

INFLUENCIA DE LOS APORTES DE RESIDUOS ORGÁNICOS GANADEROS EN EL LAVADO DE NITRATOS EN UN CULTIVO DE MAÍZ EN REGADÍO

F. Domingo Olivé¹, J. Serra Gironella², M. Duran Ros² y N. Teixidor Albert³

¹ Pla pilot per la millora de la fertilització nitrogenada a l'agricultura del Baix Empordà. IRTA- Estació Experimental Agrícola Mas Badia, Mas Badia, 17134 La Tallada d'Empordà, Girona, Tel: 972 780275, Fax: 972 780517, francesc.domingo@irta.es

² IRTA- Estació Experimental Agrícola Mas Badia, Mas Badia, 17134 La Tallada d'Empordà, Girona, Tel: 972 780275, Fax: 972 780517, joan.serra@irta.es; miquel.duran@irta.es

³ Servei de Producció Agrícola, Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca, Generalitat de Catalunya, Mas Badia, 17134 La Tallada d'Empordà, Girona, Tel: 972 780275, Fax: 972 780517, narcis.teixidor@irta.es

RESUMEN. La aplicación de residuos orgánicos ganaderos al suelo contribuye a la fertilización nitrogenada de los cultivos y, al mismo tiempo, puede repercutir en un aumento del contenido en N nítrico del agua freática. Se ha estudiado la influencia en el lavado de N nítrico del aporte de estiércol de bovino (3 dosis: 0, 30 y 60 Mg ha⁻¹) y de N mineral (4 dosis: 0, 100, 200 y 300 Kg N ha⁻¹) aplicado en cobertera para un cultivo de maíz en regadío. El riego es mediante surcos. Se ha determinado la cantidad de agua drenada, mediante un balance hídrico, y el lavado de nitratos para diferentes periodos durante y posteriormente al cultivo de maíz. El contenido de humedad del suelo se ha determinado mediante sonda TDR. Se han realizado extracciones periódicas de la solución del suelo, mediante sondas de succión instaladas a 60 y 120 cm de profundidad. En la solución se ha determinado el contenido en N nítrico. Para este primer año de estudio, los resultados indican que, en el cultivo de maíz en regadío, la eficiencia del agua aplicada es inferior al 60 %, habiéndose estimado un drenaje durante la época de cultivo, por debajo de la zona de raíces, superior a los 110 L m⁻². Durante el periodo invernal el drenaje ha sido superior a los 410 L m⁻², más del 80 % de la precipitación registrada. El lavado durante el periodo de riego es inferior a los 25 Kg N ha⁻¹. Por el contrario, el lavado invernal de nitratos es importante. Éste es mayor, a partir de 120 cm de profundidad, en aquellos tratamientos dónde se aporta N en cobertera que donde no se aporta éste (108.8 y 56.8 Kg N ha⁻¹ respectivamente). La aplicación de estiércol provoca un menor lavado de nitratos para una misma cantidad de N mineral aportado.

ABSTRACT. Land application of animal manure contributes to N fertilization of crops and, at the same time, can increase nitrate content on groundwater. We studied the influence on N nitrate leaching from manure application (3 rates: 0, 30 and 60 Mg ha⁻¹) and from mineral N (4 rates: 0, 100, 200 and 300 Kg N ha⁻¹) applied at dressing for a furrow irrigated maize crop. We determined the amount of water drained by water balance, and nitrate leaching for different periods during and after maize crop. Soil water content was measured by TDR probe. We periodically extracted soil solution by suction cups installed at 60 and 120 cm depth. Nitrate content was

measured on soil solution samples. First year results show that, for an irrigated maize crop, applied water efficiency has been lower than 60 %, being drainage below root zone, during crop period, higher than 110 L m⁻². During winter, water drained has been higher than 410 L m⁻², more than 80 % of winter rainfall. N nitrate leaching during the crop period has been lower than 25 Kg N ha⁻¹. Winter nitrate leaching is higher. Below 120 cm deep, nitrate leaching was larger when N was applied at dressing compared with no dressing applications (108.8 and 56.8 Kg N ha⁻¹ respectively). Manure application has induced lower nitrate leaching for a particular N rate at dressing.

1. Introducción

La aplicación de subproductos ganaderos en cultivos extensivos es habitual en las comarcas catalanas con tradición ganadera, aunque no es común considerar los aportes de nutrientes que realizan. Es decir, y muy particularmente en lo concerniente al abonado nitrogenado, era una práctica habitual aportar N en forma mineral en la misma cantidad, hubiera habido o no aportes orgánicos.

La legislación surgida en los últimos años referente al uso de fertilizantes nitrogenados en los cultivos agrícolas limita las aplicaciones que se pueden hacer de estos y, en especial, de los fertilizantes orgánicos, por el riesgo de lavado de nitratos hacia las aguas subterráneas (Directiva del Consejo 91/676/CE). En concreto, en la zona vulnerable 1 de Cataluña (comarcas de Girona) (Decreto 283/1998 de 21 de octubre. DOGC nº 2760), el programa de actuación limita la cantidad total de N a aplicar a 350 kg N ha⁻¹ en el cultivo de maíz en regadío (Decreto 205/2000 de 13 de junio. DOGC nº 3168). En este contexto, el uso de estos subproductos requiere mejorar la eficiencia en el uso del N, para evitar emisiones al medio, especialmente a las aguas subterráneas. Con el objetivo de contribuir a mejorar el abonado nitrogenado en maíz y, a la vez, cuantificar en lo posible el lavado de nitratos en este cultivo en nuestras condiciones de manejo, es por lo que se ha establecido un ensayo a largo plazo con distintas aportaciones de N en forma orgánica y mineral. En este

trabajo se presentan los resultados obtenidos el primer año del ensayo.

2. Material y métodos

El año 2002 se inició un ensayo a largo plazo para el estudio del uso conjunto de subproductos orgánicos ganaderos y fertilizantes minerales en el cultivo de maíz en regadío. El ensayo se encuentra en el municipio de La Tallada d'Empordà, noreste de Cataluña, sobre un suelo de la serie Saions (DARP, 1993) clasificado, a nivel de familia, como Xerofluent oxiácuico, franca gruesa, mezclada, calcárea, térmica (Soil survey staff, 1998). Es un suelo de origen aluvial, muy profundo, de texturas gruesas, moderadamente bien drenado, sin elementos gruesos. La textura del horizonte superficial es franca. La de los horizontes subsuperficiales es media o moderadamente gruesa. Las principales características químicas del suelo en la parcela de ensayo se muestran en la Tabla 1. El contenido de materia orgánica del horizonte superficial es bajo. Por el contrario los contenidos en materia orgánica de los horizontes subsuperficiales son relativamente altos, corroborando el carácter fluvéntico del suelo.

Tabla 1. Características químicas y textura del suelo, a diferentes profundidades, donde se ha desarrollado el ensayo y se ha implantado el cultivo de maíz en regadío. La Tallada d'Empordà-Cataluña. Año 2002.

Profundidad (cm)	PH en agua	CE (dS m ⁻¹)	Materia orgánica oxid. (%)	CaCO ₃ (%)	Textura USDA (contenido en arcilla (%))
0-30	8,4	0,19	1,30	15	Franca (6,8)
30-60	8,5	0,20	1,01	17	Franca (9,4)
60-90	8,5	0,19	0,80	17	Franca (11,6)

El diseño del ensayo es en parcela subdividida con 4 repeticiones. El factor principal es la dosis de estiércol de bovino (3 tratamientos: 0, 30 y 60 Mg ha⁻¹). El otro factor es la dosis de N mineral (4 tratamientos: 0, 100, 200 y 300 Kg N ha⁻¹) aplicado, en el estadio V6 del cultivo, 6 hojas completamente desarrolladas. El tamaño de la parcela es de 60 m². El estiércol se aplicó manualmente, en las parcelas correspondientes, el 21-03-2002. El fertilizante nitrogenado se aplicó, también manualmente, a las dosis adecuadas según los diferentes tratamientos, en forma de nitrato amónico (33,5 % de N), en el estadio V6 del cultivo, el día 10-06-2002. El estiércol aplicado tiene una relación C/N de 17. Los nutrientes que aportan 10 Mg de estiércol son 51,3 Kg N-orgánico, 25,0 Kg N-amoniaco, 46,3 Kg P₂O₅ y 85,2 Kg K₂O, de acuerdo con los análisis realizados en una muestra del estiércol aplicado.

El cultivo, maíz (*Zea Mays* L., var: ELEONORA), se sembró el 19-04-2002. La dosis de siembra fue de 80000 semillas ha⁻¹. La emergencia del cultivo se produjo el 28-04-2002. El cultivo anterior había sido trigo blando, del cual se exportó el grano y la paja.

Una vez iniciado el cultivo se instalaron, entre el 8 y el 14-05-2002, tubos de acceso para la sonda TDR (TRIME-FM de IMKO) para realizar medidas de contenido de

humedad en el suelo hasta una profundidad de 150 cm. Se instaló un tubo por parcela en los tratamientos con 0 y 200 Kg N ha⁻¹ para dos dosis de estiércol aplicado (0 y 60 Mg ha⁻¹). Las medidas de humedad del suelo se realizaron de manera prácticamente semanal durante el periodo de cultivo/riego para pasar a medidas mensuales en el periodo invernal. Al mismo tiempo, se instalaron sondas de succión con cápsulas de porcelana porosa, a 70 y 110 cm de profundidad del suelo, en los mismos tratamientos mencionados (2 sondas por parcela y profundidad). La solución del suelo se extrajo con una periodicidad similar a la descrita para las medidas de humedad del suelo.

El riego se realizó por gravedad, mediante surcos, método habitualmente usado en la zona. Se realizaron 7 riegos de 698, 321, 353, 265, 424, 380 y 185 m³ ha⁻¹, los días 26-06, 10-07, 22-07, 29-07, 8-08, 21-08 y 28-08 respectivamente. El agua de riego provenía de pozo con un contenido en nitratos inferior a los 5 mg L⁻¹.

La biomasa en el momento de floración, 17-07-03, se estimó cosechando 2 m lineales en las líneas centrales de los tratamientos con 0 y 300 Kg N ha⁻¹ para 2 dosis de estiércol aplicado (0 y 60 Mg ha⁻¹).

Se ha calculado el agua drenada, para cada intervalo temporal de medida del agua del suelo, por debajo de 60 y de 120 cm. El agua freática se sitúa por debajo de los 2 m de profundidad según confirman las lecturas de un piezómetro de 2 m de profundidad que se mantuvo permanentemente sin agua a lo largo de todo el año. Se ha estimado, por tanto, que la ascensión capilar de agua por encima de 120 cm no se produce. Para los dos casos, 0-60 cm y 0-120 cm de profundidad, el drenaje se ha calculado cómo:

$$D = P + R - ETc - VR \quad (1)$$

Dónde:

D = Agua drenada por debajo de cierta profundidad de suelo durante un periodo determinado (L m⁻²)

P = Precipitación en el mismo periodo (L m⁻²)

R = Riego aplicado en el mismo periodo (L m⁻²)

ETc = Evapotranspiración del cultivo durante el mismo periodo (L m⁻²)

VR = Variación de la reserva del suelo hasta la profundidad seleccionada (L m⁻²).

La precipitación se ha medido en la estación agrometeorológica automatizada de La Tallada d'Empordà-Mas Badia (XAC-Xarxa Agrometeorològica de Catalunya, Generalitat de Catalunya) situada a menos de 1 Km de distancia del ensayo. Se midió el volumen de agua aplicada en cada riego para cada una de las repeticiones. La ETc del cultivo se calculó según Doorenbos y Pruitt (1988). La ETo se estimó, a partir de los datos facilitados por la estación mencionada, según el método de Penman-Monteith. Los coeficientes de cultivo aplicados son los que se utilizan en el modelo para programación de riegos, PACREG, del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de

Catalunya (DARP, 2001). La reserva de agua en el suelo se estimó con el equipo TDR antes mencionado.

El contenido de nitratos en la solución del suelo extraída a través de las sondas de succión instaladas se midió por colorimetría previa reducción del nitrato (Keeney y Nelson, 1982).

El lavado de nitrógeno nítrico producido en un intervalo de tiempo determinado se calculó cómo:

$$L = D * N / 100 \quad (2)$$

dónde:

L = N nítrico lavado por debajo de cierta profundidad de suelo (Kg N-NO₃⁻ ha⁻¹)

D = Agua drenada por debajo de cierta profundidad de suelo durante un periodo determinado (L m⁻²)

N = Concentración de nitratos en la solución extraída mediante sonda de succión a cierta profundidad (mg N-NO₃⁻ L⁻¹).

3. Resultados

La producción de biomasa (Tabla 2) en las parcelas muestreadas no ha sido diferente ($\alpha=0,05$), de forma estadísticamente significativa, entre los diferentes tratamientos. Consecuentemente, para el cálculo del drenaje, se ha considerado el mismo valor de ETC en todos los tratamientos.

Tabla 2. Producción de biomasa (Mg ha⁻¹ de materia seca), en el estadio de floración, por parte de un cultivo de maíz en regadío, para diferentes aportes de estiércol y fertilizante nitrogenado. La Tallada d'Empordà-Cataluña. Año 2002.

Estiércol aplicado (Mg ha ⁻¹)	N aportado en cobrera (Kg ha ⁻¹)	Biomasa producida (Mg ha ⁻¹)		
		Hojas	Tallo	Total
0	0	2,68	5,71	8,39
0	300	3,26	7,63	10,89
60	0	2,87	8,03	10,90
60	300	3,45	9,22	12,67
<i>Media</i>		3,07	7,65	10,71

El análisis de varianza muestra que no existen diferencias estadísticamente significativas ($\alpha=0.05$) entre el drenaje de los diferentes tratamientos, para cada fecha y profundidad estudiada. Por lo tanto, se ha calculado un drenaje acumulado medio para todas las parcelas, tanto para la profundidad de 60 cm como para la de 120 cm, que es el que se ha utilizado para el cálculo del lavado de nitratos. En la Figura 1 se muestra la evolución del mismo para ambas profundidades.

El drenaje durante la época de riego (1/2 junio-agosto) ha sido de 110,9 y 113,7 para una profundidad hasta 60 y 120 cm respectivamente. En el periodo de riego, se han aplicado 263 L m⁻² de agua, en un total de 7 riegos y las lluvias que se han producido en ese periodo han aportado un total de 126 L m⁻². La eficiencia del agua aportada en

este periodo ha sido del 57,8 % y del 56,7 % para una profundidad de 60 y 120 cm respectivamente.

La variación media de la reserva de agua en el suelo en el periodo de riego, entre 60 y 120 cm de profundidad, es de 2.8 L m⁻², que representa entre un 2 y un 2.5 % de la reserva media de agua del suelo en ese periodo y para el intervalo de profundidad mencionado.

En otoño e invierno, entre el final del cultivo y la finalización de las medidas de humedad del suelo (octubre-febrero), se han registrado 489.1 L m⁻² de precipitación (casi un 50 % superior a la precipitación media interanual). En el mismo periodo, el drenaje acumulado se ha estimado en 450.1 y 414.9 L m⁻², para 60 y 120 cm de profundidad del suelo. En este periodo, el agua drenada representa un 92 % y un 85 %, para 60 y 120 cm de profundidad del suelo respectivamente, de la precipitación registrada.

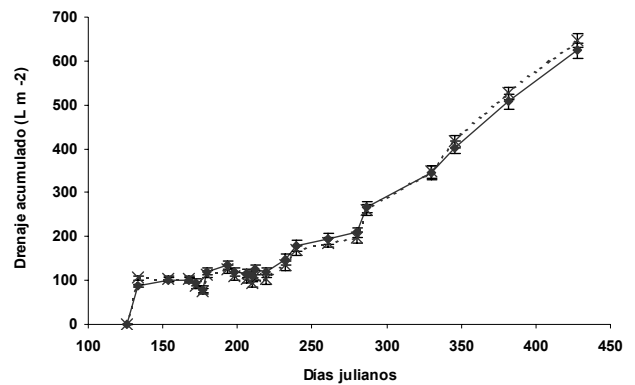


Fig. 1. Drenaje medio (L m⁻²) acumulado en el tiempo, por debajo de 60 cm (---x---) y 120 cm (—♦—) de profundidad del suelo para un cultivo de maíz en regadío. La Tallada d'Empordà-Cataluña. Año 2002.

En la Tabla 3 se puede observar el contenido en N nítrico de la solución del suelo a 120 cm de profundidad, extraída mediante sondas de succión.

Tabla 3. Contenido en N nítrico (mg N-NO₃⁻ L⁻¹) en la solución del suelo extraída mediante sonda de succión situada a 120 cm de profundidad, bajo un cultivo de maíz en regadío, para diferentes aportes de estiércol y fertilizante nitrogenado. La Tallada d'Empordà-Cataluña. Año 2002.

Estiércol aplicado (Mg ha ⁻¹)	N aportado en cobrera (Kg ha ⁻¹)	Contenido medio bimensual de la solución del suelo a 120 cm de profundidad (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)			
		Julio-Agosto	Septiembre- Octubre	Noviembre-Diciembre	Enero-Febrero
0	0	11,2	15,7	8,1	28,2
0	200	24,5	29,6	29,7	18,9
60	0	11,6	9,3	12,8	7,4
60	200	18,4	17,8	11,7	39,5
<i>Media</i>		16,4	18,1	15,6	23,5

La mayor concentración de N nítrico en la solución del suelo, entre julio y diciembre, se encuentra para el tratamiento sin aplicación de estiércol y con un aporte de 200 Kg N ha⁻¹. Posteriormente, en enero y febrero, la solución más rica en nitratos es la del tratamiento con

aporte de 60 Mg ha⁻¹ de estiércol y 200 Kg N ha⁻¹ aplicados en el estadio V6 del cultivo de maíz. Las concentraciones, cuando no se aporta N en cobertera, son similares para los tratamientos con y sin aporte de estiércol.

El lavado acumulado de N nítrico que se ha producido se muestra en la Figura 2, para 60 y 120 cm de profundidad. El lavado de N nítrico por debajo de 120 cm de profundidad del suelo, durante el periodo de crecimiento del cultivo de maíz, no supera los 25 Kg N ha⁻¹ para ninguno de los tratamientos estudiados. En este mismo periodo, para una profundidad de 60 cm, el drenaje se estima prácticamente nulo. El lavado es mayor, para una profundidad de 120 cm, en aquellos tratamientos dónde se aporta N en cobertera que donde no se aporta éste (20,2 y 11,5 Kg N ha⁻¹ respectivamente). También es así para el periodo sin cultivo, aunque con una mayor tasa de lavado (108,8 y 56,8 Kg N ha⁻¹ respectivamente). Durante este mismo periodo, el lavado de N nítrico, por debajo de 60 cm de profundidad de suelo, es similar al antes descrito (104,1 y 24,9 Kg N ha⁻¹ respectivamente).

El lavado de N nítrico, durante el periodo medido, en los tratamientos dónde se ha realizado aportación de estiércol (60 Mg ha⁻¹) es similar o menor al que se estima, durante el mismo periodo, en los tratamientos sin aporte de estiércol, independientemente del N inorgánico aplicado en el abonado de cobertera. Este hecho se muestra más claramente durante el periodo sin cultivo que durante el cultivo, ya que en ese periodo los lavados son mayores.

4. Discusión

Medidas realizadas durante el año 2001, en parcelas comerciales en condiciones de cultivo y manejo del cultivo similares al del experimento que se presenta, muestran que las aplicaciones de agua de riego son, habitualmente, superiores a las aplicadas en el ensayo (Domingo, 2001), aunque las mediciones se realizaron en años de menor precipitación durante el periodo de riego que las registradas este año 2002. Además, en las condiciones del ensayo, la longitud de los surcos de riego no es superior a los 40-50 m. En parcelas comerciales, la longitud de los surcos supera habitualmente los 200 m. En condiciones de campo similares a las descritas, Ruelle *et al.* (2002) encontraron eficiencias del agua aplicada parecidas a las medidas en este ensayo. La eficiencia del agua aplicada conseguida en el ensayo es, por tanto, probablemente, similar a la habitual en parcelas comerciales en la zona de estudio.

Durante el periodo de riego, el drenaje sensiblemente igual estimado a 60 y 120 cm de profundidad y la práctica invariabilidad de la reserva de agua del suelo entre 60 y 120 cm de profundidad, permiten asumir que la extracción de agua por parte del cultivo a estas profundidades ha sido prácticamente nula, ya fuese por la no presencia de raíces o por la falta de efectividad de éstas en la extracción de agua.

En el cultivo de maíz, habitualmente se estima el lavado de nitratos a una profundidad de 120 cm desde la superficie del suelo. La no absorción de agua, en este ensayo, a profundidades mayores de 60 cm por parte del cultivo podría aconsejar estimar, también, la pérdida de N por lavado a partir de 60 cm de profundidad, y así se ha hecho.

El lavado de N nítrico (Figura 2) durante el periodo de riego, a pesar de la ineficiencia del agua aplicada, es bajo comparado con el que se produce durante el periodo sin cultivo. A ello contribuye la baja retención del agua de lluvia registrada en este último periodo (más del 80 % del agua de lluvia se drena) y la mayor concentración de N-nítrico en la solución del suelo al final del periodo invernal, especialmente para dosis elevadas de N aplicado (Tabla 3).

Otros autores, en condiciones similares, han obtenido resultados parecidos en el cultivo de maíz en regadío y han descrito la importancia del lavado de nitratos durante el periodo invernal (Moreno *et al.*, 1996; Díez *et al.*, 2000), aunque la eficiencia del agua de riego era superior, en esos casos, a la del presente trabajo.

En nuestro caso, las pérdidas totales durante el periodo de medida (hasta 135 Kg N ha⁻¹ aproximadamente) han representado más del 65 % del N aportado en cobertera en forma de abono mineral.

La menor tasa de lavado, este primer año de ensayo (durante el periodo en que se han realizado medidas) en las parcelas dónde se aporta estiércol, a pesar del mayor aporte total de N, respecto los tratamientos sin aplicación de estiércol, puede deberse al predominio en el suelo, respecto otros procesos, del proceso de inmovilización del N mineral o mineralizado durante este periodo. Lasa *et al.*

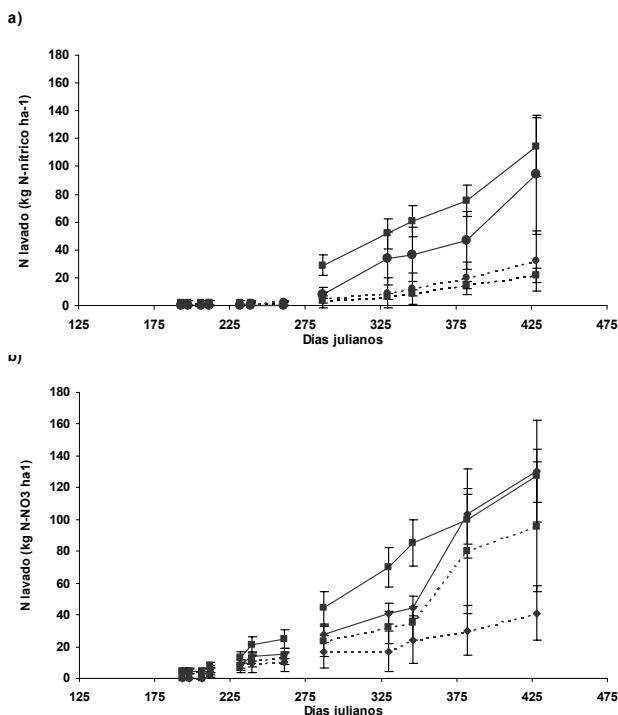


Fig. 2. Lavado de N nítrico (kg N-NO₃⁻ ha⁻¹) por debajo de a) 60 cm y b) 120 cm de profundidad del suelo, para un cultivo de maíz sin aplicación de estiércol (0 (---■---) o 200 (—■—) Kg ha⁻¹ de N inorgánico aportado en cobertera) y con la aportación de 60 Mg ha⁻¹ de estiércol (0 (---◆---) o 200 (—◆—) Kg ha⁻¹ de N inorgánico aportado en cobertera). La Tallada d'Empordà-Cataluña. Año 2002.

(1997) sugirieron una explicación similar para los resultados que obtenían, en ese caso para aplicaciones de lodos de depuradora digeridos. El estiércol aportado tiene una relación C/N superior a la de equilibrio del suelo y esto favorece la inmovilización, presumiblemente temporal, de N mencionada, por parte de los microorganismos del suelo. El seguimiento plurianual de este ensayo deberá permitir establecer la duración temporal de esta inmovilización y la influencia a largo plazo de las aportaciones de estiércol en la evolución del lavado de N nítrico en el suelo.

5. Conclusiones

Como se ha mencionado anteriormente, los resultados pertenecen al primer año de ensayo de un experimento a largo plazo y, por tanto, se hace preciso esperar a obtener nuevos resultados para poder sacar conclusiones más robustas. De todas formas, de forma preliminar y para este primer año de estudio, los resultados indican que:

- En el cultivo de maíz en regadío, el lavado invernal de nitratos es importante, especialmente en años lluviosos.
- El lavado durante el periodo de riego, a pesar de eficiencias de uso del agua bajas, es relativamente poco importante, cuando las concentraciones de N nítrico en la solución del suelo son bajas.
- Los lavados son mayores al incrementar las aplicaciones de N en forma de abono mineral en cobertera.
- La aplicación de estiércol provoca un menor lavado de nitratos para una misma cantidad de N mineral aportado.

Agradecimientos. Los autores agradecen al Dr. Miguel Quemada la ayuda prestada en la elaboración de los datos presentados y sus reflexiones al respecto de los mismos. El presente trabajo se ha financiado a través del proyecto coordinado CICYT 0501-13131.

Referencias

- DARP. 1993. Mapa de sòls detallat (E. 1:25000) del Marge Esquerre del Baix Ter (Alt i Baix Empordà). Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya. Lleida
- DARP. 2001. PACREG 4.1 Una eina per a l'ús eficient de l'aigua de reg en parcel·la. Programa informàtic. Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca. Generalitat de Catalunya. D.L. L-433-2001.
- Díez, J.A., Caballero, R., Román, R., Tarquis, A., Cartagena, M.C. y Vallejo, A. 2000. Integrated fertilizer and irrigation management to reduce nitrate leaching in Central Spain. *Journal of Environmental Quality*, 29. 1539-1547.
- Domingo, F., 2001. Eficiencia de la fertilització nitrogenada en el conreu de blat de moro. Jornada Tècnica sobre blat de moro. IRTA-DARP.
- Doorenbos, J. y Pruitt, W.O. 1988. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y drenaje, 24.
- Keeney, D.R. y Nelson, D.W. 1982. Nitrogen Inorganic Forms. En: *Methods of Soil Analysis. Part 2.* A.L. Page et al. (eds.), pp 643-698. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.
- Lasa, B., Quemada, M., Frechilla, S., Muro, J. Lamsfus, C., y Aparicio-Tejo, P.M. 1997. Effect of digested sewage sludge on the efficiency of N-fertilizer applied to barley. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 48, 241-246.
- Moreno, F., Cayuela, J.A., Fernández, J.E., Fernández-Boy, E., Murillo y J.M., Cabrera, F. 1996. Water balance and nitrate leaching in an irrigated maize crop in SW Spain. *Agricultural Water Management*, 32. 71-83.
- Ruelle, P., Mailhol, J.C., Nemeth, I. y Mary, B. 2002. Heterogeneite en irrigation a la raie et maitrise des pertes en nitrate et en rendement. International Commission on irrigation and drainage. XVIII Congress. Montreal.
- Soil Survey Staff. 1998. Keys to soil taxonomy. 8th ed. 326 pp. USDA.NRCS.

