

EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO EN UN SUELO CULTIVADO CON MAÍZ TRAS EL APORTE DE DISTINTOS TIPOS DE FERTILIZANTES

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

Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM) INGACAL. Xunta de Galicia,

Apartado 10, 15080 La Coruña. E-mail: dolores.baez.bernal@xunta.es

RESUMEN

Los sistemas de producción intensivos con elevados aportes de fertilizantes nitrogenados pueden ser una fuente importante de gases de efecto invernadero como el óxido nitroso (N_2O). Con el objetivo de conocer el efecto que produce el tipo de fertilizante en la emisión de N_2O se estableció un ensayo entre los meses de mayo a octubre de 2008, periodo de crecimiento de un cultivo de maíz forrajero, donde se comparó un fertilizante mineral y dos fertilizantes orgánicos (purín de vacuno y purín de porcino). La aplicación de los fertilizantes incrementó la cantidad de N_2O emitida en el tratamiento control en un 19,33%. Cuando se aplicaron purines de cerdo y vacuno se obtuvieron factores de emisión iguales (1,82% purín de cerdo) o ligeramente superiores (2,15% purín de vacuno) a los obtenidos con una fertilización mineral convencional (1,80%). No obstante, las cantidades de N_2O acumuladas, determinadas para el periodo completo de crecimiento del cultivo, no fueron superiores a la cantidad emitida cuando se utilizó el fertilizante mineral.

Palabras clave: N_2O , *Zea mays L.*, purín de vacuno, purín de porcino, WFPS.

INTRODUCCIÓN

El nitrógeno es un componente esencial para cualquier cultivo, por ello el uso de fertilizantes orgánicos y minerales es una práctica extendida en la agricultura actual. Sin embargo, la utilización masiva de fertilizantes nitrogenados en los suelos agrícolas ha dado lugar a un aumento importante en las emisiones de óxidos de nitrógeno a la atmósfera. De todos ellos destaca el óxido nitroso (N_2O), un potente gas de efecto invernadero implicado en la destrucción del ozono estratosférico encargado de la protección de la Tierra frente a las radiaciones ultravioletas procedentes del sol. A pesar de que su concentración en la atmósfera es inferior a la del resto de gases de efecto invernadero la peligrosidad de este gas se encuentra en el hecho de que posee un potencial de calentamiento 296 veces superior al del CO_2 y del CH_4 así como un tiempo de residencia de entre 114 años. Por ello es sumamente importante entender como, cuando, por qué y en qué proporción se producen estas emisiones para intentar paliarlas. Durante el año 2007 la agricultura española contribuyó en un 75% a las emisiones de N_2O siendo los suelos agrícolas y la gestión de residuos de origen animal las principales actividades responsables de este elevado porcentaje (Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, 2009).

El N_2O se genera en el suelo a partir del NO_3^- presente de forma natural y del procedente de los fertilizantes nitrogenados por el proceso de desnitrificación que es activado en condiciones anaeróbicas; proceso que puede estimularse cuando se aplican fertilizantes nitrogenados ricos en materia orgánica. También el N_2O es un gas residual en el proceso de nitrificación del ión NH_4^+ ; en este caso, la adición en condiciones aeróbicas de fertilizantes con elevado contenido en NH_4^+ puede activar la reacción. Por tanto el tipo de abono empleado (mineral u orgánico) como fertilizante tiene gran influencia en las emisiones de N_2O producidas.

En Galicia el cultivo de maíz forrajero (*Zea mays L.*) se encuentra íntimamente ligado a los sistemas de producción de vacuno de leche y carne. Un 11% de la superficie cultivada se destina al crecimiento de este cultivo (Xunta de Galicia, 2005), por ello el presente trabajo tiene como objetivo determinar el efecto del tipo de fertilizante

en la emisión de N₂O a la atmósfera durante el periodo de crecimiento de un cultivo de maíz forrajero empleando para ello dos abonos orgánicos (purín de vacuno y de porcino) y uno mineral.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se inició en mayo de 2008 con la siembra de maíz forrajero en la finca experimental del Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo, situada en la localidad de Abegondo (A Coruña) a una altitud de 100 m sobre el nivel del mar y un clima templado-húmedo caracterizado por una temperatura media de 16,8 °C y precipitaciones de 1088 mm (media de los diez años anteriores al estudio, 1997-2007). Las principales características del suelo se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Características físico-químicas del suelo del ensayo

Capa (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	MO (%)	C _{total} (%)	N _{total} (%)	C/N	pH	Conductividad eléctrica (Ds/m)	Al (%)	Densidad aparente
0-15	9,33	24,85	54,75	Franco-limosa	7,49	3,27	0,25	10,2	5,38	0,38	7,0	1,28
15-30	8,75	24,78	54,90	Franco-limosa	7,02	2,99	0,21	10,6	5,85	0,09	7,5	1,28

El diseño experimental se realizó mediante bloques al azar con tres repeticiones de los siguientes tratamientos: purín de vacuno (V) y purín de porcino (P), ambos inyectados a 20-25 cm profundidad, fertilizante mineral (M) distribuido en dos aportes: abono complejo (15:15:15) en siembra y urea (46%) cuando el maíz tenía 4 ó 5 hojas, y un tratamiento control (C) sin aporte de N. La dosis total de N aplicada en el tratamiento M fue de 200 kg N/ha (125 kg N/ha en siembra y 75 kg N/ha en establecimiento). En los tratamientos con purines, la cantidad de N aportada así como las características de los mismos se muestran en la tabla 2. Los aportes de fósforo y potasio fueron semejantes en todas las parcelas (100 kg/ha P₂O₅ y 250 kg/ha K₂O). La aplicación de los abonos minerales y orgánicos se llevó a cabo el 22 de mayo, adicionalmente la urea fue aplicada el 22 de julio en el tratamiento de fertilizante mineral. La superficie destinada para cada tratamiento fue de 42 m² (4,2 m x 10 m) en los tratamientos M y C y de 88 m² (8,8 m x 10 m) en los tratamientos de purín. Una vez aplicados los abonos se procedió en el mismo día (22 de mayo) a la siembra del maíz (variedad DKC3745) manteniendo una separación entre líneas de 70 cm y una distancia entre plantas de 14 cm (densidad 90.000 plantas/ha).

Tabla 2. Características químicas de los purines empleados en el ensayo y cantidad de N aplicado en cada tratamiento.

Purín	Densidad (g/cm ³)	pH	MS(%)	MO(*)	N(*)	P(*)	K(*)	Ca(*)	Mg(*)	Total N aplicado (kg/ha)
Vacuno	1,01	8,19	7,3	814,0	42,00	8,60	44,10	23,10	6,10	203
Porcino	1,01	8,27	2,1	633,2	119,53	30,44	84,92	35,22	18,16	200

(*) Cantidades expresadas en g/kg peso seco.

Tras la siembra se iniciaron los muestreos de gases, cinco semanales utilizando el método de la cámara cerrada descrito por Ryden y Rolston (1983). En cada uno de ellos dos cámaras de PVC (25 cm diámetro x 36 cm de altura) por parcela se mantenían cerradas un período de 45 a 90 min, tras el cuál se procedía a la toma de muestra gaseosa de 10 ml que era recogida en *vacutainers*. La concentración de N₂O fue determinada mediante cromatogra-

fia gaseosa con detector ^{63}Ni ECD. Las tasas diarias de emisión se expresaron en $\mu\text{g N-N}_2\text{O}/\text{m}^2\text{h}$ teniendo en cuenta el incremento de N_2O en cada cámara con respecto al valor inicial en el momento de cierre. Las pérdidas de N_2O acumuladas para un determinado período se obtuvieron asumiendo un valor medio de emisión entre dos fechas consecutivas de muestreo. También se registraron en cada muestreo los valores de temperatura en el exterior de cada cámara. Una vez recogidas las muestras de N_2O se tomaron muestras de suelo de la capa superficial de 10 cm dentro de cada cámara, se mezclaron y se procesó una única muestra por parcela. Se determinaron los contenidos en N mineral (amonios y nitratos) en el extracto 1:2 (suelo:1N KCl) por métodos colorimétricos utilizando un auto-analizador de flujo segmentado (MT7, Bran+Luebbe). El resto de la muestra se empleó para la determinación del contenido gravimétrico de humedad introduciendo para ello la muestra en estufa a 105°C hasta peso constante. Utilizando este valor y la densidad aparente para la capa 0-10 cm se expresó el valor de humedad en porcentaje de volumen de poros del suelo llenos de agua (WFPS) según: $\text{WFPS} = ((\text{H}_2\text{O})_{\text{ps}} \times d_{\text{aparente}}) / \text{Porosidad} \times 100$, $\text{Porosidad} = (1 - d_{\text{aparente}}) / 2,65$, siendo 2,65 la densidad de partícula del suelo (mg/m^3).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 1 se representan las tasas diarias de emisión obtenidas en los muestreos de gases efectuados desde el 22 de mayo hasta el 16 de octubre del 2008. Los valores oscilaron en los rangos $22-1773 \mu\text{g N}_2\text{O-N}/\text{m}^2\text{h}$, $42-1943 \mu\text{g N}_2\text{O-N}/\text{m}^2\text{h}$, $53-1803 \mu\text{g N}_2\text{O-N}/\text{m}^2\text{h}$ y $53-2313 \mu\text{g N}_2\text{O-N}/\text{m}^2\text{h}$ para los tratamientos C, M, P y V, respectivamente. Entre el 18 de julio y el 14 de agosto se registraron las menores tasas de emisión, periodo en el que la ausencia de lluvias ocasionó una disminución de la humedad del suelo y valores de WFPS inferiores al 50% en todos los tratamientos. En los períodos anterior y posterior se registraron picos elevados y frecuentes directamente relacionados con episodios de lluvias y la aplicación de los fertilizantes. Se observó que los picos de mayor dimensión tuvieron lugar cuando el WFPS en el suelo se encontró en el rango 50-80%. No obstante, a pesar de que la lluvia favoreció claramente la emisión de N_2O , existen ciertos momentos (3 de septiembre al 12 de septiembre) en los que un exceso de humedad en el suelo ($\text{WFPS} > 80\%$) no es correspondido con una emisión elevada de N_2O , posiblemente porque en el suelo se generaron condiciones de anoxia tales para producir una mayor proporción de N_2 como producto final en el proceso de desnitrificación y en consecuencia una disminución en la relación $\text{N}_2\text{O}/\text{N}_2$ emitido.

La figura 2 muestra la evolución del N mineral en cada uno de los tratamientos estudiados. El contenido en NH_4^+ durante el estudio fue inferior al de NO_3^- en todos los tratamientos salvo en M cuyos valores máximos se registraron tras la aplicación de urea en cobertera (22 julio) pasando de valores medios de 14,92 a 95,39 kg N/ha. En el resto de tratamientos el contenido promedio en NH_4^+ fue de 2,03, 3,06 y 7,17 kg N/ha para C, V y P. La concentración en NO_3^- fue elevada a lo largo del estudio con valores medios de 31,71, 85,76, 69,95 y 59,24 kg N/ha para C, M, P y V respectivamente. Entre el 22 mayo y el 22 de julio se encuentran los valores de nitrato más elevados en los tratamientos C y M mientras que en los purines los valores máximos se encontraron en el período posterior del 23 julio al 16 octubre. Se observa que aproximadamente un mes antes de la finalización del estudio se produce una disminución del nitrato en todos los tratamientos coincidiendo con un momento en el que la humedad del suelo fue favorable para la emisión.

En la tabla 3 se muestran los valores acumulados de N_2O para cada tratamiento considerando el periodo monitorizado al completo y dos períodos por separado: del 22 mayo (siembra) hasta el 22 de julio (aplicación de urea en M) y del 23 de julio hasta el 16 octubre (cosecha del maíz). Los valores totales obtenidos fueron de 20,52 kg N/ha en el tratamiento con purín de vacuno, 19,80 kg N/ha en el purín de porcino, 19,75 kg N/ha en el tratamiento mineral y 16,15 kg N/ha en el tratamiento control. No se observaron diferencias estadísticas debidas al tipo

de fertilizante, tan sólo las hubo entre los tratamientos fertilizados y control. Teniendo en cuenta los valores de emisión acumulados obtenidos en los dos periodos considerados (tabla 3) se aprecia que la cantidad de N₂O emitida fue muy similar en todos los tratamientos. Al determinar la cantidad porcentual de N emitido en forma de N₂O respecto al N aplicado (Mosier *et al.*, 1996) se observó que en el primero de ellos el tratamiento M registró un porcentaje de emisión superior a los tratamientos de purín (1,45%), mientras que en el segundo apenas existieron diferencias entre tratamientos. Al considerar todo el estudio los porcentajes totales de N emitido fueron similares entre los tratamientos P y M, 1,82% y 1,80% respectivamente, siendo estos ligeramente inferiores al 2,15% obtenido con el tratamiento V. Por tanto, se observaron factores de emisión superiores al valor del 1% del N aplicado utilizado por el IPCC (IPCC, 2007) en el cálculo del N₂O emitido tras el aporte de fertilizantes. En otros trabajos experimentales que cuantificaron el N₂O emitido durante un cultivo de maíz obtuvieron también valores superiores al 1%. Se puede citar un trabajo realizado en Holanda (Van Groenigen *et al.*, 2004) con valores de 2,03% para el purín de vacuno (aporte de 245 kg N/ha) y de 1,42% (aporte de 150 kg N/ha) para el fertilizante mineral así como otro desarrollado en Canadá (Rochette *et al.*, 2004) con valores del 2,73% (200 kg N/ha) y 1,14% (150 kg N/ha) para el purín de porcino y fertilizante mineral, respectivamente.

Tabla 3. Valores acumulados medios de N₂O (kg N/ha) y desviación típica, % N emitido en forma de N₂O en los dos períodos considerados y durante todo el estudio (Total).

Tratamiento	Período		Total
	22 mayo-22 jul	23 jul-16 oct	
Control (C)	8,08 ± 0,48b	8,08 ± 1,76a	16,15 ± 1,43b
N- fertilizante aplicado (kgN/ha)	-	-	-
Fertilizante mineral (M)	9,89 ± 1,11a	9,86 ± 2,02a	19,75 ± 1,47a
N- fertilizante aplicado (kgN/ha)	125	75	200
% N-emitido	1,45%	0,89%	1,80%
Purín porcino (P)	9,76 ± 0,77a	10,04 ± 1,38a	19,80 ± 0,62a
N- fertilizante aplicado (kgN/ha)	200	-	200
% N-emitido	0,84%	0,98%	1,82%
Purín vacuno (V)	10,48 ± 1,08a	10,04 ± 2,13a	20,52 ± 1,30a
N- fertilizante aplicado (kgN/ha)	203	-	203
% N-emitido	1,19%	0,97%	2,15%

Tratamientos seguidos por la misma letra no se diferencian entre sí para una probabilidad $p \leq 0,05$.

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el trabajo se deduce que cuando se utilizan purines de cerdo y vacuno como fertilizantes en un cultivo de maíz se pueden obtener factores de emisión iguales o ligeramente superiores a los obtenidos con una fertilización mineral convencional. Sin embargo, las cantidades de N₂O emitidas durante el pe-

riodo completo de crecimiento del cultivo no difieren de forma significativa de la cantidad emitida con fertilizante mineral.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado por los proyectos INIA “SUM2006-00017-C03-03” y “07MRU040503PR” de la Consellería de Medio Rural (Xunta de Galicia).

BIBLIOGRAFÍA

IPCC, 2007. “*Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*”. B. Metz, O. Davidson, P. Bosch, R. Dave, L. Meyer (eds). Cambridge University Press, NY (USA).

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, MEDIO RURAL Y MARINO., 2009. “*Inventarios nacionales de emisiones a la atmósfera 1990-2007. Documento resumen*.” Secretaría de Estado de Cambio Climático Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental.

MOSIER, A.R.; DUXBURY J.M.; FRENEY J.R.; HEINEMEYER O.; MINAMI K., 1996. Nitrous oxide emissions from agricultural fields: Assessment, measurement and mitigation. *Plant and Soil* (**181**), 95-108.

ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A.; CHANTIGNY, M.H.; BERTRAND, N.; COTÉ D., 2004. “Carbon dioxide and nitrous oxide emissions following fall and spring applications of pig slurry to an agricultural soil”. *Soil Society of America* (**68**), 1410-1420.

RYDEN, J.C.; ROLSTON, D.E., 1983. The measurement of denitrification. En: *Gaseous loss of nitrogen from plant soil systems*. Martinus Nijhoff and W Junk Publisher. Freney and Simpson (eds) The Hague, Netherlands.

VAN GROENINGER, J.W.; KASPER, G.J.; VELTHOF, G.L.; VAN DEN POL-VAN DASSELAAR, A.; KUIKMAN, P.J., 2004. Nitrous oxide emissions from silage maize fields under different mineral nitrogen fertilizer and slurry applications. *Plant and Soil* (**263**), 101-111.

XUNTA DE GALICIA, 2005. “*Anuario de Estadística Agraria 2005*”. Consellería do Medio Rural. Dirección Xeral de Investigación, Tecnoloxía e Formación Agroforestal, 244 pp. Santiago de Compostela (España).

NITROUS OXIDE EMISSIONS FROM A CROPPED SOIL WITH MAIZE AFTER THE ADDITION OF DIFFERENT TYPES OF FERTILIZERS

SUMMARY

Intensive production systems with high inputs of nitrogen fertilizer can be an important source of greenhouse gases like nitrous oxide (N₂O). In order to know the effect of different fertilization on N₂O emission a field study was conducted between the months of May to October 2008, during growing period of maize forage crop. In the experiment a mineral fertilizer and two organic fertilizers (cattle slurry and pig slurry) were compared. The application of fertilizers increased the amount of N₂O emitted in the control treatment in a percentage of 19,33%. When pig and cattle slurries were applied equal emission factors were obtained (1,82% pig slurry) or slightly higher (2,15% cattle slurry) to those obtained with conventional mineral fertilization (1,80%). However, the total N₂O emissions determined for the full growing period of the crop did not exceed the amount emitted when mineral fertilizer was used.

Key words: N₂O, *Zea mays L.*, cattle slurry, pig slurry, WFPS.

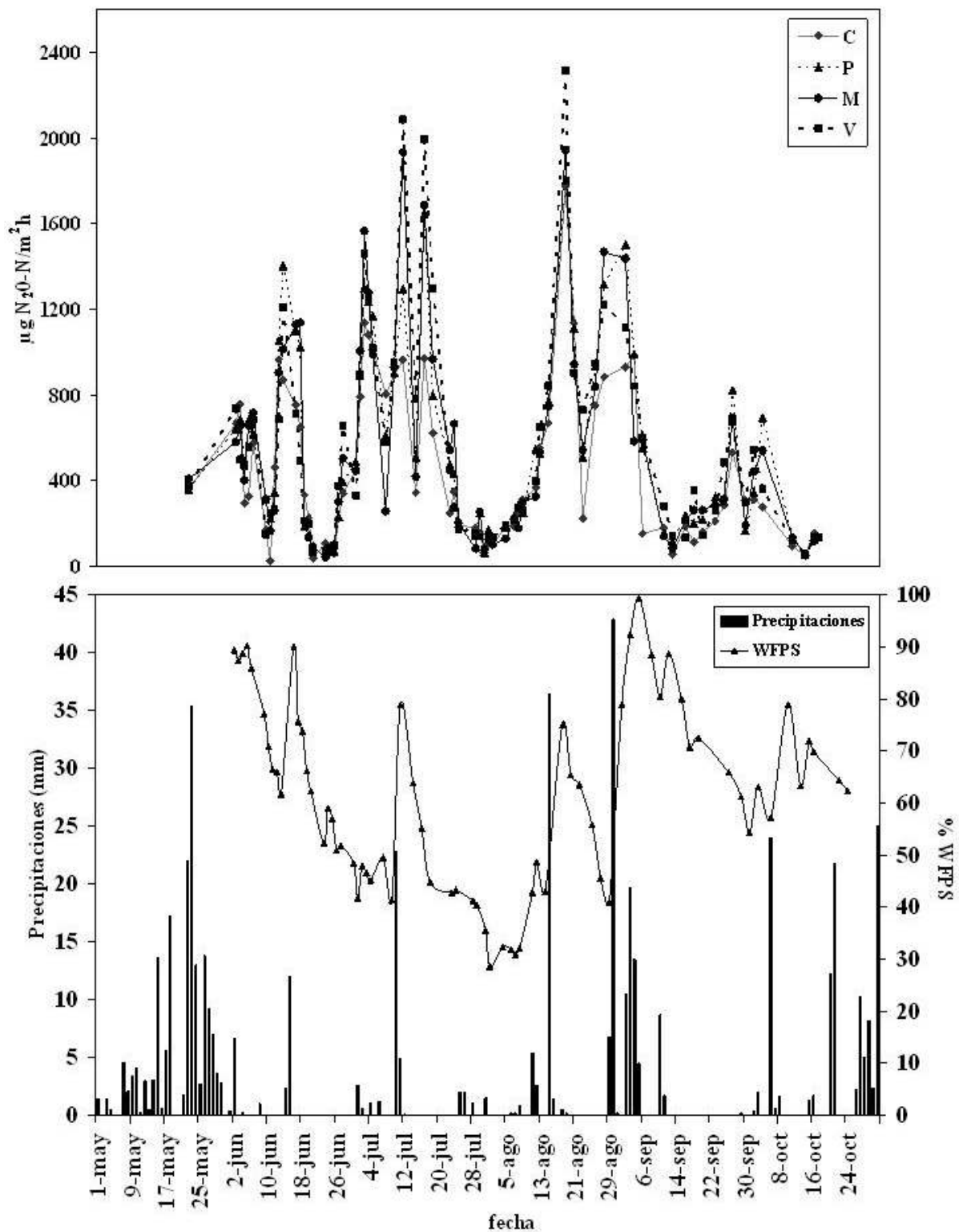


Figura 1. Evolución de las tasas diarias de emisión de N_2O en los cuatro tratamientos estudiados (C: control, P: Purín porcino, M: Fertilizante Mineral y V: Purín Vacuno), distribución de las precipitaciones y porcentaje de poros de suelo llenos de agua (WFPS) a lo largo de todo el estudio.

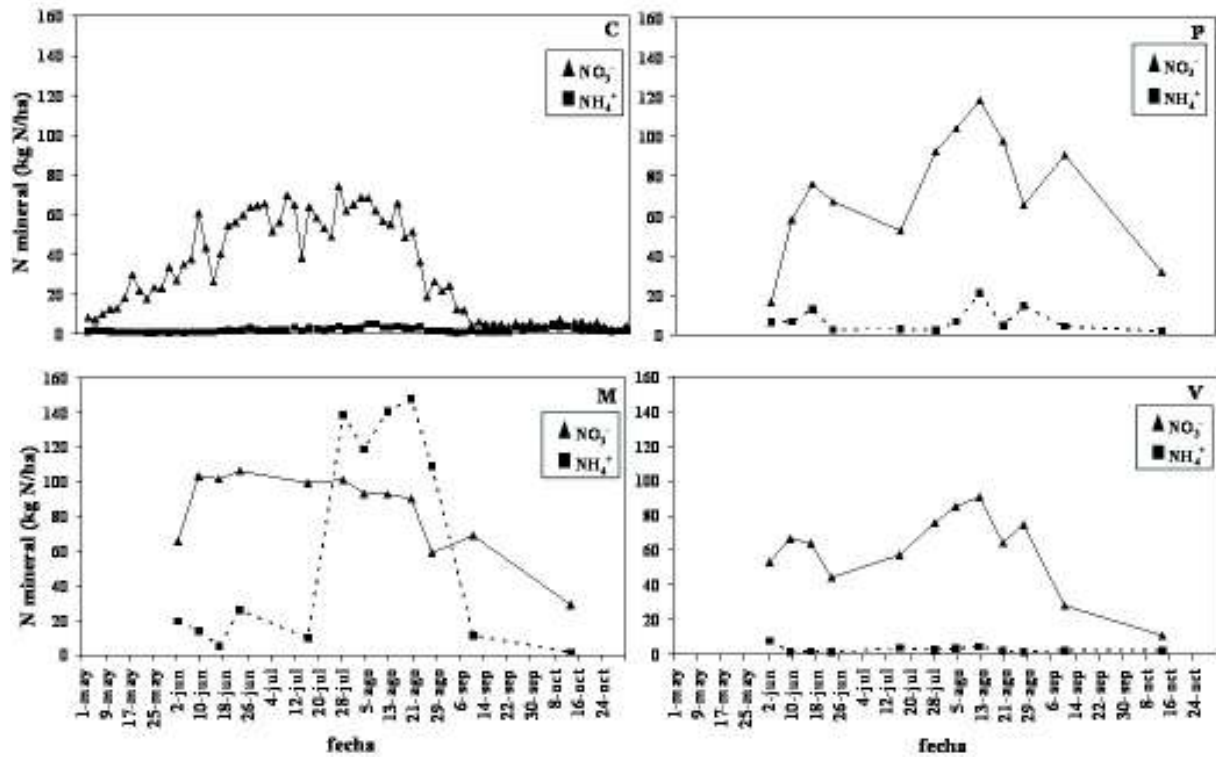


Figura 2. Evolución del contenido en N mineral (NH_4^+ , NO_3^-) en cada tratamiento (C: Control, P: Purín porcino, M: Fertilizante Mineral y V: Purín Vacuno) a lo largo de todo el estudio.