

**Buenas Prácticas Agrícolas: Uso de los Fertilizantes Nitrogenados en la Minimización de la Emisión de Gases de Efecto**

*Good Agricultural Practices: Use of Fertilizers in Minimizing the Emission of Greenhouse Gases*

Lucas Saúl Leyva Chinchay \*

**RESUMEN**

La agricultura es vista como un gran contribuyente a las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, representa solamente en 11% en América Latina de las emisiones totales. Este artículo sintetiza una revisión reciente de las mejores prácticas de manejo de fertilizantes nitrogenados para reducir la emisión de gases de efecto invernadero.

Palabras claves: fertilización nitrogenada, óxido nítrico gases efecto invernadero

**ABSTRACT**

Agriculture is seen as a major contributor to emissions of greenhouse gases. However, it represents only 11% in Latin America of total emissions. This article summarizes a recent review of best management practices for nitrogen fertilizers to reduce the emission of greenhouse gases

Key words: nitrogen fertilization, nitrous oxide greenhouse gases

## INTRODUCCION

### **Importancia de los fertilizantes en la producción alimentaria humana**

Se espera que la población mundial se incremente en más de 40% en los próximos 40-45 años, pasando de los actuales 6.6 billones de personas a 9.4 billones en el año 2050 (U.S.Census Bureau, 2006). En estas condiciones, será necesario incrementar el rendimiento de los cultivos y la eficiencia de la producción para lograr llenar en constante incremento la demanda de alimentos para una población en crecimiento, generalmente con mayor poder adquisitivo. Por ejemplo, se ha estimado que los sistemas de producción de maíz en los Estados Unidos y de arroz en Asia estaban funcionando a un 40-65% del potencial de rendimiento obtenible, y que se necesita un incremento hasta 70-80% del potencial del rendimiento para lograr satisfacer las demandas de alimentos de los próximos 30 años (Dobermann y Cassman, 2002). Adicionalmente, la demanda de biocombustibles provenientes de la agricultura está creciendo rápidamente, haciendo mayor el reto de mejorar la producción. Para lograr esto, serán necesarias que produzcan rendimientos más altos, que integren también la conciencia ambiental estrategias y la rentabilidad de la agricultura. El mejor manejo y el incremento de la eficiencia del uso de los nutrientes serán componentes importantes para lograr este objetivo

El cambio climático y el calentamiento global continúan siendo temas de gran importancia para el 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).

El nivel actual de la concentración de los GEI en la atmosfera es de 430 partes por millón (ppm) de CO<sub>2</sub> lo que viene originando un calentamiento en el planeta en más de medio grado centígrado (Stern, 2006). Asimismo este autor propone que deberíamos estabilizar hasta el año 2050 de 500 a 550 ppm de CO<sub>2</sub> que es significativo y viable.

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 (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y metano (CH<sub>4</sub>). El PCG del N<sub>2</sub>O y el CH<sub>4</sub> son de 296 y 23 veces más grandes, respectivamente, que la unidad de CO<sub>2</sub>.

Entre estos tres gases, el N<sub>2</sub>O podría ser el más importante por el uso de los fertilizantes debido a que presenta una mayor influencia en el PCG por unidad equivalente de CO<sub>2</sub>.

---

\* Ingeniero Agrónomo y Magister en Ecología y Gestion Ambiental. Docente de la UAP.

E-mail: saul\_leyva@hotmail.com

La agricultura representa un porcentaje de 11% de las emisiones totales de GEI en América Latina, y, en la actualidad, no se observan incrementos (Fig. 1). Para la economía total, las emisiones de CO<sub>2</sub> son las más importantes, pero para la agricultura la más importante es la emisión de N<sub>2</sub>O (Fig. 2). Las emisiones de CH<sub>4</sub> son principalmente derivadas de la producción ganadera, y contribuyen esencialmente al PCG. A pesar de que las emisiones de N<sub>2</sub>O 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 N<sub>2</sub>O 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 N<sub>2</sub>O 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 N<sub>2</sub>O 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.

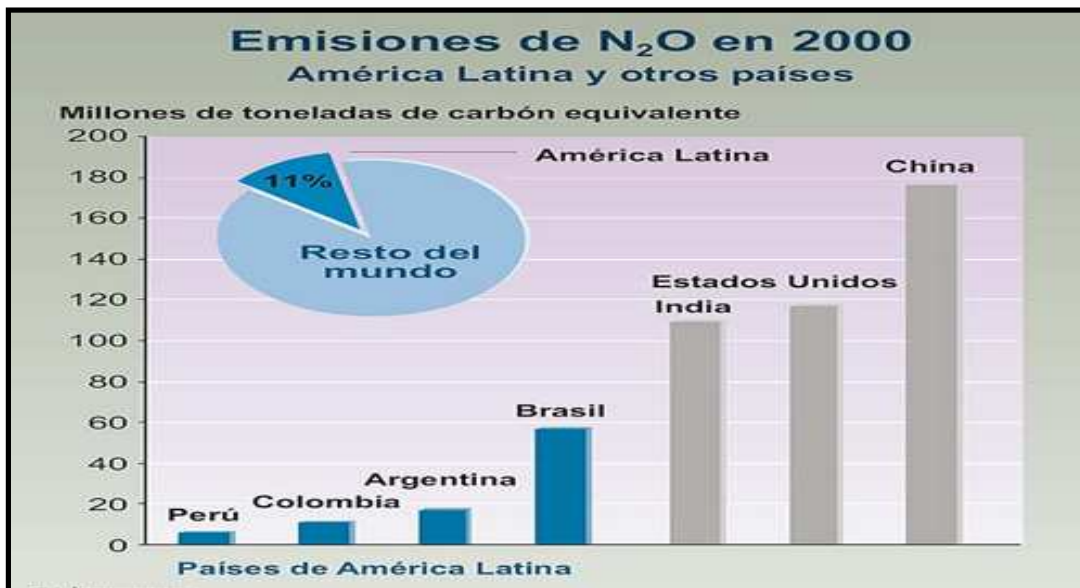


Figura 1. Emisiones de N<sub>2</sub>O a nivel mundial (Olivares Pascual 2007)

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Optimización de la eficiencia de uso de los fertilizantes**

#### **Principios Científicos**

Principios científicos específicos fundamentan las BPA de cultivos y uso de fertilizantes, en grupo e individualmente. Estos principios son globales y también aplicables al nivel práctico de manejo en el campo. La aplicación de estos principios científicos puede diferir ampliamente, dependiendo del sistema específico de cultivo que se encuentre bajo consideración. Los principios específicos relevantes a cada categoría de las BPA son listados a continuación.

##### **1) Manejo del Cultivo**

- a) Buscar medidas prácticas de validación.
- b) Reconocer y adaptarse a los riesgos.
- c) Definir indicadores funcionales.
- d) Asegurar la retroalimentación entre los niveles globales y práctico de campo.

##### **2) Manejo del Fertilizante**

- a) Ser consistentes con los mecanismos de los procesos conocidos.
- b) Reconocer las interacciones con otros factores del sistema de cultivos.
- c) Reconocer interacciones entre fuente de nutrientes, dosis, momento y ubicación.
- d) Evitar efectos detrimentales sobre las raíces de las plantas, hojas y plántulas.
- e) Reconocer los efectos en la calidad del cultivo como en el rendimiento.
- f) Considerar los resultados económicos

La base para un buen manejo de los fertilizantes descansa sobre los siguientes principios la fuente adecuada, en la dosis correcta, en el momento preciso, y con la localización correcta (Stewart 2007).

## **METODOLOGIA**

### **Dosis correcta**

#### **4) Dosis**

- a) Utilizar métodos adecuados para evaluar la disponibilidad de nutrientes en suelo.
- b) Evaluar todas las fuentes de nutrientes nativos del suelo disponibles para el cultivo.
- c) Evaluar la demanda de nutrientes de la planta.
- d) Predecir la eficiencia de uso del fertilizante.
- e) Considerar los impactos en el recurso suelo.
- f) Considerar las dosis específicas económicas.

Los rendimientos de la mayoría de los cultivos son específico en lugar y época del año y dependen del cultivar, practicas de manejo y clima y otros. Por esta razón es crítico que se establezcan metas de rendimientos reales y que se apliquen nutrimentos para lograr

esa meta, Cantidades menores o mayores a las necesarias resultan en una pobre eficiencia de uso de los nutrientes o en pérdidas en el rendimiento y la calidad del cultivo.

El análisis del suelo sigue siendo una de las mejores herramientas para determinar la capacidad del suelo para suplementar nutrientes, pero para ser útil en el diseño de adecuadas recomendaciones de fertilización es necesario una buena calibración

Con más precisión podemos usar el plan integral de nutrición con tecnología satelital (PINSAT) Esta técnica ofrece en forma detallada y precisa la información de suministro y variabilidad de diversos elementos y nutrientes que interactúan en la nutrición vegetal de todas las áreas cultivables del predio o campo. Es el servicio de diagnóstico nutricional más preciso del mercado, y el único que permite determinar dosis de fertilización sectorizadas por lote.

El agricultor podrá evaluar el estado nutricional de sus lotes y a partir de esto preparar un programa de fertilización diseñado específicamente para las necesidades de su cultivo. No tiene limitaciones por número de hectáreas, tipo de siembra ni cultivo. Puede ser usado a cualquier escala y para cualquier tipo de suelo.

### **Ventajas**

Fácil visualización de los elementos y su disponibilidad

Mejor distribución de los fertilizantes

Eficiencia en el uso de los recursos

Ajuste en los planes de fertilización con valores reales

Mejor soporte para la toma de decisiones

### **Época oportuna**

5) Momento

a) Evaluar la dinámica de absorción del cultivo.

b) Evaluar la dinámica del nutriente en el suelo.

c) Reconocer el momento en que los factores climáticos influyen la pérdida de nutrientes.

d) Evaluar la logística de las operaciones a campo

La capacidad de las plantas jóvenes para absorber y almacenar un exceso de nitrógeno para su futuro desarrollo, enfatiza la conveniencia de aplicar las dosis grandes en las primeras semanas de su vida.

La época de siembra y la fertilidad del suelo son los factores más importantes para determinar la cantidad de nitrógeno que se debe aplicar y tanto la dosis como la época de aplicación tienen gran influencia en los rendimientos de maíz, arroz, frutal, caña de azúcar y otros.

Por ejemplo en la caña de azúcar tarda aproximadamente 6 meses en formar una buena cubierta para la completa exposición del follaje a la luz del sol y también para formar una buena cepa de tallos molederos. Es importante aplicar el nitrógeno dentro de este lapso.

La época de aplicación de nitrógeno es un factor dominante en el periodo de maduración y en la cosecha, se deben tomar las precauciones sobre la época de la última aplicación. Se han obtenido aumentos significativos en los rendimientos de caña y de azúcar con aplicaciones de nitrógeno tan tardías como 5 ½ meses antes de la cosecha. Produciendo mala calidad de los jugos. La última dosis debería aplicarse por lo menos con un lapso de 10 meses antes de la cosecha (Saldarriaga, 2010).

### **Fuente adecuada**

#### 3) Fuente

- a) Suministrar nutrientes en formas disponibles para las plantas.
- b) Ajustarse a las propiedades físicas y químicas del suelo.
- c) Reconocer sinergismos entre nutrientes y fuentes.
- d) Reconocer compatibilidad de mezclas.
- e) Reconocer beneficios y sensibilidades a los elementos asociados.
- f) Controlar el efecto de los elementos no-nutritivos

Otra estrategia para mejorar la sincronización entre la aplicación y la absorción es el uso de fertilizantes con mayor eficacia. La asociación Americana de Oficiales de control de fertilizantes ha definido a los fertilizantes de mayor eficiencia como productos que tienen características que minimizan el potencial de pérdidas de nutrientes hacia el ambiente, en comparación con productos solubles de referencia (AAPFCO, 2006). Dentro de la clase de fertilizantes se incluyen compuestos orgánicos sintéticos de lenta solubilidad que contienen N, los fertilizantes nitrogenados solubles rodeados por una barrera física o recubrimiento que impide la liberación y fertilizantes nitrogenados estabilizados (fertilizantes nitrogenados tratados con inhibidores de ureasa y/o nitrificación).

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<sub>2</sub>O 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.

### **Localización correcta**

Existen numerosas opciones de localización, pero la mayoría se relaciona con aplicaciones superficiales o sub-superficiales de nutrientes ya sea en bandas o al voleo antes o después de la siembra. Saldarriaga 2010 informa que el método de aplicación de

nitrógeno sobre la superficie seca con riego inmediato y la aplicación enterrada supero significativamente a la forma de aplicación del nitrógeno sobre la superficie humedad del suelo en los rendimientos de caña y azúcar recuperable

La incorporación al suelo es lo mejor y actualmente el uso de las maquinarias ayudan mucho (Saldarriaga, 2010), también se deberá:

- a) Reconocer la dinámica suelo-raíz.
- b) Manejar la variabilidad espacial dentro y entre los campos.
- c) Ajustar las necesidades al sistema de labranza.
- d) Limitar el transporte potencial de nutrientes fuera del campo.

Los principios científicos aplicables para una situación específica a nivel de campo es considerable

Muchos estudios han mostrado que las condiciones del suelo tales como el espacio poroso ocupado por agua, temperatura, y la disponibilidad de carbono (C) soluble tienen una influencia dominante sobre las emisiones de N<sub>2</sub>O. Los factores de manejo del cultivo y fuente del fertilizante a utilizar pueden afectar las emisiones de N<sub>2</sub>O, 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<sub>2</sub>O. Cuando el N es aplicado a dosis superiores a la óptima económica, o cuando el N disponible del suelo (especialmente en formas de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) excede la absorción realizada por el cultivo, el riesgo de aumento de las emisiones de N<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub>O, 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<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub>O con respecto a otra fuente

## **RESULTADOS**

### **Potencial de calentamiento global de los sistemas intensivos de producción de cultivo**

#### **Pérdidas del N a la atmosfera: Volatilización**

El Nitrógeno (N) en el suelo está sujeto a un conjunto de transformaciones y procesos de transporte que se denomina “Ciclo del Nitrogeno”. Debido a las interacciones que

existen entre todas las partes de este sistema, para poder reducir las pérdidas de N, es necesario conocer cómo influyen las prácticas agrícolas y los factores ambientales en los diversos procesos de este ciclo. Pudiendo ser por volatilización, (suelos con pH más de 8, abonos orgánicos) desnitrificación, (bacteria anaeróbicas que producen el amoníaco y el  $N_2O$ ) pérdidas por escorrentía, (exceso de riego) y lixiviación por arrastre que produce la contaminación de los acuíferos

La volatilización del amoníaco es un mecanismo que ocurre naturalmente en todos los suelos, por mineralización de Nitrógeno orgánico. Pero las pérdidas provenientes de fertilizantes químicos son considerablemente mayores que las provenientes del Nitrógeno del suelo. La volatilización del amoníaco depende de diversas causas. Pero, para entender cómo interactúan estas causas, hay que conocer las reacciones químicas de los fertilizantes en el suelo. La urea está sujeta a hidrólisis catalizada por la enzima ureasa, de amplia difusión en el suelo, y que responde a la siguiente ecuación:

Esta reacción causa áreas de alto pH en el sitio de la hidrólisis. El Amonio ( $NH_4$ ) formado entra en una reacción de equilibrio con el Amoníaco ( $NH_3$ ) de la solución del suelo.

Esta ecuación está gobernada por el pH del suelo.

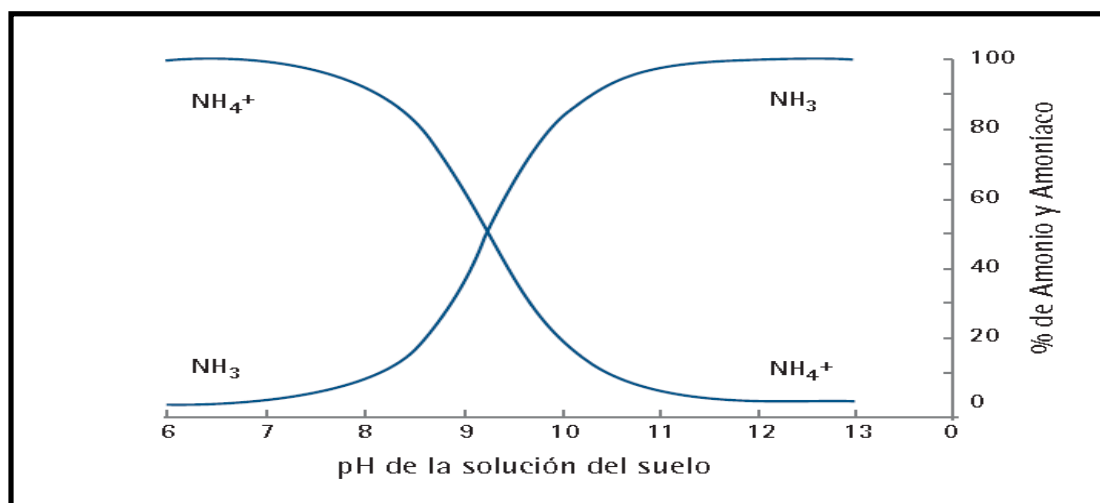


Figura 2. Comportamiento de N según el tipo de pH





Figura 3. Elaboración propia

La agricultura es considerada una fuente de los gases de invernadero (GEI); sin embargo, en ciertas condiciones, la agricultura puede también ser considerada como destino para el  $\text{CO}_2$ , resultando en una reducción neta del PCG.

La fertilización adecuada puede contribuir a incrementar la materia orgánica del suelo (MOS) o atenuar su reducción. Limitan la producción de biomasa del 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 intensivos de cultivos, incrementan la absorción de nutrientes mientras logran rendimientos elevados, ayudan alcanzar reducciones en las emisiones de los GEI a partir de la producción de los cultivos. Por ejemplo en el arroz (inundado), el nitrógeno orgánico pasa rápidamente a forma amoniacal, no formándose nitrato por la escasez de oxígeno presente en el medio. Así gran parte del nitrato aportado como abono se transforma en amoníaco perdiéndose rápidamente por la volatilización.

En cultivos de secano, con precipitaciones escasas y temperaturas altas, las pérdidas por desnitrificación son pequeñas. Sin embargo, estas pérdidas pueden ser elevadas por volatilización del amoníaco. La lixiviación sólo se da en casos en que coincida el

periodo de aplicación con el periodo de avenidas o lluvias. En cultivos de regadío, o en cultivos en zonas húmedas, las pérdidas más importantes se dan por lixiviación del nitrato así como por desnitrificación en condiciones de encharcamiento, o en pendientes reducidas.

Cultivos de altos rendimientos, cómo la caña de azúcar pueden incrementar el almacenamiento de C del suelo por consumir alto CO<sub>2</sub> y enfrían al ambiente (Scott Loarie 2011) porque reflejan la luz solar devolviéndola al espacio y porque las plantas "exhalan" agua más fría que los demás cultivos. Asimismo por la gran renovación de su sistema radicular que se hace de corte a corte.

El cultivo 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 estrategias 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<sub>2</sub>O; y (3) 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<sub>2</sub>O (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 Eucaliptos se incluye en la Tabla (1).

**Buenas Prácticas Agrícolas: Uso de los Fertilizantes Nitrogenados en la Minimización de la Emisión de Gases de Efecto**

Tabla 1. Comparación del PCG neto en sistemas de producción de cultivos (tomado de **Cliff Snyder, 2008**)

Sistemas de cultivo			PCG en unidades equivalentes de CO2					Rendimiento			Rend
Localización	Rotación(4)	Labranza	Kg/hs/año					Promedio(t/ha)			Alim(1)
			C del suelo(5)	Prod.de Fert N(6)	Comb *	N2O	PCG Neto	Maíz	Trigo	Soya	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
M(3)	MM MPM	LC	-1613	807	1503	1173	1980	14.0			48
M(3)	MM intenso	LC	-2273	1210	1833	2090	3080	15.0			51
M(3)	M-S MPM	LC	1100	293	1283	917	3740	14.7		4.9	35
M(3)	M-S intenso	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				

<p>1- Rendimiento en alimentos=energía de alimentos calculados a partir de los rendimientos de los cultivos de EE.UU y la base de nutrientes del USDA</p> <p><a href="http://riley.nal.usda.gov/NDL/index.html">Http://riley.nal.usda.gov/NDL/index.html</a></p> <p>2-Michigan,sistema de cultivo de secano(Robertson et al.,2009)</p> <p>3-Nebraska,sistema de cultivos irrigados(Adviento et al., 2007)</p> <p>4-M-S-T=maíz-soya-trigo;CC=cultivo continuado de maíz</p> <p>5- Estimaciones del C neto almacenado basado en los cambios en el C del suelo medido en los primeros 7.5 cm de profundidad en el estudio MI y 30cm en el estudio NE.Muestras superficiales o de menor profundidad tienden a sobrestimar en forma sesgada el secuestro de C en sistema de siembra directa.</p> <p>6-PCG para la manufactura y el transporte de fertilizante N fue asumido en 4.51 y 4.05 kgC02/Kg N en los estudios MI Y NE respectivamente</p> <p>Comb*=Combustible</p>
---

Las buenas prácticas agrícola (BPA) 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 adecuado y ubicación apropiada; calibración del equipo de aplicación; planeamiento y evaluación del sistema de manejo de nutrientes-labranza-cultivo; uso apropiado de las coberturas o 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.

## DISCUSIÓN

En esta revisión bibliográfica se expone varios desafíos a 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 (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, and CH<sub>4</sub>) 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 en los primeros 15 cm superficiales, lo cual resulta en mediciones imprecisas e inadecuadas de masa de C almacenadas, debido a diferencias en la densidad aparente del suelo, desarrollo radicales, 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..

Algunos de estas oportunidades de colaboración en investigaciones son: manejo apropiado de nutrientes para la producción (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 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> 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**

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 Buenas Prácticas Agrícola (BPA) para los fertilizantes nitrogenados pueden jugar un rol importante en minimizar el contenido de NO<sub>3</sub> - residuales en el suelo, lo cual ayuda a disminuir el riesgo de aumento de las emisiones de N<sub>2</sub>O.
3. Prácticas de labranza que mantengan los residuos de los cultivos o mulch sobre la superficie del suelo pueden incrementar los niveles de carbono orgánico del suelo (COS), pero solo si la productividad del cultivo es mantenida o se incrementa.
4. Diferencias en las emisiones de N<sub>2</sub>O entre fuentes de fertilizantes dependen de condiciones de suelo –clima.
5. Sistemas de manejo intensivo de cultivos no necesariamente incrementan las emisiones de los Gases de efecto invernadero (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 para la producción de madera, bosques ribereños,

caña de azúcar y otros, 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 las rutas de la pérdida de nutrientes en el suelo, agua y aire.
3. Oportunidades de mitigar las emisiones de los GEI a través de las BPA de los fertilizantes, lo cual nos dice acerca de la ruta de la pérdida de los nutrientes.
4. Gran dialogo entre científicos agrónomos 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.

Así con todas las BPA 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.

El método más efectivo para reducir las emisiones de N<sub>2</sub>O es incrementar el uso eficiente de fertilizante nitrogenado. Esto se puede realizar a partir de campañas que enseñen a las personas a aplicar cantidades precisas de fertilizante a los cultivos y a usar un tiempo de aplicación exacto que coincida con el periodo de tiempo que las plantas necesitan nutrientes

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cliff Snyder, Tom Bruulsema y Tom Jensen (2008.) Mejores Prácticas de Manejo para Minimizar las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero asociadas con el Uso de los Fertilizantes *XVI Congreso de AAPRESID. Rosario Argentina*
- Adviento-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.
- 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

- Dobermann Y Cassman, 2002 Plant Nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. *Plant and soil* 247:153-175
  - Olivares Pascual José 2007. El nitrógeno y el cambio climático. *El país* 9/mayo
  - 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*
  - 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.,
  - Scott Loarie(2011) *Nature Climate Change* (17 DE ABRIL)
  - Saldarriaga Arroyo Segundo 2010. Comunicación personal
  - Workshop 7-9 March 2007. Brussels, Belgium. International Fertilizer Industry Association. Paris, France.
- 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.