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

C.S. Snyder, T.W. Bruulsema, y T.L. Jensen

El cambio climático y el calentamiento global continúan siendo temas de considerable debate científico y de gran inquietud pública. Se ha incrementado la percepción pública de que la agricultura es uno de las principales actividades que contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero que controlan el potencial de calentamiento global y se ha identificado al uso de fertilizantes nitrogenados como un factor importante en el proceso. Este artículo presenta una revisión de la literatura científica sobre el impacto del uso de fertilizantes y manejo de las emisiones de gases de efecto invernadero y representan una visión general que resume el conocimiento científico actual.

La agricultura juega un importante papel en el balance de los tres gases de efecto invernadero más significativos, cuyas emisiones son producto de la actividad humana. Estos gases son: dióxido de carbono (CO_2), óxido de nitrógeno (N_2O) y metano (CH_4). El potencial de calentamiento global de cada uno de estos gases se puede expresar en equivalentes de CO_2 . El potencial de calentamiento global del N_2O y del CH_4 es 296 y 23 veces el valor de una unidad de CO_2 , respectivamente. De los tres gases, el N_2O puede ser el más importante en relación al uso de fertilizantes, debido a su gran equivalencia en CO_2 y por lo tanto considerable potencial de calentamiento global.

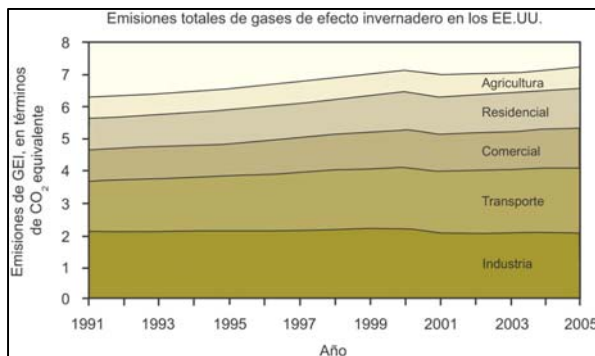


Figura 1. Emisiones de gases de efecto invernadero en la economía de los EE.UU., dividido por sectores, en billones (10⁹) de toneladas de CO_2 equivalente.

La agricultura representa menos del 8% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en Canadá y menos del 10% en los Estados Unidos, valores que no se están incrementando (**Figura 1**). Para la economía global, las emisiones de CO_2 son las más importantes, pero para la agricultura el N_2O es el gas de efecto invernadero más importante (**Figura 2**). Las emisiones de CH_4 , asociadas principalmente con la ganadería, también contribuyen sustancialmente al potencial de calentamiento global. A pesar de que

el N_2O constituye solo una pequeña parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (**Figura 2**), es un tema importante en este resumen ya que la agricultura es su principal fuente y sus emisiones están relacionadas con el manejo del suelo y el uso de fertilizantes nitrogenados.

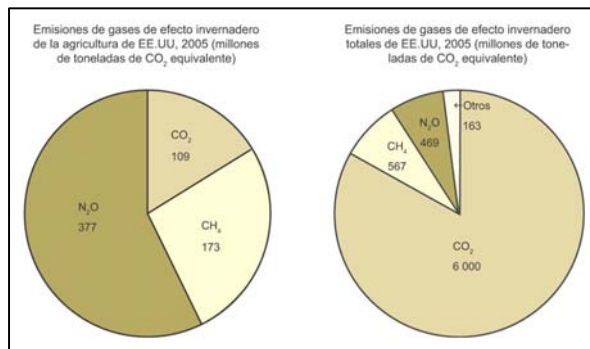


Figura 2. Emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la agricultura y de otras actividades en los EE.UU.

La concentración atmosférica de N₂O aumentó de 270 partes por billón (ppb) en la era pre-industrial a 319 ppb en el 2005. Las emisiones de N₂O desde la superficie del planeta también se han incrementado en un 40 a 50% sobre los niveles pre-industriales como resultado de la actividad humana. Se estima que la proporción de N₂O emitido de tierra cultivada, inducida directamente por el uso de fertilizantes, es de alrededor de 23% a nivel mundial y de entre 24 a 35% para América del Norte.

Fertilización nitrogenada: fuente, dosis, época y localización

El buen manejo de los fertilizantes se basa en la utilización de la fuente correcta, en la cantidad, época y localización correctas (Roberts, 2007). La mayoría de estudios han mostrado que ciertas condiciones de suelo, como el contenido de agua de los poros de suelo, temperatura y disponibilidad de carbono (C) soluble, tienen una influencia dominante en las emisiones de N₂O. La fuente de fertilizantes y el manejo del cultivo pueden afectar las emisiones de N₂O, pero, debido a las interacciones con las condiciones del suelo, es difícil hacer conclusiones generales. El mal manejo de la dosis, fuente, época de aplicación y localización del fertilizante, y la falta de un adecuado balance con otros nutrientes esenciales, pueden incrementar las pérdidas generales de N y las emisiones de N₂O. Cuando se aplica N en cantidades superiores a la dosis óptima económica, o cuando el N disponible en el suelo (especialmente en formas de NO₃⁻) excede a las cantidades absorbidas por los cultivos, el riesgo de emisiones de N₂O se incrementa. Las leguminosas y otros cultivos que fijan N incluidas en la rotación, también pueden contribuir a las emisiones de N₂O después de su ciclo de crecimiento a medida que se descomponen sus residuos. Investigación conducida alrededor del mundo ha mostrado resultados diferentes y contrastantes con respecto a la emisión de N₂O y su relación a varias fuentes de N. Al momento, basándose en la literatura disponible, no se puede llegar a una conclusión sobre que fuente de N tiene el mayor riesgo de pérdidas de N₂O.

Inhibidores de ureasa y nitrificación y fertilizantes de mejor eficiencia

Los fertilizantes con eficiencia mejorada (fertilizantes de liberación lenta y controlada y fertilizantes con N estabilizado) son productos que minimizan el potencial de pérdidas de nutrientes al ambiente, cuando se los compara con los fertilizantes solubles de referencia. Los inhibidores de la ureasa y de la nitrificación han mostrado buen potencial para incrementar la retención en el suelo y para mejorar la recuperación por las plantas del N aplicado, pero se conoce menos sobre su impacto en la reducción de las emisiones totales

de N₂O. Se ha demostrado que los fertilizantes de liberación lenta, controlada y estabilizada mejoran la recuperación de N por los cultivos y reducen las pérdidas por drenaje y por emisiones atmosféricas. Sus beneficios para reducir las emisiones de N₂O se han explorado en menor grado, sin embargo, evidencia reciente sugiere que podrían ser efectivos para reducir las emisiones a corto plazo, pero los efectos de las pérdidas a largo plazo son menos claros. Al momento se están conduciendo estudios para cuantificar de mejor manera estas emisiones y evaluar los beneficios potenciales del uso de estos materiales.

Potencial de calentamiento global de los sistemas de cultivo intensivo

Aun cuando se la considera a menudo como una fuente de gases de efecto invernadero, en algunas condiciones la agricultura también puede ser un sumidero neto de CO₂ y promover una reducción neta en el potencial de calentamiento global. Una adecuada fertilización puede contribuir al incremento de la materia orgánica del suelo (MOS) o a reducir la tasa de pérdida de MOS. Una fertilización inadecuada limita la producción de biomasa por el cultivo y puede conducir a un menor retorno de C al suelo, menos MOS y potencialmente una menor productividad del suelo a largo plazo.

Cantidades óptimas de N son esenciales para mantener la productividad primaria de la planta y estabilizar la MOS, factores que a su vez controlan la estabilidad del C orgánico en el suelo. La combinación de la fuente, dosis, época y localización del fertilizante pueden optimizar los rendimientos del cultivo y minimizar el potencial de calentamiento global por unidad de producción y reducir la necesidad de utilizar más tierra para agricultura.

Las prácticas de manejo intensivo de los cultivos que incrementen la absorción de nutrientes y eleven los rendimientos pueden ser una opción importante para conseguir reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción agrícola. Los cultivos de altos rendimientos pueden incrementar el C almacenado en el suelo. Los siguientes factores del manejo de cultivos, suelo y fertilizantes ayudan a minimizar el potencial de calentamiento global neto: **1)** elección de la combinación correcta de variedades o híbridos adaptados al sitio y fecha y densidad de siembra correctas para maximizar la producción de biomasa del cultivo; **2)** uso táctico de agua y manejo de N, incluyendo el fraccionamiento frecuente de las aplicaciones de N para lograr una alta eficiencia de uso y mínimas posibilidades de emisiones de N₂O; y **3)** estrategias de manejo de los residuos del cultivo que favorezcan la acumulación de MOS como resultado de grandes cantidades de residuos que vuelven al suelo.

Recientes mediciones demuestran que los factores más importantes que contribuyen a las diferencias entre los sistemas de cultivo con respecto a su potencial de calentamiento global neto están relacionadas con el cambio de C en el suelo y con las emisiones de N₂O (**Tabla 1**). Los mismos datos muestran que el incremento en el uso de fertilizantes nitrogenados no siempre incrementa el potencial de calentamiento global neto y que los sistemas de producción intensivos que utilizan dosis más altas de N, pueden tener menos

potencial de calentamiento global neto por unidad de producción de alimentos que los sistemas de producción de bajos insumos y los sistemas orgánicos.

Preservación de áreas silvestres a través de la producción intensiva de cultivos

El método de producción intensiva puede resultar en la obtención de más alimentos por unidad de área. Por ejemplo, los sistemas menos intensivos en Michigan requieren de casi tres veces el área de tierra que los sistemas de Nebraska para lograr producir la misma cantidad de maíz (**Tabla 1**). La importancia de evaluar los sistemas de cultivos por su potencial de calentamiento global por unidad de productividad se confirma al observar la gran oportunidad de mitigación de potencial de calentamiento global que ofrecen las tierras que no fueron utilizadas para producción agrícola (un ejemplo de conversión de cultivos a bosques de álamo se presenta en la **Tabla 1**). Entre las mejores prácticas de manejo (MPM) de fertilizantes, y otras prácticas relacionadas, que tienden a mejorar la recuperación del N por los cultivos, incrementan el rendimiento y reducen el riesgo de las emisiones de los gases de efecto invernadero, se incluyen las siguientes: fuente, dosis, época de aplicación y localización del N; calibración del equipo de aplicación; planificación y evaluación del manejo de los sistemas cultivo-labranza-nutriente; uso apropiado de los inhibidores de los procesos de transformación del N (ureasa, nitrificación); fuentes de eficiencia mejorada; y la consideración de que las prácticas de conservación del suelo y agua son de sitio específico, debido a que éstas puedan interactuar con otras prácticas de manejo y porque sirven también como una línea secundaria de defensa para limitar las pérdidas de nutrientes al ambiente.

Manejo de fertilizantes - retos y oportunidades ambientales

Esta revisión expone los retos de la medición apropiada de los efectos combinados del manejo de los diferentes sistemas cultivos-labranza-nutrientes en las emisiones de gases de efecto invernadero. Un reto crítico es la falta de mediciones simultáneas de todos los tres gases de efecto invernadero (CO_2 , N_2O y CH_4) durante períodos extensos de tiempo en los estudios agrícolas y ambientales. Se hizo aparente durante la revisión para escribir este artículo que muchos estudios reportan emisiones de solo un gas de efecto invernadero, basándose en medidas realizadas en un espacio de tiempo relativamente breve, a menudo menos de 30 días. Esta evaluación instantánea de las emisiones de gases de efecto invernadero limita la habilidad de determinar certeramente los efectos del manejo de cultivos y de nutrientes a nivel del sistema en el potencial de calentamiento global neto. Otra falla expuesta por esta revisión es el muestreo inadecuado de la MOS entre los sistemas de labranza. Muchos estudios tomaron únicamente muestras del suelo de 0 a 15 cm de profundidad, lo que resulta en mediciones imprecisas e inexactas de la masa de C almacenada, debido a las diferencias en la densidad aparente del suelo, la distribución de raíces y la biología de la rizósfera.

Tabla 1. Comparación del potencial de calentamiento global (PCG) neto en sistemas de cultivo seleccionados.

----- Sistemas de cultivo -----			----- PCG en equivalente de CO ₂ (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) -----				
Localidad	Rotación ⁴	Labranza	C del suelo ⁵	Fabricación de N ⁶	Combustible	N ₂ O	PCG neto
Michigan ²	M-S-T	Convensional	0	270	160	520	1 140
Michigan ²	M-S-T	Cero	-1 100	270	120	560	140
Michigan ²	M-S-T bajos insumos y uso de leguminosas	Convensional	-400	90	200	600	630
Michigan ²	M-S-T bajos insumos y uso de leguminosas	Convensional	-290	0	190	560	410
Nebraska ²	MC MPM	Convensional	-1 613	807	1 503	1 173	1 980
Nebraska ²	MC intensivo	Convensional	-2 273	1 210	1 833	2 090	3 080
Nebraska ²	M-S MPM	Convensional	1 100	293	1 283	917	3 740
Nebraska ²	M-S intensivo	Convensional	-73	660	1613	1 247	3740
Michigan ²	Tierra cultivable convertida a bosque de álamo	Cero	-1 170	50	20	100	-1 050

----- Sistemas de cultivo -----			----- Rend. Promedio, t ha ⁻¹ -----			Rend. de alimentos ¹
Localidad	Rotación ⁴	Labranza	Maíz	Trigo	Soya	Gcal ha ⁻¹ año ⁻¹
Michigan ²	M-S-T	Convensional	5.3	3.2	2.1	12
Michigan ²	M-S-T	Cero	5.6	3.1	2.4	13
Michigan ²	M-S-T bajos insumos y uso de leguminosas	Convensional	4.5	2.6	2.7	12
Michigan ²	M-S-T bajos insumos y uso de leguminosas	Convensional	3.3	1.6	2.7	9
Nebraska ²	MC MPM	Convensional	14.0			48
Nebraska ²	MC intensivo	Convensional	15.0			51
Nebraska ²	M-S MPM	Convensional	14.7		4.9	35
Nebraska ²	M-S intensivo	Convensional	15.6		5.0	37

- 1 Energía de los alimentos calculada a partir de los rendimientos del cultivo y de la base de datos nutricional de la USDA (<http://riley.nal.usda.gov/NDL/index.html>).
- 2 Sistemas de cultivo de secano (Robertson et al., 2000).
- 3 Sistemas de cultivo irrigados (Adviento-Borbe et al., 2007).
- 4 M-S-T = maíz – soya – trigo; MC = Maíz continuo.
- 5 Los estimados del almacenamiento neto de carbono del suelo se basan en las mediciones a 75 cm de profundidad para el estudio de Michigan y de 30 cm para el estudio de Nebraska. El muestreo a profundidades menores tiende a exagerar la cantidad de C secuestrados en los sistemas de cero labranza.
- 6 El PCG para la fabricación y el transporte de fertilizante nitrogenado se estimó en 4.51 y 4.05 kg CO₂ kg⁻¹ en los estudios de Michigan y Nebraska respectivamente.

Existen muchas oportunidades de expandir el conocimiento sobre los efectos ambientales completos del adecuado manejo de nutrientes sobre las emisiones de gases de efecto invernadero y la reducción del potencial de calentamiento global neto. Es necesaria una mayor colaboración futura entre científicos agrícolas y ambientales para lograr cumplir las metas globales de producción de alimentos, fibras y combustibles y las metas ambientales. Algunas de estas oportunidades de investigación colaborativa identificadas en las conclusiones de este artículo incluyen las siguientes: manejo adecuado de nutrientes para cultivos celulósicos (anuales y perennes) para obtener biocombustibles; evaluación a largo plazo de la pérdida de nutrientes por lixiviación, drenaje o escorrentía y mediciones simultáneas de las emisiones atmosféricas de CO₂, N₂O y CH₄ en los principales sistemas de cultivo-labranza del mundo y parcelas grandes de evaluación en los estudios de detección de N en los cultivos y de dosis variables y/o fuentes de N en las que se puedan medir pérdidas al ambiente.

Conclusiones relevantes

- ◆ El apropiado uso de los fertilizantes nitrogenados incrementa la producción de la biomasa necesaria para ayudar a restaurar y mantener los niveles de MOS.
- ◆ Las MPM para fertilizantes nitrogenados juegan un importante papel para minimizar el contenido de NO₃⁻ residual en el suelo, lo que reduce el riesgo de incrementar las emisiones de N₂O.
- ◆ Las prácticas de labranza que mantienen los residuos de los cultivos en la superficie del suelo pueden incrementar niveles de MOS, pero, en general, solo si la productividad del cultivo se mantiene o se incrementa.
- ◆ Las diferencias entre las fuentes de N en las emisiones de N₂O dependen de las condiciones específicas de sitio y del clima.
- ◆ Los sistemas de manejo intensivo de los cultivos no necesariamente incrementan las emisiones de gases de efecto invernadero por unidad de tierra cultivada. Estos sistemas pueden ayudar a evitar la conversión de áreas silvestres a tierra de cultivo y permiten la conversión de tierras seleccionadas a bosques para mitigación de gases de efecto invernadero, mientras que se satisface adecuadamente la necesidad mundial de alimentos, fibras y biocombustibles.

A corto plazo, es necesario poner mayor énfasis en la educación de quienes practican la agricultura en los siguientes aspectos: **1)** principios básicos de manejo de los sistemas de cultivos productivos y sostenibles; **2)** procesos de pérdida de nutrientes al aire y al agua; **3)** oportunidades de mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero a través de las MPM existentes y aquellas prometedoras que tengan efecto sobre los procesos de pérdida; y **4)** mayor comunicación entre científicos agrícolas y ambientales que estimule el entendimiento y colaboración mutuos, para evitar la polarización y relaciones adversas en asuntos relacionados con emisiones de gases de efecto invernadero y otros temas

ambientales. Las emisiones de gases de efecto invernadero incrementan la necesidad de un alto nivel de manejo en el uso de fertilizantes en sistemas de cultivos. Como todas las MPM, aquellas seleccionadas para el sitio necesitan evaluarse en el contexto de mitigación de las emisiones de todos los gases de efecto invernadero en el sistema de cultivo completo.

El Dr. Snyder (csnyder@ipni.net) es el Director del Programa de Nitrógeno del IPNI, y los Drs. Bruulsema (tbruulsema@ipni.net) y Jensen (tjensen@ipni.net) son Directores de las oficinas del IPNI del oeste y este de Canadá, respectivamente.

Bibliografía

Adviento-Borbe, M.A.A., et al. 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. In *Fertilizer Best Management Practices*. IFA International Workshop on Fertilizer Best Management Practices (FBMPs). 7-9 March. Brussels, Belgium.

Robertson, G.P., et la. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: Contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science* 289:1922-1925.

USEPA. 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, CD 20460.
