuo

5 Estimaciones del C neto almacenado basadas en los cambios en el C del suelo medido en los primeros 7.5 cm de profundidad en el estudio MI y 30 cm en el estudio NE. Muestreos superficiales o de menor profundidad tienden a sobreestimar en forma sesgada el secuestro de C en sistemas de siembra directa.

6 PCG para la manufactura y el transporte de fertilizante N fue asumido en 4.51 y 4.05 kg CO₂/kg N en los estudios MI y NE, respectivamente.

Comb*= Combustible

e inadecuadas de masa de C almacenadas, debido a diferencias en la densidad aparente del suelo, patrones radiculares, y biología rizosférica. Hay muchas oportunidades para expandir nuestro conocimiento acerca de los efectos totales del ambiente sobre las prácticas de manejo de nutrientes en la reducción de las emisiones de los GEI y el PCG. Se requiere una gran colaboración en el futuro entre científicos agronómicos y ambientales para lograr los objetivos de producción mundial de alimentos, fibras y combustibles, y ambientales. Algunos de estas oportunidades de colaboración en investigaciones son: manejo apropiado de nutrientes para celulósicos (anual y perennes), cultivos con destino para biocombustibles; evaluación a largo plazo de las pérdidas de nutrientes vía lixiviación/drenaje/escorrentía y mediciones simultáneas de emisiones atmosféricas de CO₂, N₂O, CH₄ para los sistemas de cultivos más importantes a nivel mundial; parcelas grandes o estudios a escala de campo utilizando sensores del status N del cultivo y dosis variables de N y/o evaluaciones de aplicaciones de fuentes variables de N que incluyan pérdidas ambientales y mediciones de las emisiones.

Conclusiones significativas a partir de esta revisión incluyen:

- 1) El uso apropiado de los fertilizantes nitrogenados ayudan a incrementar la producción de biomasa, necesaria para mantener y construir los niveles de COS;
- 2) Las MPM para los fertilizantes N pueden jugar un rol importante en minimizar el contenido de NO₃⁻ residuales en el suelo, lo cual ayuda a disminuir el riesgo de aumento de las emisiones de N₂O;
- 3) Prácticas de labranza que mantengan los residuos de los cultivos sobre la superficie del suelo pueden incrementar los niveles de COS, pero usualmente solo si la productividad del cultivo es mantenida o se incrementa;
- 4) Diferencias en las emisiones de N₂O entre fuentes de fertilizantes dependen de condiciones sitio específicas –climáticas-;
- 5) Sistemas de manejo intensivo de cultivos no necesariamente incrementan las emisiones de los GEI por unidad de cultivo o de producción de alimento; estos sistemas pueden ayudar a liberar áreas naturales a partir de la conversión de tierras cultivadas y permitir la conversión de tierras seleccionadas para bosques en función de mitigar los GEI, mientras se abastece a las necesidades mundiales de biocombustible, alimentos y fibras.

En el corto plazo, es necesario realizar un gran énfasis en la educación de los que realizan la agricultura acerca de: 1) principios básicos de producción, manejo de sistemas de cultivos sustentables; 2) trayectoria de los caminos de la pérdida de nutrientes a los recursos, aire y agua; 3) oportunidades de mitigar las emisiones de los GEI a través de las MPM de los fertilizantes, lo cual nos dice acerca de los caminos de la pérdida de los nutrientes; y 4) gran dialogo entre científicos agronómicos y ambientales, lo cual promueve un entendimiento y colaboración mutua, para evitar la polarización y las relaciones adversarias sobre las emisiones de los GEI y otros temas ambientales. El tópico de las emisiones de los GEI incrementa la necesidad de un elevado nivel de manejo, aplicado al uso de los fertilizantes en los sistemas de cultivos. Así con todas las MPM de los fertilizantes, aquellas seleccionadas necesitan ser evaluadas en el contexto de mitigación de las emisiones de los GEI a partir de los sistemas de producción de cultivos.

Referencias bibliográficas

- Advento-Borbe M.A.A., Haddix M.L., Binder D.L., Walters D.T. y A. Dobermann.** 2007. Soil greenhouse gas fluxes and global warming potential in four high-yielding maize systems. *Global Change Biology* 13 (9): 1972–1988. doi:10.1111/j.1365-2486.2007.01421.x
- Roberts T.L.** 2007. Right product, right rate, right time and right place...the foundation of best management practices for fertilizer. pp 29-32. *Fertilizer Best Management Practices. General Principles, Strategy for Their Adoption, and Voluntary Initiatives vs. Regulations.* Proc. of IFA International Workshop 7-9 March 2007. Brussels, Belgium. International Fertilizer Industry Association. Paris, France.
- Robertson G.P., Paul E.A. y R.R. Harwood.** 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: Contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science* 289:1922–1925.
- Snyder C.S., Bruulsema T.W. y T.L. Jensen.** 2007. Greenhouse gas emissions from cropping systems and the influence of fertilizer management - a literature review. International Plant Nutrition Institute, Norcross, Georgia, U.S.A.
- U. S. EPA.** 2007. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2005. EPA 430-R-07-002. U.S. Environmental Protection Agency, 1200 Pennsylvania Ave., N.W. Washington, DC 20460.