

BALANCE DE AGUA Y NITRÓGENO EN UNA ROTACIÓN DE PATATA-CEREAL EN LA COMARCA DE LA RIOJA ALTA

L. Olasolo, N. Vázquez, M.L. Suso, A. Pardo.

Servicio de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CIDA). Crta. Mendavía-Logroño, NA-134 km 88. 26071 Logroño.
correo-e: siar.cida@larioja.org

RESUMEN. El objetivo de este trabajo ha sido evaluar el nitrato lixiviado por debajo del sistema radicular en la zona vulnerable del aluvial del río Oja, mediante la realización de balances de agua y nitrógeno en una rotación patata/cereal. Para ello se establecieron dos parcelas piloto, cultivadas por agricultores, durante los años 2005 y 2006. El cultivo de patata se realizó con riego por aspersión y el de trigo, en secano. El lixiviado de NO_3^- se ha calculado multiplicando el drenaje por la concentración de nitratos en la solución del suelo. El drenaje se ha estimado mediante la ecuación del balance de agua. Para determinar la variación de la reserva de agua en el suelo se ha medido la humedad gravimétrica a lo largo de la rotación.

Las producciones obtenidas en ambos cultivos están consideradas como habituales en la zona, en torno a $58.000 \text{ kg ha}^{-1}$ en patata y 4.800 kg ha^{-1} en trigo.

Se analizan los balances de agua y nitrógeno en ambos cultivos. Se observa la importancia que puede alcanzar el lixiviado de nitrato en el cultivo de patata en regadío, y provocado por las lluvias de otoño en el periodo entre cultivos.

Se valora la importancia del contenido en nitratos del agua de riego y la mineralización de la materia orgánica, así como del nitrógeno residual, que son susceptibles de ser lixiviados.

ABSTRACT. Water and nitrogen balances were determined in a potato/wheat rotation in order to evaluate nitrate leaching. Two experimental plots, located in nitrate-vulnerable zone farms (Oja River, La Rioja, Spain), were controlled in the years 2005 and 2006. In both plots, sprinkler-irrigated potato was followed by rainfed wheat crop.

Nitrate leaching was calculated by multiplying the amount of water drainage and nitrate content in the soil solution. Water drainage was calculated as the residual of the soil water balance equation. Soil water content was measured by gravimetry throughout the time of the rotation.

Potato and wheat crops reached $58.000 \text{ kg ha}^{-1}$ and 4.800 kg ha^{-1} , respectively, which is considered as usual in this area.

Water and nitrogen balances were analysed in both crops. The importance reached by the amount of nitrate leached from the irrigated potato crop and that caused by

the autumn rains in the between-crop period was observed.

The role of nitrate content in irrigation water, soil organic matter mineralization and residual nitrogen is discussed in relation to their leaching susceptibility.

1.- Introducción

La producción agrícola intensiva y la aplicación excesiva o inadecuada de fertilizantes nitrogenados ha originado en determinadas zonas un aumento de la concentración de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas que ha llevado a su definición como zonas vulnerables. Estas zonas han sido reguladas por el Real Decreto 261/1996 (BOE, 1996), relativo a la protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. La declaración de zonas vulnerables trae como consecuencia la elaboración de un Plan de Actuación de obligado cumplimiento en las zonas declaradas como tales, que contempla el establecimiento de una red de fincas piloto de seguimiento de las prácticas agrarias (BOR, 2002).

En la comarca de Rioja Alta la patata es un cultivo tradicional que alterna con otros cultivos extensivos como la remolacha azucarera, los cereales y la judía y guisante verdes con destino a la industria congeladora. Los rendimientos medios que se alcanzan, en torno a 45 t ha^{-1} , se encuentran entre los más altos de España (MAPA, 2006). En 2004 se cultivaron en la Rioja 2.236 ha y se obtuvieron 103.625 t, el 70% de patata de media estación y el resto de patata tardía (Gobierno de La Rioja, 2005). El 80% de los cultivos herbáceos fueron de cereal de grano (38.184 has), siendo el trigo el cereal mayoritario (30.985 has), con una producción media en La Rioja es de 5 t ha^{-1} (Gobierno de La Rioja, 2005).

Con el objetivo de evaluar el nitrato lixiviado en los cultivos de la zona del aluvial del río Oja, declarada vulnerable, se establecieron dos parcelas piloto en una rotación patata-cereal donde se han realizado los balances de agua y nitrógeno.

2.- Material y Métodos

En el año 2005 se inició el seguimiento de dos parcelas piloto cultivadas por agricultores, donde se practica la

rotación patata/cereal/cereal/cereal, en la zona vulnerable del aluvial del Oja. En este trabajo se presentan los resultados de los años 2005 y 2006 (patata/cereal). En la tabla 1 se detalla la ficha cultural de ambos cultivos en las dos parcelas estudiadas.

Tabla 1.- Ficha cultural de los cultivos de la rotación patata/trigo en las dos parcelas estudiadas.

	Parcela 287		Parcela 754	
	Patata	Trigo	Patata	Trigo
Variación	Red Pontiac	Soisson	Hermes	Soisson
Siembra	18/03/05	12/11/05	21/03/05	12/11/05
Densidad	60 mil-pl ha ⁻¹	600 esp m ⁻²	60 mil-pl ha ⁻¹	600 esp m ⁻²
Cosecha	23/08/05	3/07/06	29/08/05	3/07/06
Fertilización (NPK kg/ha)	201-125-262	130-90-90	201-125-262	130-90-90
Riego	501 mm	secano	546 mm	secano

Las características más relevantes de los suelos, del orden entisol, se presentan en la tabla 2. El contenido de elementos gruesos fue elevado en ambas parcelas, 30% en peso en la parcela 287 y 50% en la 754. La materia orgánica se mantuvo en valores medios hasta los 0,6 m de profundidad.

Tabla 2. Análisis del perfil del suelo.

	Prof. (cm)	Arena ¹ (%)	Limo ¹ (%)	Arcilla ¹ (%)	pH ²	CE _{1.5} dSm ⁻¹	M.O. (%)	C/N	Cc ³ (%)	Pm ⁴ (%)
Parcela 287										
	0-20	39	42	19	8.4	0.2	2.0	10.2	24.8	15.6
	20-40	38	42	20	8.4	0.2	2.1	10.4	25.5	15.2
	40-60	41	38	21	8.4	0.2	1.4	10.2	25.7	18.0
	60-80	29	47	24	8.4	0.2	0.6	8.6	26.4	16.6
Parcela 754										
	0-20	41	40	19	8.3	0.2	2.0	9.9	21.5	12.0
	20-40	42	39	19	8.2	0.2	1.9	10.2	21.3	12.1
	40-60	46	35	19	8.3	0.2	1.6	10.1	21.3	11.7

¹USDA ²pH en agua 1:2.5 ³Capacidad de campo (-0.03 MPa) ⁴Punto de Marchitez (-1.5 MPa)

La fertilización, idéntica en ambas parcelas, consistió en el cultivo de patata, en un abonado de fondo de 75-125-262.5 kg ha⁻¹ con un complejo 6-10-21 y un abonado de cobertera de 126 kg ha⁻¹ de nitrógeno a base de sulfato amónico al 21%. En el cultivo de trigo se aplicaron en fondo 48-90-90 kg ha⁻¹ con un complejo 8-15-15 y en cobertera 82.5 kg ha⁻¹ de nitrógeno en forma de nitrato amónico al 27%.

En el cultivo de patata el riego fue por aspersión, con un marco de riego de 12x18 y periodicidad semanal desde el 20 de mayo hasta el 11 de agosto (parcela 287) y el 18 de agosto (parcela 754). En la parcela 287, el agua de riego se tomaba de una acequia y en la 754 de un pozo. El trigo se cultivó en secano en ambas parcelas.

La evapotranspiración del cultivo (*ETc*) se calculó mediante el método de los coeficientes (Allen et al., 1998) empleando la expresión: $ETc = Ks \times Kc \times ET0$. Los coeficientes de cultivo empleados en el cultivo de patata se tomaron de Wright y Stark (1990) y en el trigo de Allen et al. (1998). La *ET0* se calculó por el método de FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

Para la realización de los balances de agua y nitrógeno se realizaron gravimetrías en diferentes momentos del cultivo y se analizó el contenido de nitrógeno mineral en suelo. Para su análisis se realizó un extracto con KCl 1M y se analizó el nitrato por colorimetría previa reducción en columna de cadmio (Keeney y Nelson, 1982) y el de amonio según la metodología descrita por Solórzano (1969).

El lixiviado de nitratos se calculó multiplicando el drenaje por la concentración de nitratos en la solución del suelo. Para el cálculo del drenaje se empleó la ecuación del balance de agua:

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

siendo *P* la precipitación, *R* el riego, *ETc* la evapotranspiración del cultivo, *VR* la variación de la reserva de agua en el suelo, *D* el drenaje y *E* la escorrentía superficial. La concentración de nitrato en la solución del suelo se calculó dividiendo el contenido en nitrato por la humedad de las muestras de suelo correspondientes, expresando ambos valores sobre suelo seco. En el cultivo de patata se realizaron análisis mensuales del contenido de nitratos en el agua de riego.

Durante el cultivo de patata, se determinó la humedad volumétrica mediante sonda FDR. Así mismo se instalaron cañas de vacío (Lord y Shepherd, 1993) para la recogida de muestras de la solución del suelo. Estas determinaciones se realizaron después de una lluvia o riego superiores a 25 mm o cada 15 días (datos no presentados).

Se determinó la cobertura del cultivo de patata en varios momentos a lo largo del cultivo, mediante análisis de imagen de fotografía digital. El estado fenológico de ambos cultivos se siguió según la escala BBCH (2001). La cosecha se determinó en tres parcelas elementales de 9 m² en la patata y de 1 m² en el trigo. Se controló la producción total y comercial así como el peso seco de las distintas partes de la planta en cada cultivo, en los que se analizó el nitrógeno total por Kjeldal (AOAC, 1990) para el cálculo de las extracciones de los cultivos.

3.- Resultados y Discusión

Tabla 3. Producción (Mg ha⁻¹) para los cultivos de la rotación expresada en peso fresco.

	Patata		Trigo	
	Peso total	Peso comercial	Peso grano	Peso paja
Parcela 287	58,9	58,9	5,7	8,4 (15% H)
Parcela 754	60,9	55,0	3,9	7,0 (11% H)

Las producciones obtenidas para ambos cultivos se muestran en la tabla 3. En el caso del trigo, la producción de paja lleva asociada el porcentaje de humedad en el momento de la cosecha. Estos valores se sitúan en el rango de los habituales en la zona.

En la tabla 4 se presentan los valores de porcentaje de nitrógeno en cada uno de los componentes de la planta de cada cultivo y las extracciones totales de los mismos.

Tabla 4. Contenido de nitrógeno (%) y extracción total (kg N ha⁻¹) de los cultivos de patata y trigo en ambas parcelas.

	Patata		Trigo	
	Hoja + Tallo	Tubérculo	Grano	Paja
Parcela 287				
Nitrógeno (%)	1.7 ± 0.05	1.9 ± 0.03	2.3 ± 0.07	0.6 ± 0.02
Extracción (kg/ha)	54 ± 4.7	227 ± 16.0	122 ± 9.0	40 ± 4.5
Parcela 754				
Nitrógeno (%)	1.8 ± 0.03	1.8 ± 0.06	2.7 ± 0.09	0.7 ± 0.01
Extracción (kg/ha)	67 ± 3.2	251 ± 9.4	100 ± 13.1	41 ± 2.7

El porcentaje de nitrógeno en hojas, tallos y tubérculos de patata osciló entre 1.7 y 1.9% y las extracciones totales de nitrógeno entre 281 y 318 kg N ha⁻¹ (tabla 4). Estos valores se encuentran dentro de los descritos en la bibliografía (Meisinger y Randall, 1991). En el trigo, los porcentajes de nitrógeno para el grano se encuentran dentro del rango superior en la parcela 287 y ligeramente por encima en la 754 según los valores citados por Mesinger y Randall (1991), y en el rango de suficiencia para el trigo de invierno (1.75-3%) según los valores citados por Olson y Kurtz (1982). El porcentaje de nitrógeno para la paja, en ambas parcelas, se encuentra dentro de los valores indicados por dichos autores.

En la tabla 5 se presenta el balance de agua realizado a 60 cm de profundidad para los cultivos de patata y trigo. Los valores de balance en el caso de la patata representan agua no utilizada por el cultivo, mientras que en el caso del trigo pasa a recargar capas más profundas exploradas por las raíces del mismo. Se observa un mayor drenaje en el cultivo de patata, que se encuentra en regadío.

Tabla 5. Balance de agua (mm) en la rotación de cultivos patata/trigo en las dos parcelas estudiadas.

	Parcela 287		Parcela 754	
	Patata	Trigo	Patata	Trigo
Precipitación	135	385	136	385
Riego	501	0	546	0
ETc	516	384	535	350
VR suelo	-42.0	-26.3	-48.2	-24.6
Escorrentía	5.9	18.9	6.5	18.9
Balance	157	8.4	189	41.5

En el periodo entre los dos cultivos se produjo una precipitación de 147 mm y una evaporación del suelo de 73 y 65 mm, en las parcelas 287 y 754 respectivamente. Esto ocasionó un aumento de la variación de la reserva del suelo, hasta 60 cm, de 53 mm superándose la capacidad de campo y produciéndose un drenaje de 21 y 27 mm respectivamente, hacia las capas más profundas del suelo y que podrán ser aprovechados por el cultivo posterior.

Después del cultivo de trigo y hasta el mes de noviembre, cuando se siembra el cultivo siguiente de cereal, se producen unas lluvias de 123 mm y una evaporación del suelo de 147 mm. La reserva del suelo disminuye hasta 60 cm, no produciéndose drenaje.

En la tabla 6 se presentan los componentes del balance de nitrógeno. El fertilizante aportado, en ambos cultivos, estuvo de acuerdo con las recomendaciones contenidas en

el código de buenas prácticas agrarias (Gobierno de La Rioja, 1999) y en el programa de actuación de zonas vulnerables de La Rioja (BOR, 2002). En el cultivo de patata, el agua de riego aportó una cantidad significativa de nitrógeno, sobre todo en el caso de la parcela 754 que se regaba con agua de pozo con una concentración media de NO₃⁻ de 140 mg l⁻¹, mientras que en la parcela 287 esta concentración estuvo en 27 mg l⁻¹. En la parcela 754 el lixiviado de nitrato fue muy superior. Las salidas han sido superiores a las entradas, sugiriendo una mineralización neta de la materia orgánica presente en el perfil del suelo, siendo mayor en la parcela 754. En el cultivo de trigo el lixiviado de ambas parcelas, por debajo de 60 cm, fue muy inferior al de la patata. Este nitrógeno puede ser aprovechado por el sistema radicular del trigo que es más profundo.

Tabla 6. Balance de nitrógeno (Kg N ha⁻¹) en la rotación de cultivos patata/trigo en las dos parcelas estudiadas, hasta 60 cm de profundidad.

	Parcela 287		Parcela 754	
	Patata	Trigo	Patata	Trigo
Entradas				
Fertilizante	201	130	201	130
Riego	29		174	
Nmin. inicial	N-NO ₃ ⁻ 21.5	39.4	12.4	29.1
	N-NH ₄ ⁺ 13.8	12.7	11.3	11.8
Salidas				
Extracciones	281.4	161.8	318.0	140.8
Lixiviado	54.6	21.9	144.2	35.0
Nmin. final	N-NO ₃ ⁻ 33.0	16.4	76.2	27.6
	N-NH ₄ ⁺ 13.6	12.1	9.5	11.1

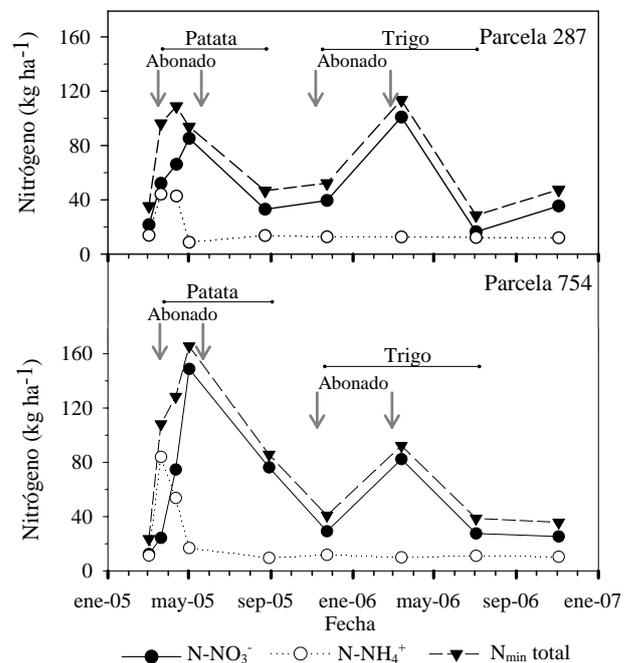


Fig. 1 Evolución del nitrógeno mineral (kg ha⁻¹) en suelo, hasta 60 cm de profundidad, en la rotación patata/cereal en las dos parcelas estudiadas.

La variación de nitrógeno mineral se debe fundamentalmente a los cambios producidos en el contenido

de nitratos, puesto que el contenido de amonio, excepto en el periodo de abonado de la patata, se estabiliza en unos niveles bajos como ocurre habitualmente (Meisinger y Randall, 1991). Los contenidos más elevados de nitrato coinciden con los periodos de fertilización de los cultivos. Al finalizar el cultivo de la patata, el contenido en nitrato en la parcela 754 duplica al de la parcela 287, debido fundamentalmente al aporte de nitrato con el agua de riego. Este exceso de nitrógeno se lava durante el periodo entre cultivos de modo que al inicio del cultivo de cereal el contenido en nitratos de ambas parcelas es similar.

En las figuras 2 y 3 se representa el drenaje y el lixiviado de N-NO_3^- acumulado por debajo de 60 cm de profundidad en la rotación patata/cereal.

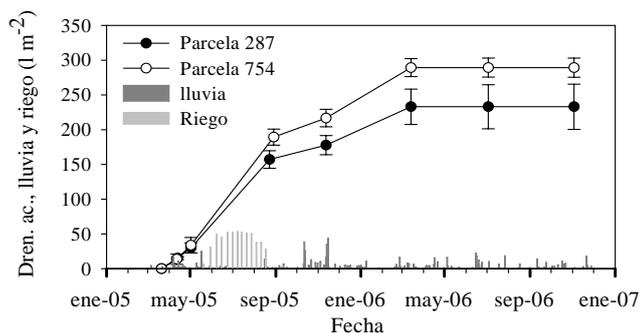


Fig. 2 Drenaje acumulado (l m^{-2}) por debajo de 60 cm de profundidad, lluvia y riego diarios, en la rotación patata/cereal en las dos parcelas estudiadas.

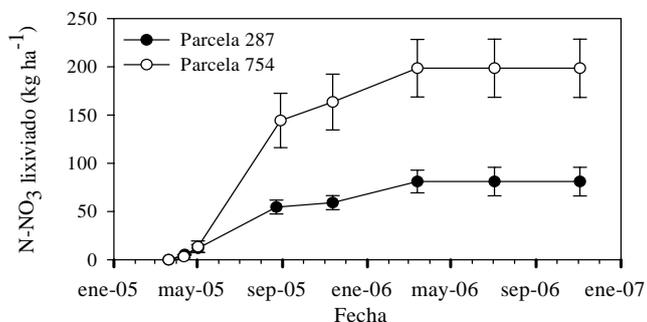


Fig. 3 Lixiviado de N-NO_3^- acumulado, por debajo de 60 cm de profundidad, en la rotación patata/cereal en las dos parcelas estudiadas.

El mayor drenaje y lixiviado se observa durante el cultivo de la patata y el invierno que le sigue. Al finalizar el cultivo de trigo, debido al escaso contenido de agua en el suelo, no se observa drenaje.

4.- Conclusiones

Se ha observado al finalizar el cultivo de patata en regadío, que pueden quedar en el suelo cantidades importantes de nitrógeno residual que, junto al mineralizable, son susceptibles de ser lixiviados por las lluvias de otoño e invierno produciéndose lavados casi

tan importantes como los producidos durante el cultivo. Por ello en la planificación de la fertilización, no solamente tiene importancia la cantidad extraída por el cultivo sino también el nitrógeno mineral inicial, el contenido en el agua de riego y el procedente de la propia mineralización del suelo.

Este trabajo continua en el cultivo de cereal que sigue en la rotación para completar el estudio de la misma y poder sugerir prácticas culturales de menor impacto ambiental en la zona.

Agradecimientos. Este trabajo ha sido financiado con cargo a los proyectos PR 12/05 y PR 16/06 de la Consejería de Agricultura y Desarrollo Económico de la C.A. de La Rioja.

Bibliografía

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. y Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration. FAO Irrigation and drainage paper 56*. Roma, 300 p.
- AOAC, 1990. *Official methods of analysis*. 15th Ed. Harwitte W. (Ed)., pp. 127-129. Association of official analytical chemist. Washington (EEUU).
- BBCH, 2001. *Estadios de las plantas mono y dicotiledóneas*. Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura, 2ª ed., 149 p. <http://www.bba.de/veroeff/bbch/bbchspa.pdf>
- Boletín Oficial del Estado, 1996. Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero. B.O.E. nº 61, de 11-03-1996
- Boletín Oficial de La Rioja, 2002. Decreto 61/2002, de 22 de noviembre. B.O.R. nº 143, de 26-11-2002.
- Gobierno de La Rioja, 1999. *Código de buenas prácticas agrarias de La Rioja*. Gobierno de La Rioja, 118 p.
- Gobierno de La Rioja, 2005. *Estadística Agraria Regional 2003*. http://www.larioja.org/agricultura/sector_estadistica.htm
- Keeney, D.R. and Nelson, D.W. 1982. Nitrogen-inorganic forms. En: *Methods of analysis, Part 2. Agronomy 9 p. 643-698*. ASA and SSSA. A.L.Page et al. (ed). Madison, WI, EEUU.
- Lord, E.I. and Shepherd, M.A. 1993. Developments in the use of ceramic cups for measuring nitrate leaching. *J. Soil Sci. 24:435-449*.
- MAPA, 2006. *Anuario de Estadística Agroalimentaria 2004*. <http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/introduccion.htm>
- Meisinger, J.J. y Randall, G.W. 1991. Estimating nitrogen budgets for soil crop systems. En: *Managing nitrogen for groundwater quality and Farm profitability.*, 85-124, SSSA, Madison, WI, USA, 357 p.
- Olson, R.A. y Kurtz, L.T. 1982. Crop nitrogen requirements, utilization and fertilization. En: *Nitrogen and agricultural soils. Agronomy nº 22: 567-604*. Ed. F.J. Stevenson. Madison, WI, USA.
- Solórzano, L. 1969. Determination of amonnia in natural water by phenolhypochlorite medium. *Limnol. Oceanogr. 14:799-801*.
- Wright, J.L. y Stark, J.C. 1990. Potato. En: *Irrigation of Agricultural Crops. Agronomy Monograph n. 30: 859-888*. Madison, WI, USA, 1218 p.