

EMISIÓN DE N₂O CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN FERTIRRIEGO Y FERTILIZACIÓN CONVENCIONAL

Sandra Grisell MORA RAVELO¹, Manuel SANDOVAL VILLA², Francisco GAVI REYES² y Prometeo SÁNCHEZ GARCÍA²

¹Estudiante de Doctorado del Colegio de Postgraduados

²Profesores-Investigadores Adjuntos del Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados. Carretera México Texcoco, km 36.5, Montecillo 56230 Edo. de México. Correo electrónico sgmora@colpos.mx

(Recibido enero 2004, aceptado noviembre 2004)

Palabras clave: óxido nitroso, denitrificación, nitrógeno, humedad

RESUMEN

El relacionar el uso de fertilizantes químicos u orgánicos nitrogenados con la contaminación ambiental, implica adoptar alternativas que reduzcan las pérdidas de nitrógeno (N) del suelo que podría ser utilizado por los cultivos. La fertirrigación es una técnica de aplicación de agua y fertilizante que mejora la eficiencia en el uso de los fertilizantes mediante el riego por goteo. No existen reportes sobre como la fertirrigación afecta a la desnitrificación. El objetivo del presente trabajo es estudiar cómo afectan la fertirrigación y la fertilización convencional a la desnitrificación y verificar si, efectivamente, es posible reducir las emisiones de óxido nitroso (N₂O) hacia la atmósfera. Se utilizó la captura de N₂O *in situ* por el método adaptado por Grageda (1999) y Vivanco (2000). Las muestras de N₂O se tomaron a las 2, 24, 48 y 72 h después del riego. La temperatura del suelo se midió con un termómetro aproximadamente a 10 cm de profundidad del suelo. La humedad del suelo (0-12 cm) se determinó con la ayuda de un instrumento DT Delta-T devices, tipo ML2 ThetaProbe. La cuantificación de N₂O fue por cromatografía de gases. Los cálculos y análisis estadístico se efectuaron con el paquete estadístico SAS (SAS 1998). Los resultados obtenidos para la emisión de N₂O manifiestan que el factor que más influyó en el sistema de riego convencional fue la humedad ya que existió una diferencia significativa a las 2, 24 y 48 h después del riego con respecto al fertirriego (riego por goteo). A pesar de que estadísticamente no hubo diferencia significativa en la emisión de N₂O entre sistemas se obtuvo una concentración en riego por goteo de 0.69 y 2.82 µM menor que en el sistema convencional a las 48 y 72 h. Las temperaturas registradas a lo largo del desarrollo del cultivo estuvieron por debajo de las reportadas, por lo que se asume que este factor influyó en la disminución de la producción de N₂O. Con respecto al pH del suelo se trabajó en un rango de 8.0 a 8.4, promedio superior al reportado como pH óptimo para el crecimiento de brócoli por lo que probablemente también influyó en la emisión de N₂O en el sistema convencional y en el fertirriego.

Key words: nitrous oxide, denitrification, nitrogen, humidity

ABSTRACT

The use of chemical and organic nitrogen fertilizers and its relationship to environmental contamination implies the necessity of implementing alternatives that may reduce nitrogen losses from soil and hence increase nitrogen use efficiency by crops. Fertirrigation is a technique of water and fertilizers application that improves fertilizers use efficiency. There are no reports on fertirrigation effects on nitrous oxide (N_2O) emissions or denitrification. The objective of the present work was to study the effect of fertirrigation and conventional fertilization on denitrification and verify if fertirrigation can reduce N_2O emissions to the atmosphere. N_2O was trapped *in situ* by the method adapted by Grageda (1999) and Vivanco (2000). The samples of N_2O were taken at 2, 24, 48, and 72 h after irrigation. Soil temperature was taken with a regular thermometer approximately at 10 cm of soil depth. Soil water (0-12 cm) was monitored by using a DT Delta - T device, type ML2 ThetaProbe. N_2O quantification was carried out by gas chromatography. Statistical analysis and figures were developed using the SAS software (SAS 1998). The figures and results obtained demonstrated that soil water strongly affected N_2O emission since there were significant differences at 2, 24, 48, and 72 h after irrigation compared to conventional fertilization and irrigation. In spite of the fact that differences between systems were not significant, N_2O emission for fertirrigation was 0.69 and 2.82 for conventional fertilization at 48 and 72 h. The temperature registered along crop growing season were lower than optimum temperature for denitrification, and it is believed that low temperature decreases denitrification. Soil pH ranged from 8.0 to 8.4, which is significantly higher than optimum for denitrification and this may affect negatively N_2O emissions in conventional and fertirrigation nitrogen fertilization.

INTRODUCCIÓN

La agricultura es fuente de varios gases de tipo invernadero a los que se atribuye parcialmente el calentamiento global. Este se debe al incremento de la temperatura en la atmósfera por la concentración de gases como los N_xO que absorben la radiación infrarroja (Intergovernmental Panel on Climate Change 1990). El empleo de fertilizantes nitrogenados es el principal responsable de las emisiones de origen antrópico de N_xO hacia la atmósfera. Se ha calculado que estos gases contribuyen con 37.5 % de estas emisiones (Rochette *et al.* 2000). Los N_xO contribuyen en 7 % a la intensificación del efecto invernadero (Ludevid 1997). La emisión de N_2O se incrementa al aumentar la cantidad disponible de N debido a la mayor actividad microbiana.

La desnitrificación se considera como el mecanismo más importante de volatilización de N y N_2O , NO en el ciclo del N en los agro ecosistemas (Aulakh *et al.* 1998). Esta se define como la reducción microbiana de los NO_3^- y NO_2^- a N gaseoso. Los microbiólogos del suelo consideran a la desnitrificación como un proceso metabólico específico que es llevado a cabo por un número limitado de géneros bacterianos (Hutchinson y Livingston 1993). Hay preocupación creciente sobre los efectos que el N_2O ocasiona en el ambiente, como los movimientos que

se dan a nivel de la estratosfera, ya que este gas participa en una serie de reacciones catalizadoras que producen la destrucción del ozono (O_3). Una revisión excelente de las reacciones estratosféricas del N_2O son descritas por Crutzen (1981).

Eichner (1990) resumió los datos de 104 experimentos de campo a nivel mundial en cuanto a las emisiones de N_2O de suelos fertilizados. Ella concluyó que existe una correlación entre las emisiones de N_2O y la cantidad de fertilizante aplicado. Además estimó que para el año 2000 por cada 100 Tg en el consumo de fertilizantes nitrogenados la descarga global anual de emisiones por fertilizante será de 3 Tg N_2O -N. Las políticas así como las tendencias entre los tipos de fertilizantes usados y los procesos naturales, afectarán las proporciones de la emisión real.

Hay variación considerable acerca de los fertilizantes nitrogenados que se pierden de los suelos hacia la atmósfera por la desnitrificación, esta variación ha sido reportada de 0 a 70 % del N aplicado y depende de la concentración de nitratos (NO_3^-) en los suelos, porosidad, tensión de agua, pH, temperatura, contenido y mineralización de la materia orgánica (MO). La adición de abono verde de leguminosas o residuos a los suelos bajos en C, refuerza la actividad de desnitrificación (Rechcigl 1995).

Ryden (1981) menciona que el consumo y la pro-

ducción de N₂O en la desnitrificación es regulado por el agua del suelo y la cantidad de NO₃⁻ presente. Conrad *et al.* (1983), mostraron que la aplicación de fertilizantes con NH₄⁺ aumenta la emisión de N₂O. Los estudios realizados por Mosier (1994) demostraron que la cantidad de N₂O fue más afectada por las propiedades del suelo que por el tipo de fertilizantes, especialmente aquellos que contienen NH₄⁺. Finalmente, Bergstrom *et al.* (2001), determinaron que la desnitrificación es la fuente principal de emisión de N₂O a la atmósfera. Además señalan que los estudios realizados en la Universidad de Guelph Ontario, Canadá, fueron influenciados por el bajo nivel de NO₃⁻ que aportaron los suelos donde se realizaron los experimentos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El suelo donde se ubicó el experimento se clasifica como **Fluventic Haplustoll**. Es un suelo de textura arcillosa, con reacción moderadamente alcalina (pH = 8.4), de fertilidad natural baja (CIC = 31.8 cmol/100 g), sin limitaciones para la agricultura por la salinidad (0.63 dS m⁻¹) (Villareal 1997).

Captura de N₂O *in situ*

El método fue adaptado por Grageda (1999) y Vivanco (2000) y se basa en colocar frascos sellados con septos de hule conectados a la línea de aire en el suelo (manguera) a una profundidad de 30 cm (**Fig. 1**). Los frascos se incubaron durante todo el experimento con ventilación previa de aproximadamente 20 min antes de cada muestreo.

Las muestras de N₂O se tomaron cada semana durante 3 meses a las 2, 24, 48 y 72 h después del riego. El período de muestreo fue de 30 minutos, tiem-

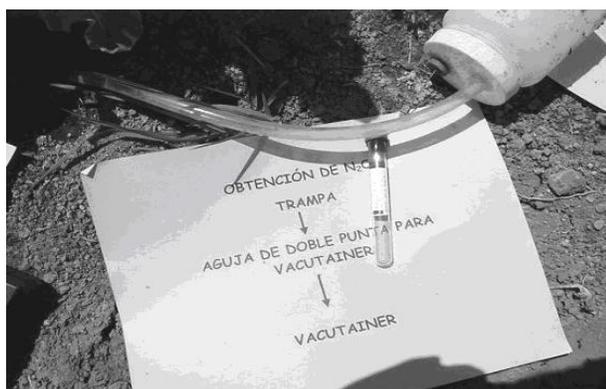


Fig. 1. Captura de N₂O *in situ*

po suficiente para no alterar las condiciones ambientales en el interior de la cámara. La colecta del N₂O (**Fig. 1**) se hizo en tubos “vacutainer” de vidrio de 5 mL de capacidad previamente practicado el vacío con agujas de doble punta para “vacutainer” (Pérez-Batallón *et al.* 1998).

La temperatura del suelo se tomó con un termómetro aproximadamente a 10 cm de profundidad a la par de las muestras de N₂O durante el mismo período de estudio. La humedad del suelo (0 -12 cm) se determinó con la ayuda de un instrumento ΔT Delta-T devices, tipo ML2 ThetaProbe que mide el contenido de humedad volumétrica del suelo que responde a los cambios de la constante dieléctrica. Estos cambios se registran dentro del voltaje que proporciona virtualmente el contenido de humedad en el suelo en rangos establecidos de acuerdo con su textura (Pérez-Batallón *et al.* 1998).

Cuantificación de N₂O por cromatografía de gases

El N₂O fue determinado al inyectar 1 mL de la muestra en el cromatógrafo de gases Chromopack 437A con un detector de captura electrónica ⁶³Ni y una columna de acero inoxidable de 4.88 m de largo y 3.175 mm de diámetro bajo las siguientes condiciones: temperatura del inyector a 90 °C, temperatura del horno a 90 °C y temperatura del detector a 300 °C. La tasa de flujo de gas acarreador fue de 28 mL min⁻¹ (Grageda 1999).

Los cálculos y el análisis estadístico se efectuaron con el paquete estadístico SAS (SAS 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la **figura 2** se observa que hay efecto significativo de la dosis de N en los sistemas de fertilización convencional y fertirriego con respecto a la concentración de N₂O en todos los muestreos.

Los resultados del **cuadro I** indican que sólo existe un efecto significativo de la humedad en el sistema de fertilización convencional a las 2, 24 y 48 h y un efecto muy significativo (p = 0.001) en la temperatura a las 24 h después del riego. Mientras que en fertirriego hay un efecto significativo en la temperatura (p = 0.07) a las 2 h posteriores al riego.

Los resultados obtenidos para la emisión de N₂O manifiestan que el factor que más influyó entre los sistemas de fertirriego y fertilización convencional fue la humedad, de acuerdo con el análisis estadístico por contrastes ortogonales (**Cuadro II**), ya que existió una diferencia muy significativa a las 48 y 72

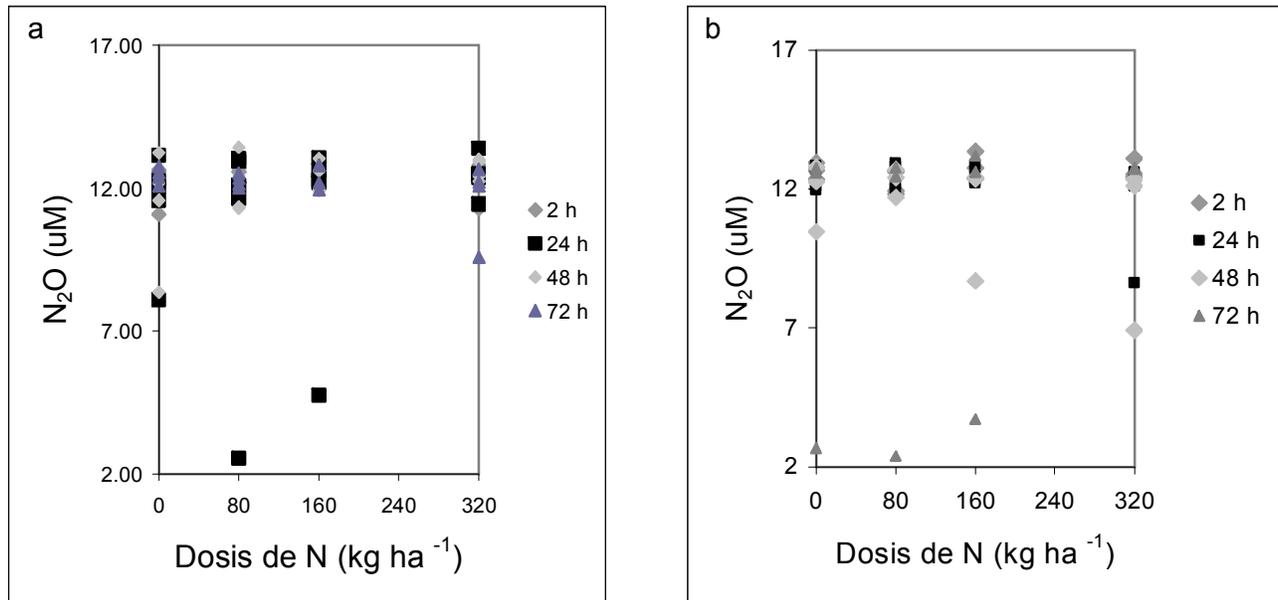


Fig. 2. Efecto de la dosis de N aplicado en la concentración de N_2O a las 2, 24, 48 y 72 h después del riego a. fertilización convencional y b. fertirriego

CUADRO I. EFECTO DE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA SOBRE LA EMISIÓN DE N_2O EN EL SISTEMA DE FERTILIZACIÓN CONVENCIONAL Y FERTIRRIEGO

Horas después del riego	Emisión de N/NxO		Significancia estadística (Pr > F)		Temperatura	
	Riego convencional	Riego por goteo	Riego convencional	Riego por goteo	Riego convencional	Riego por goteo
2	NS	NS	0.003	NS	NS	0.07
24	NS	NS	0.003	NS	0.001	NS
48	NS	NS	0.07	NS	NS	NS
72	NS	NS	NS	NS	NS	NS

NS = no significativo

CUADRO II. ANÁLISIS ESTADÍSTICO POR CONTRASTES ORTOGONALES ENTRE SISTEMAS DE ACUERDO CON LA VARIABLE DE HUMEDAD

Horas después del riego	Media		Significancia estadística (Pr > F)
	Riego convencional	Riego por goteo	
2	42.86	42.07	0.0005
24	45.30	38.72	0.02
48	39.93	29.96	0.0001
72	38.72	26.08	0.0001

h y un efecto significativo a las 2 y 24 h después del riego, teniendo respuesta en las concentraciones de N_2O obtenidas (**Fig. 3**). Esto puede ser porque la lámina de riego en la fertilización convencional es pesada, propiciando que la humedad sea constante a lo largo del muestreo generando condiciones de anaerobiosis que favorecen la desnitrificación y por lo tanto una mayor emisión de N_2O (**Fig. 3**). Por otro lado, en fertirriego la emisión de este gas fue menor (**Fig. 3**) conforme disminuyó la humedad (**Fig. 4**). A capacidad de campo se reduce el transporte de oxígeno en las zonas de alta actividad microbiana y al ser limitante la humedad, la disponibilidad de oxígeno es mayor y por tanto no hay condiciones de anaerobiosis para que ocurra la pérdida de N_2O en

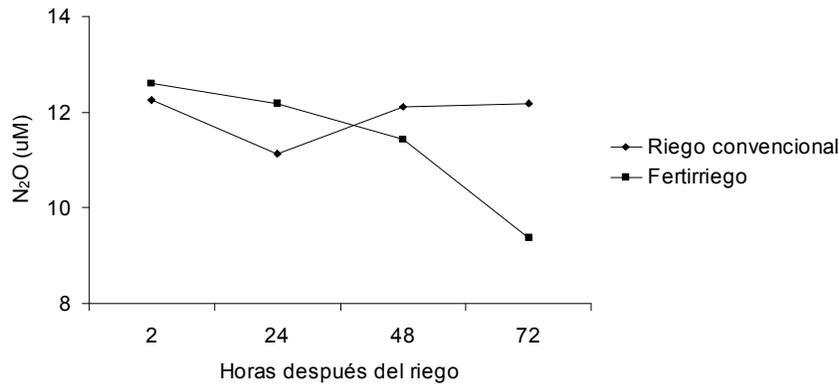


Fig. 3. Emisión de N₂O en la fertilización convencional y fertirriego

el fertirriego (Ambus 1998, Aulakh *et al.* 1998, Brumme 1995).

Por otra parte, las condiciones de humedecimiento/secado continuo en que se desarrolló este experimento en fertirriego, posiblemente provocaron que la relación N₂/N₂O fuera baja como señala Fillery (1993). Lo que implica que la tasa de desnitrificación y la cantidad de N₂O emitido sea variable y en gran medida dependiente de las condiciones del suelo. No obstante, también debe considerarse que la baja emisión de N₂O por desnitrificación pudo ser consecuencia de las reacciones metabólicas del N por nitrificación y la reducción de NO₃⁻ a NH₄⁺, ya que estas originan gases nitrogenados como N₂O, NO ó ambos, posiblemente por la vía de reducción de NO₂⁻ (Bryan 1981).

Para la fertilización convencional la humedad no fue factor determinante en la pérdida de N₂O (Cuadro III). Al parecer los factores que en combinación in-

tervinieron en la baja producción de este gas fueron la temperatura y el pH. Ambus (1998), señala que la temperatura óptima para que ocurra la desnitrificación por procesos microbiológicos es de 25 °C, mientras que para Teira-Esmatges *et al.* (1998), la temperatura óptima está por arriba de los 30 °C. Al comparar estos resultados con lo registrado en el experimento se observó que las temperaturas a lo largo del desarrollo del cultivo estuvieron por debajo de las reportadas (Cuadro IV), por lo que se asume que este factor influyó en la disminución de la producción de N₂O.

Con respecto al pH del suelo, se trabajó en un rango de 8.0 a 8.4. Teira-Esmatges *et al.* (1998) reportan que el pH óptimo para el proceso es de 7.0 a 8.0, por su efecto en los microorganismos del suelo, ya que este factor tiene una relación sobre las enzimas que reducen el NO₃⁻ a N₂. Ambus (1998) indica que por arriba de 7.0, el principal producto del NO₃⁻

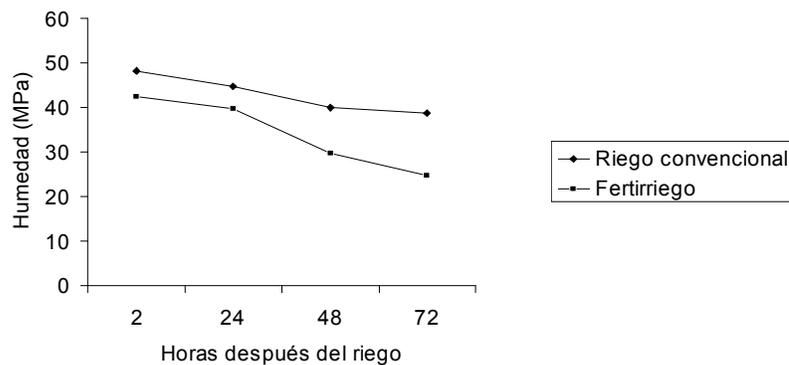


Fig. 4. Humedad en la fertilización convencional y fertirriego

CUADRO III. VALORES PROMEDIO DE ÓXIDO NITROSO POR EFECTO DE LA HUMEDAD Y TEMPERATURA EN EL SISTEMA CONVENCIONAL Y FERTIRRIEGO

Horas después del riego	Emisión de N/NxO μ M		Media Humedad MPa		Temperatura $^{\circ}$ C	
	Riego convencional	Riego por goteo	Riego convencional	Riego por goteo	Riego convencional	Riego por goteo
2	12.26	12.61	48.27	48.85	22.94	22.01
24	11.13	12.18	44.66	39.75	19.50	20.75
48	12.12	11.43	39.93	29.80	20.01	21.29
72	12.19	9.37	38.71	24.63	20.55	21.60

CUADRO IV. TEMPERATURA PROMEDIO DEL SUELO DURANTE EL EXPERIMENTO 2001-2002

Horas después del riego Sistema	Temperatura $^{\circ}$ C			
	2 h	24 h	48 h	72 h
Riego convencional	22.28	21.06	19.90	21.04
Riego por goteo	21.65	20.52	22.00	23.17

desnitrificado es el N₂ debido a que las enzimas involucradas no sufren alteración. No obstante, la actividad desnitrificante no depende de la cantidad de enzimas pero sí de la disponibilidad de sustratos y de factores ambientales.

Las tasas de desnitrificación y la cantidad de N₂O emitido suelen ser variables y en gran medida dependen de las características del suelo y las condiciones climatológicas, ya que éstas también influyen en la fracción molar de N₂/N₂O (Tiedje *et al.* 1982).

A pesar de que estadísticamente no hay diferencia significativa, la emisión de N₂O en fertirriego es 0.69 y 2.82 μ M menor que en la fertilización convencional a las 48 y 72 h. Sin embargo, debe considerarse que estas cantidades de N₂O representan 5.07 kg y 4.15 kg de N₂O emitido por fertirriego, mientras que en el sistema de fertilización convencional la concentración de este gas es casi el doble (8.40 kg) a las 48 y 72 h, respectivamente. Lo que significa que el sistema de fertirriego minimiza la emisión de N₂O a la atmósfera evitando un mayor impacto ambiental. Esto es mayor a lo reportado por Bouwman (1990) quien ha demostrado que, a pocas semanas de la aplicación de fertilizantes a base de NO₃⁻, al agregar 100 kg de N aplicado en tierras cultivables, 1.25 kg de N se emiten a la atmósfera como N₂O.

La baja cantidad de N₂O capturado durante el experimento en los sistemas de fertilización conven-

cional y el fertirriego no permitió concluir en forma contundente acerca del efecto que tuvieron las dosis de N aplicadas en ambos sistemas ya que los resultados obtenidos no fueron consistentes durante los muestreos. Por lo que la hipótesis de que la desnitrificación sería menor en la fertilización nitrogenada vía fertirriego que en la fertilización convencional no pudo demostrarse para los primeros intervalos de tiempo pero se aprecia esa tendencia a las 72 h.

Goldbach (2002, comunicación personal) señala que la textura del suelo juega también un papel importante en la emisión de N₂O sobre todo en suelos arcillosos. En el presente trabajo el suelo donde se desarrolló el experimento es de textura arcillosa y con pH alcalino, provocando que los sitios de intercambio se incrementen (Rechcigl 1995). Sin embargo, al no estar los espacios porosos ocupados por agua, permitieron que el aire circulara en mayor proporción dentro del perfil del suelo generando condiciones limitantes para la desnitrificación y por lo tanto que la emisión de N₂O por la difusión del oxígeno ocurra por nitrificación.

Goldbach (2002) menciona que en ensayos realizados en el Instituto de Nutrición Vegetal en la Universidad de Bonn han encontrado que después de 14 días de ser capturado el N₂O del suelo existen pérdidas de este gas en los tubos "vacutainer". Además señala que es importante el material plástico con que se captura, es decir el empaque que cubre el tubo capturador.

CONCLUSIONES

El factor que influyó en la emisión de N₂O entre los sistemas de fertirriego y fertilización convencional fue la humedad.

Para la fertilización convencional los factores que repercutieron en la emisión de N₂O fueron el pH y la temperatura.

El sistema de riego y la dosis de N, bajo las condiciones en que se desarrolló este experimento, no influyen en la pérdida de N₂O por desnitrificación.

La emisión de N₂O vía fertirriego es menor que la pérdida de este gas por fertilización convencional.

REFERENCIAS

- Ambus D. (1998). Nitrous oxide production by denitrification and nitrification in temperate forest, grassland and agricultural soils. *Eur. J. Soil Sci.* 49, 195-502.
- Aulakh M.S., Doran J.W. y Mosier A.R. (1998). Soil denitrification significance, measurement and effects of management. *Adv. Soil Sci.* 18, 2-42.
- Bergstrom D.W., Tenuta M. y Beauchamp E.G. (2001). Nitrous oxide production and flux from soil under sod-? following application of different nitrogen fertilizers. *Commun. Soil. Sci. Plant. Anal.* 32, 553-570.
- Bouwman A.F. (1990). Exchange of greenhouse gases between terrestrial ecosystem and the atmosphere. *Soils and the greenhouse effect.* Wiley, Chichester, Nueva York.
- Brumme R. (1995). Mechanism for carbon and nutrient release and retention in beech forest gaps. III. Environmental regulation of soil respiration and nitrous oxide emissions along a microclimatic gradient. *Plant Soil* 168-169, 593-600.
- Bryan E.A. (1981). Physiology and biochemistry of denitrification. En: *Denitrification, nitrification and atmospheric nitrous oxide* (C. C. Delwiche, Ed). Wiley, Nueva York. pp. 67-84.
- Conrad R., Sèller W. y Bunse G. (1983). Factors influencing the loss of nitrogen fertilizers into the atmosphere as N₂O. *J. Geophys. Res.* 88, 6709-6718.
- Crutzen P.J. (1981). Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen, including nitrous oxide. En: *Denitrification, nitrification and atmospheric nitrous oxide*, (C. C. Delwiche, Ed.). Wiley, Nueva York, pp. 17.
- Eichner M.J. (1990). Nitrous oxide emission from fertilizer soils: summary of available data. *J. Environ. Qual.* 19, 272-280.
- Grageda C.O.A. (1999). La fertilización nitrogenada en el bajío guanajuatense como fuente potencial de contaminantes ambientales. Tesis de Doctorado. CINVESTAV, Irapuato, Guanajuato, México.
- Hutchinson G.L. y Livingston G.P. (1993). Use of chamber systems to measure trace gas fluxes. En: *Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change*, (D. E. Roslton, L. A. Halper, A. R. Mosier, J. M. Duxbury, Eds.). American Society of Agronomy, Madison, WI, ASA Spec. Pub. 55, 63-78.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (1990). *Climate change. The IPCC scientific assessment.* (J. T. Houghton, Ed.). Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Ludevid A.M. (1997). *El cambio global en el medio ambiente.* Alfaomega-Marcombo, Barcelona, España.
- Mosier A.R. (1994). Nitrous oxide emissions from agricultural soils. *Fert. Res.* 37, 191-200.
- Pérez-Batallón P., Ouro G., Merino T. y Macías A.T. (1998). Flujos de CH₄ y N₂O en el suelo forestal del norte de España, bajo diferentes manejos de restos de corta. *Edafología* 5, 47-57.
- Rechcigl E.J. (1995). Soil amendments and environmental quality. En: *Agricultural and Environmental Series* (E.J. Rechcigl, Ed.). Lewis Publishers. EUA, pp. 1-64.
- Rochette P., van Bochove E., Prévost D., Angers D.A., Coté D. y Bertrand N. (2000). Soil carbon and nitrogen dynamics following application of pig slurry for the 19th consecutive year: nitrous oxide fluxes and mineral nitrogen. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64, 1396-1403.
- Ryden J.C. (1981). N₂O exchange between a grassland soil and the atmosphere. *Nature* 292, 235-237.
- Teira-Esmatges M.R., van Cleemput O. y Portacasanellas J. (1998). Fluxes of nitrous oxide and molecular nitrogen from irrigated soil of Catalonia. *J. Environ. Qual.* 27, 687-697.
- Tiedje J.M., Sextone A.J., Myrold D.D. y Robinson J.A. (1982). Denitrification: ecological niches, competition and survival. *Antonie van Leeuwenhoek* 48, 569-583.
- SAS Institute (1998). SAS/STAT user's guide. Release 6.12 SAS Inst. Cary, NC. EUA.
- Vivanco E.R.F. (2000). Flujos de nitrógeno en suelos cultivados con forrajes y regados con aguas residuales. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Villareal R.M. (1997). Nutrición nitrogenada, fosfórica y potásica, en riego por goteo, y su efecto en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill.). Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.