EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO EN PASTOREO ROTACIONAL

D. BÁEZ, A. LOURO, A. ROCA, J. CASTRO, M.I. GARCÍA

Centro de Investigacións Agrarias de Mabegondo (CIAM) INGACAL. Xunta de Galicia, Apartado 10, 15080 La Coruña. dolores.baez.bernal@xunta.es

RESUMEN

Galicia por sus condiciones climáticas posee una gran capacidad para producir pastos que pueden ser aprovechados directamente por el ganado en pastoreo o conservados en forma de silo, reduciendo costes de producción y entradas de nutrientes en exceso propios de sistemas intensivos. En sistemas de pastoreo la carga ganadera constituye un factor clave en la gestión de las praderas. Un incremento favorece el aprovechamiento y calidad del pasto pero también puede incrementar la emisión de gases de efecto invernadero como el óxido nitroso (N_2O). El objetivo del trabajo es cuantificar las emisiones de N_2O producidas en un sistema de vacuno de leche en pastoreo rotacional y evaluar el efecto que la presión de pastoreo tiene en la emisión. Para ello, entre los meses de abril y noviembre del 2007 se llevaron a cabo determinaciones de N_2O, utilizando cámaras cerradas, en praderas de raigrás italiano y trébol blanco con diferente presión de pastoreo. Se observó que la presión de pastoreo en las parcelas condicionó la emisión de N_2O produciéndose un aumento del 9,6% en las emisiones de N_2O cuando la intensidad de pastoreo se incrementó un 12%. La primavera y el otoño fueron los periodos que contribuyeron en mayor proporción a la emisión total de N_2O.

Palabras clave: praderas, vacuno de leche, carga ganadera, N_2O.

INTRODUCCIÓN

El manejo de sistemas sostenibles de producción de leche debe basarse en un aprovechamiento de los recursos de la explotación y de esta forma disminuir el consumo de concentrados y fertilizantes propios de sistemas intensivos. Galicia por sus condiciones climáticas posee una gran capacidad para producir pastos ya que representan el 12% de la superficie total y el 44% de su superficie agraria útil, con un 37% de esta superficie dedicada a praderas. Con pastoreo se pueden conseguir altas producciones de leche con mínimos consumos de concentrados en momentos críticos de lactación (González *et al.*, 2007). Según trabajos anteriores desarrollados en el CIAM, es recomendable incrementar la carga ganadera para conseguir una mejor utilización del pasto y mejorar la calidad de la biomasa producida (Roca *et al.*, 2008).

Por otra parte el incremento de carga ganadera puede provocar un incremento en la emisión de N_2O. El N_2O es uno de los llamados gases invernadero, con un potencial

de calentamiento aproximadamente 300 veces superior al del dióxido de carbono y que contribuye a la disminución de la capa de ozono. El uso de fertilizantes nitrogenados y excretas animales son las principales causas antropogénicas responsables de su incremento en la atmósfera (IPCC, 2001).

Hasta la fecha en la España Húmeda se han desarrollado trabajos que han estudiado el efecto del tipo de abono, el laboreo, la utilización de inhibidores de la nitrificación, aditivos, etc (Merino *et al*., 2002; Del Prado *et al*., 2006), en la emisión de N_2O, no obstante, se detecta una falta de información en lo que respecta a la influencia del pastoreo.

El objetivo del trabajo es en primer lugar cuantificar las emisiones de N_2O producidas en un sistema de vacuno de leche en pastoreo y, en segundo lugar, evaluar el efecto que la presión de pastoreo puede tener en las emisiones del gas. En el trabajo se establecen relaciones entre las tasas de emisión y las condiciones edafo-climáticas: humedad del suelo, N mineral y temperatura.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la finca experimental del Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo situada en la localidad de Abegondo (A Coruña), zona costera atlántica de Galicia) a una altitud de 100 m sobre el nivel del mar con suelo de textura franco-limosa (capa de 0-30 cm: 27% arena, 56% limo, 17% arcilla,) y un clima templado-húmedo caracterizado por una temperatura media de13,4ºC y precipitación de 1086 mm (media de 10 años anteriores 1996-2006). Las principales características del suelo, clasificado como Cambisol Húmico son (capa 0-30 cm): pH 5,6, materia orgánica 53,0 g/kg, N 2,5 g/kg, P (Olsen) 18,2 g/kg, K (nitrato amónico) 195,9 g/kg.

Las emisiones de N_2O fueron determinadas entre los meses de abril y noviembre del 2007 en praderas de raigrás italiano (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.) pastadas por rebaños diferentes en lactación (partos mitad de febrero) con dos cargas ganaderas: baja (B) y alta (A), de 4,3 y 5,8 vacas/ha respectivamente entre los meses de marzo a agosto. En el resto de meses otros grupos de vacas (novillas, vacas no productoras) aprovecharon el pasto disponible. El manejo agronómico de las parcelas se basó en aportes de fertilizantes minerales en primavera y otoño (Tabla 1), aproximadamente un mes antes de la entrada de los animales a la parcela. La superficie de pastoreo se adaptaba al número de animales en cada grupo para que los dos grupos pastaran cada bloque casi al mismo tiempo (pastoreo rotacional en bandas) según es descrito por Roca *et al.* (2008). Como indicador de la presión de pastoreo en las parcelas se utilizó el número de vacas-días/ha de pastoreo normalizados a 24 horas (JPP). Para cada entrada del ganado en las parcelas este valor viene dado por la expresión: JPPi= (Nº animales*Coeficiente UGM)*(Nº días de pastoreo*Nº de horas por día/24 horas) y la presión total viene determinada por la suma de todos los JPPi en el periodo considerado.

Tabla 1. Fertilizaciones de N, P y K (kg N/ha, kg P_2O_5/ha, kg K_2O/ha) efectuadas en las parcelas de estudio y valores totales anuales.

Carga	Rep	Fertilizaciones(kg/ha)					Total kg N/ha	Total kg P_2O_5 /ha	Total kg K_2O /ha
		15/02	14/03	23/03	24/09	05/10			
Baja	1		45-84-84[1]	39 [2]	46 [3]		130	84	84
	2	45-84-84[1]		39 [2]	46 [3]		130	84	84
	3	45-84-84[1]		39 [2]	46 [3]	39 [2]	130	84	84
Alta	1		45-84-84[1]	39 [2]	46 [3]		130	84	84
	2	45-84-84[1]		39 [2]	46 [3]		130	84	84
	3	45-84-84[1]		39 [2]	46 [3]	39 [2]	130	84	84

[1] 8-15-15 (N, P_2O_5, K_2O) [2] Nitrato amónico Cálcico 27% [3] Urea

Los muestreos se realizaron en seis parcelas de 0,5 ha (tres de baja y tres de alta carga) que se encontraban dentro de la superficie utilizada por cada rebaño (5,3 y 4,1 ha). El método utilizado fue el de la cámara cerrada descrito por Ryden y Rolston (1983). En cada muestreo cuatro cámaras de PVC por parcela se mantenían cerradas por un periodo de 45 a 90 min, tras el cual se recogía una muestra gaseosa de 10 ml que era almacenada en *vacutainers*. La concentración de N_2O fue determinada utilizando un cromatógrafo gaseoso provisto de detector ^{63}Ni ECD. La emisión de N_2O se expresó en µg N-N_2O/m^{2}h teniendo en cuenta el incremento de N_2O en cada cámara respecto al valor inicial en el momento de cierre. Las pérdidas de N_2O acumuladas para un determinado periodo se obtuvieron asumiendo un valor medio de emisión entre dos fechas de muestreo consecutivas.

Una vez recogidas las muestras de N_2O se tomaron muestras de suelo en la capa superficial de 10 cm dentro de cada cámara, se mezclaron y se procesó una única muestra por parcela. Los contenidos de nitratos y amonios fueron determinados en el extracto 1:2 (suelo: 1N KCl) por métodos colorimétricos utilizando un autoanalizador de flujo segmentado (MT7, Bran+Luebbe). El resto de la muestra de suelo se utilizó para determinar el porcentaje de humedad en base al peso seco del suelo introduciendo para ello la muestra en estufa a 105 ºC hasta peso constante. Utilizando este valor y la densidad aparente para la capa de 0-10 cm se expresó el valor de humedad en porcentaje de volumen de poros del suelo llenos de agua (% WFPS=((H_2O)ps x $d_{aparente}$)/ Porosidad*100, Porosidad= (1–$d_{aparente}$)/2,65, siendo 2,65 la densidad de partícula del suelo (mg/m^3), factor mejor correlacionado con las emisiones de N_2O que el contenido gravimétrico de humedad en suelo (Granli y Bockman, 1994). En cada muestreo se registró también la temperatura exterior de la cámara.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se representan las tasas de emisión obtenidas en las parcelas de baja y alta carga ganadera en los muestreos de gases efectuados desde el 20 de abril hasta el 20 noviembre de 2007. Los valores oscilaron en el rango 8-974 µg N_2O-N/ m^{2}h en parcelas de alta carga y entre 5-530 µg N_2O-N/m^{2}h en parcelas de baja carga. Las emisiones de N_2O fueron determinadas con cámaras cerradas que eran traslada-

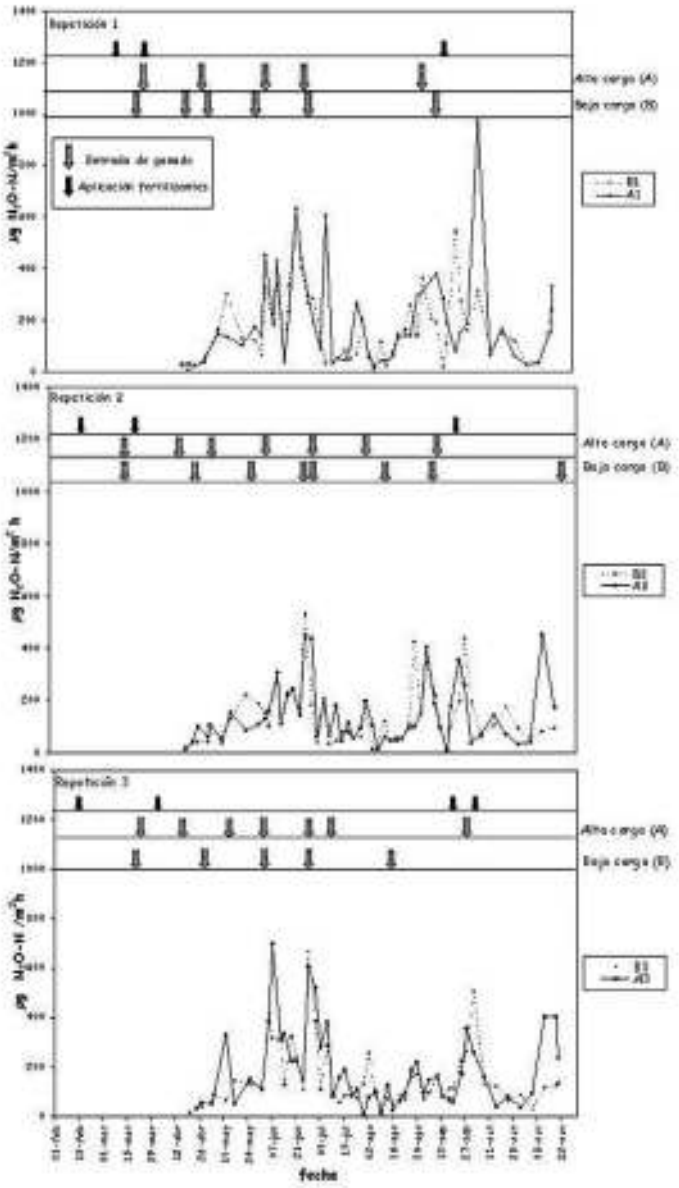

Figura 1. Evolución de las tasas de emisión de N_2O en parcelas de baja y alta carga en cada repetición. Las flechas indican aporte de fertilizante y entrada del ganado.

das de lugar entre muestreos consecutivos, consiguiendo de esta forma abarcar una zona mayor de muestreo e integrar la variabilidad espacial de la emisión de N_2O que resulta de la deposición irregular de orina y heces debidas al pastoreo de los animales. Los valores más bajos de N_2O se obtuvieron entre el 15 de julio y el 15 de septiembre, en los periodos anterior y posterior se registraron picos de emisión en general más frecuentes y de mayor dimensión. Se aprecia que estos picos son consecuencia directa de la entrada de ganado en las parcelas o del aporte de fertilizantes (finales de septiembre) siempre y cuando la humedad en suelo no fuese un factor limitante. Aunque la lluvia favorece la emisión de N_2O, en los primeros muestreos (abril, finales

de mayo) un exceso de humedad probablemente provocó condiciones anaeróbicas en el suelo y en consecuencia una disminución de la relación N_2O/N_2, ambos productos finales en el proceso de desnitrificación. En estos primeros muestreos, excepto en la tercera repetición, la fracción del volumen de poros del suelo ocupada por el agua (WFPS) fue superior al 70 %, valor que corresponde a capacidad de campo según el tipo de suelo (textura franco-limosa) que nos ocupa. En la Figura 2 se observa la distribución de las precipitaciones y la evolución del valor medio del WFPS durante el estudio. Los valores disminuyeron del 65 % para el periodo del 20 abril al 15 julio, al 39 % en el periodo del 16 julio al 15 de septiembre, y las primeras lluvias otoñales en el mes de noviembre provocaron de nuevo el incremento de valores.

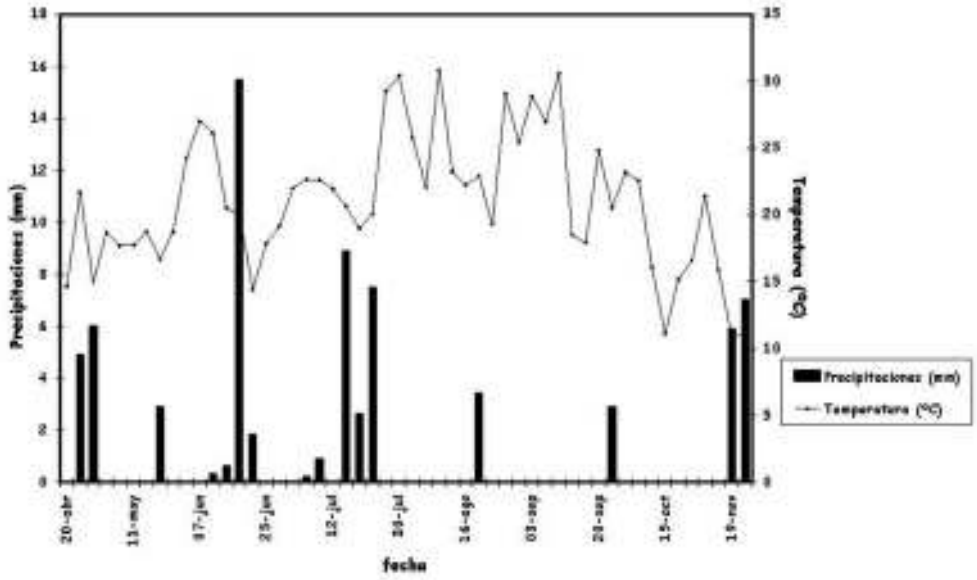

Figura 2. Evolución de las tasas de emisión de N_2O en parcelas de baja y alta carga en cada repetición. Las flechas indican aporte de fertilizante y entrada del ganado.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, en la Tabla 2 se presentan los valores acumulados de N_2O durante tres periodos: inicio de muestreos hasta el 15 de julio, del 16 de julio al 15 de septiembre y del 16 de septiembre al 20 de noviembre.

Tabla 2. Valores acumulados de N_2O (kg N/ha) en diferentes periodos.

		Periodo			
Carga	Repetición	20 abr-15 jul	16 jul-15 sep	16 sep-20 nov	Total
Baja	1	3,9 ± 0,2	1,9 ± 0,1	2,6 ± 0,3	8,3 ± 0,4
	2	3,1 ± 0,3	1,6 ± 0,1	2,3 ± 0,1	7,0 ± 0,3
	3	3,5 ± 0,2	1,5 ± 0,1	2,3 ± 0,2	7,3 ± 0,3
Alta	1	4,1 ± 0,3	2,1 ± 0,2	3,2 ± 0,3	9,4 ± 0,5
	2	3,1 ± 0,2	1,6 ± 0,1	2,3 ± 0,7	7,1 ± 0,9
	3	4,4 ± 0,6	1,4 ± 0,2	2,6 ± 0,2	8,4 ± 0,9

Se obtuvo un valor medio de 7,5 kg N/ha en parcelas de baja carga y de 8,3 kg N/ha en parcelas de alta carga. Para cada una de las repeticiones se observa que el intervalo de tiempo comprendido entre el 20 de abril y el 15 de julio contribuyó mayoritariamente al valor total de N_2O producido en el periodo muestreado. Los valores acumulados totales cuantificados son semejantes a los obtenidos por otros autores en la Cornisa Cantábrica con fertilizaciones minerales de 140 kg N/ha en pradera pastada durante un mes en el otoño y con varios cortes de silo (Merino *et al.*, 2001), pero muy inferiores a los obtenidos (18,4 kg N/ha) en sistemas más intensivos en fertilización orgánica y mineral (Del Prado, 2007).

Así mismo, se observa que un incremento medio en la intensidad de pastoreo en las parcelas del 12% (Tabla 3), de 538 a 610 vacas-día/ha, produce un incremento del 9,6% en la emisión de N_2O. Puesto que las fertilizaciones nitrogenadas en cada repetición fueron iguales las diferencias son debidas a la presión del pastoreo que recibieron las parcelas. Un incremento en la presión de pastoreo produce compactación del suelo (Thomas et al, 2008) y un mayor aporte de N procedente de las excretas de los animales. En relación a este punto, se observó un incremento de N mineral en suelo en parcelas de alta carga respecto a las de baja, especialmente en el periodo comprendido entre el 16 de septiembre y 20 de noviembre, con valores medios de amonio de 25 y 35 kg N/ha, y de nitrato de 18 y 25 kg N/ha, en parcelas de baja y alta carga respectivamente. Así mismo, hay que tener en cuenta que los depósitos de heces y orina son focos emisores de N_2O, ya que en estas zonas se concentran elevadas cantidades de N mineral y C y N orgánico soluble fácilmente mineralizable. En extensivo el área afectada por los parches de orina y heces es pequeña pero a medida que la intensificación aumenta también el área y en consecuencia aumentan las emisiones de N_2O.

Tabla 3. Presión de pastoreo (JPP, días con vacas normalizados a 24 h) en diferentes periodos en cada una de las repeticiones muestreadas.

Carga	Repetición	Inicio-15 jul	16 jul-20 nov	Total	Medio
Baja	1	358	66	423	
	2	471	80	551	538
	3	525	115	640	
Alta	1	408	69	477	
	2	522	169	691	610
	3	558	64	662	

CONCLUSIONES

Las emisiones de N_2O determinadas durante siete meses en praderas mixtas pastoreadas de forma rotacional con vacuno de leche y fertilizadas de forma racional, fueron inferiores a las obtenidas en sistemas de pastoreo más intensivos en fertilización. No obstante, se observó que la presión de pastoreo en las parcelas condicionó la emisión de N_2O, y la producción del gas aumentó en 9,6% cuando la intensidad de pastoreo se incrementó el 12%. La primavera y el otoño fueron los periodos que más contribuyeron a la emisión total y este hecho estuvo íntimamente relacionado con los contenidos de humedad en suelo, favorables para la producción de N_2O.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado por el proyecto INIA "SUM2006-00017-C03-03".

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEL PRADO, A., 2007. *Modelling approaches and measurements to study the effect of nutrient management on the sustainability of a dairy farm.* Tesis doctoral Universidad del País Vasco.

DEL PRADO, A.; MERINO, P.; ESTAVILLO, J.M.; PINTO, M.; GONZÁLEZ-MURUA, C., 2006. N_2O and NO emissions from different N sources and under a range of soil water contents. *Nutrient cycling in agroecosystems*, **74**, 229-243.

GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, A.; VAZQUEZ-YAÑEZ, O.P.; LÓPEZ-DÍAZ, J., 2007. Presión de pastoreo y concentrado en producción eficiente de leche en zonas húmedas. En: *Los sistemas forrajeros: Entre la producción y el paisaje*. Ed. M. PINTO, A. ALDEZABAL, A. AIZPURUA, I. ALBIZU, A. BARREDO, S. MENDARTE, R. RUIZ. NEIKER. Vitoria-Gasteiz.

GRANLI, T.; BOCKMAN, O.C., 1994. Nitrous oxide from agriculture. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*. Supplement Nº 12.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001. *Revised Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC/OECD/IEA. UK Meteorological office, Bracknell, UK.

MERINO, P.; ESTAVILLO, J.M.; GRACIOLLI, L.A.; PINTO, M.; LACUESTA, M.; MUÑOZ-RIEDA, A.; GONZÁLEZ-MURUA, C., 2002. Mitigation of N_2O emissions from grassland by nitrification inhibitor and Actilith F2 applied with fertilizer and cattle slurry. *Soil use and management*, **18**, 135-141.

MERINO, P.; ESTAVILLO, J.M.; PINTO, M.; RODRÍGUEZ, M.; DUÑABEITIA, M.K.; GONZÁLEZ-MURUA, C., 2001. Nitrous oxide emissions from grassland in an intensive dairy farm in the Basque Country of Spain. *Soil use and management*, **17**, 121-127.

ROCA-FERNÁNDEZ, A.I.; GONZÁLEZ-RODRIGUEZ, A.; VÁZQUEZ-YAÑEZ, O.P., 2008. Efecto de la carga ganadera y de la suplementación en pastoreo sobre la producción sostenible de leche. En: *Pastos, clave en la gestión de los territorios: integrando disciplinas.*, 469-475. Ed. FERNÁNDEZ REBOLLO *et al.* Junta de Andalucía. Córdoba.

RYDEN, J.C.; ROLSTON, D.E., 1983. The measurement of denitrification. En: *Gaseous loss of nitrogen from plant soil systems*. Ed. FRENEY, SIMPSON. Martinus Nijholf and W Junk Publisher. The Hague, Netherlands.

THOMAS, S.M.; BEARE, M.H.; FRANCIS, G.S.; BARLOW, H.E.; HEDDERLEY, D.I., 2008. Effects of tillage, simulated cattle grazing and soil moisture on N_2O emissions from a winter forage crop. *Plant and Soil*, **309**, 131-145.

SUMMARY

NITROUS OXIDE EMISSIONS IN ROTATIONAL GRAZING

In Galicia (NW Spain) grasslands are commonly used to provide ruminants fodder, either directly in the field during grazing season, or as hay and silage. In grazing systems stocking rate is known to be a key factor in order to increase herbage productivity and quality. Nevertheless,

when the stocking rate is increased N_2O emissions could be enhanced. The aim of this work was to determine N_2O rates in a rotational grazing system with dairy cows and to study the effect of stocking rate in N_2O production. Between April and November 2007 measurements of N_2O were made using closed chambers in ryegrass and white clover grassland with low and high stocking rates. N_2O production increased in a percentage of 9,6 % when stocking rate increased 12 %. Spring and autumn were the seasons which most contributed to total emissions.

Key words: grassland, dairy cattle, stocking rate, N_2O.