

# FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN EL CULTIVO DE LA PATATA Y CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Maria Adrover Fiol\*, Jeroni Vera Caldentey\*, Antonio Sánchez Forss\*, Bartolomé Mayol Colom\*\*, Joan Rosselló Veny\*\*\* y Jaume Vadell Adrover\*

\* *Dept. Biologia, Universitat de les Illes Balears, 07071 Palma de Mallorca.*

\*\* *Conselleria d'Agricultura i Pesca, Govern de les Illes Balears.*

\*\*\* *Esplet SAT, 07420 Sa Pobla*

## Resumen

La contaminación de las aguas subterráneas por nitratos es un problema ambiental asociado a la actividad agrícola. La patata es un cultivo hortícola exigente en nitrógeno que en muchas condiciones de cultivo presenta un alto riesgo de contaminación nitrogenada de las aguas freáticas. Se han comparado cuatro tratamientos de fertilización nitrogenada en cultivo de patata tardía (ciclo de agosto a noviembre) que varían en dosis, forma y distribución. Se ha realizado un seguimiento de la concentración de nitratos en peciolo y de las pérdidas de agua y nitrógeno por percolación. Las plantas han presentado en todo momento un buen estado nutricional y no se han obtenido diferencias de producción en los cuatro tratamientos. Las pérdidas de nitratos han sido proporcionales a la dosis aplicada y se han producido, sobretodo, después de lluvias importantes.

## 1. Introducción

La contaminación por nitratos de las aguas subterráneas es un problema ambiental generalizado que se atribuye, en la mayoría de ocasiones, a las actividades agrarias. En la horticultura de regadío, trabajando mayoritariamente con cultivos exigentes en nitrógeno, es cuando esta problemática toma mayor transcendencia (Prunty y Greenland, 1997; Peralta y Stockle, 2000; Ramos et al., 2002).

La patata es un cultivo muy sensible a los déficits de nutrientes. El nitrógeno suele ser el principal elemento mineral limitante de la producción (Westermann y Kleinkopf, 1985; Prunty y Greenland, 1997; Meyer y Marcum, 1998). Para producciones óptimas de patata se dispone de referencias que van desde 45 kg N/ha (siguiendo una rotación, después de trébol (*Trifolium pratense*)) hasta 400 kg N/ha (Laurer, 1986; Porter y Sisson, 1991). Los valores más habituales para las condiciones similares a las de las Islas Baleares van de 150 a 275 kg N/ha (Meyer y Marcum, 1998). La falta de nitrógeno en un momento crítico, al inicio de la tuberización, puede ocasionar pérdidas considerables de producción (Errebhi et al., 1998).

La dosis, forma y distribución de las aplicaciones de fertilizantes varían mucho en función de las condiciones edáficas y climáticas, el manejo del cultivo y los objetivos de la producción. En algunos casos se realiza una única aplicación de fondo antes de la plantación pero mayoritariamente se recomienda el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en varias aportaciones durante el cultivo (Gunasena y Harris, 1971; Errebhi et al., 1998).

La optimización y racionalización del proceso productivo exige poner al alcance de los cultivos las dosis de fertilizante necesarias para su correcto desarrollo al mismo tiempo que se tienen que reducir al mínimo las repercusiones sobre el medio ambiente.

El nitrógeno aplicado en forma de nitrato asegura una mayor disponibilidad para las plantas aunque su elevada solubilidad hace que sea altamente vulnerable al arrastre del agua que circula a través del suelo (Meyer y Marcum, 1998). La presencia de nitratos en el suelo en

momentos en los que se produce un excedente hídrico, tanto por lluvias como por riego en exceso, provoca un lavado de estas moléculas ocasionando la consecuente contaminación de las aguas subterráneas.

El uso de fertilizantes en forma de urea o amoniacales reduce, en un primer momento, el riesgo de ser arrastrados por el agua percolante hasta que pasan a formas oxidadas (nitratos) debido a la acción de los microorganismos del suelo (Nitrosomonas y Nitrobacter).

La aportación de materia orgánica disminuye los riesgos de pérdidas de nitratos, ya que el nitrógeno se libera de forma progresiva, además de contribuir en otras propiedades del suelo. No obstante, en cultivos exigentes en nitrógeno difícilmente puede satisfacer la demanda, siendo necesaria la complementariedad con la fertilización mineral si se pretenden obtener producciones máximas.

En los últimos años han aparecido los fertilizantes de liberación lenta. Estos fertilizantes van liberando de forma difusa las formas nitrogenadas para evitar que, en un momento dado, haya una gran concentración de formas susceptibles de ser lavadas. En este sentido existen moléculas como la dicianidamida (DCD) y el 3,4-dimetilpirazolfosfato (DMPP) que inhiben la nitrificación (paso de amonio a nitrato), actuando sobre las bacterias Nitrosomonas. La aplicación de estos inhibidores juntamente con nitrógeno en forma amoniacal reduce el riesgo de lixiviación de nitratos durante las primeras semanas posteriores a la fertilización (Guyot et al., 1990).

La concentración de nitratos a nivel de peciolo es un buen indicador de la relación entre la fertilización nitrogenada y la producción final de patatas y se usa frecuentemente para evaluar las necesidades de nuevas aplicaciones de fertilizante a medio cultivo (Meyer y Marcum, 1998).

En el presente estudio se compara el uso de sulfato amónico como fuente de nitrógeno mineral, siendo la forma habitualmente utilizada en la zona de estudio, y un fertilizante con inhibidor (DMPP). Para cada tipo de fertilizante se han usado dos dosis de aplicación, resultando un total de cuatro tratamientos.

Para conocer el estado nutricional del cultivo se ha realizado un seguimiento del contenido de nitrato en el peciolo en los momentos críticos. También se han cuantificado los volúmenes de agua infiltrada hacia el acuífero, así como las concentraciones de nitratos, para conocer los niveles de recarga y eventual contaminación.

## **2. Material y métodos**

El ensayo experimental se ha realizado en Sa Pobla, zona tradicionalmente productora de patatas de las Islas Baleares.

El suelo es un luvisol cálcico, con abundantes elementos gruesos, de 45 cm de profundidad (Tabla 1). El material originario es de origen aluvial constituido por gravas que limitan el avance de las raíces.

**Tabla 1. Características del suelo**

	0-25 cm	25-45 cm
Elementos gruesos (>2mm) (%)	35,0	51,7
Tierra fina (<2mm) (%)	65,0	48,3
Textura	Fran.-Arc.-Lim.	Arc.-Lim.
pH (1:2,5)	8,2	8,1
Carbonatos (%)	14,7	9,3
Caliza activa (%)	3,7	2,1
Materia orgánica (%)	4,1	3,9
Nitrógeno (%)	0,23	0,20
C/N	10,4	11,4
Fósforo Olsen (mg/kg)	190	100
CIC (cmol/kg)	25,8	31,3

Se ha realizado un cultivo de patata (*Solanum tuberosum*) cv. Marfona con un marco de plantación de 70 cm entre filas y 20 cm entre plantas. La plantación tuvo lugar el 25 de agosto de 2001 y la recolección, día 13 de diciembre del mismo año. Se ha utilizado riego por aspersión con una dosis de 20-25 mm y con una frecuencia aproximada de 2 veces por semana. El agua de riego presenta una conductividad eléctrica a 25°C de 0,9 dS/m y un contenido de nitrógeno en forma de nitrato de 12 mg/l. Los tratamientos fitosanitarios realizados han sido los comunes para la zona y el cultivo.

Un mes antes de la plantación se ha aplicado al terreno un abonado orgánico de fondo compuesto por estiércol de vacuno y gallinácea. En total se han aportado 31,8 t m.s./ha, con un contenido de nitrógeno de 1,9%.

Se han establecido cuatro tratamientos de fertilización nitrogenada con dos tipos de fertilizantes: sulfato amónico y un fertilizante de liberación lenta. El sulfato amónico se ha usado en dos tratamientos, en los cuales se han aplicado 200 y 150 kg N/ha. La aportación de estas dosis se ha fraccionado en cuatro aplicaciones a lo largo del cultivo, en función del estado vegetativo. Como fertilizante de liberación lenta se ha usado un compuesto de nitrato amónico con DMPP. Este fertilizante tiene una riqueza en nitrógeno del 26%, presentándose un 19% en forma amoniacal y un 7,5% en forma nítrica y con una proporción de DMPP del 0,8% sobre el nitrógeno amoniacal. Este fertilizante se ha incorporado en una sola aplicación unos 20 días antes de la siembra, siendo las dosis aplicadas 180 y 120 kg N/ha.

Los tratamientos se han distribuido en 16 parcelas integradas en cuatro bloques, con representación de los cuatro tratamientos en cada bloque.

Desde el inicio de la tuberización hasta la senescencia se ha realizado un seguimiento semanal del estado nutricional del cultivo mediante el análisis de la concentración de nitratos del peciolo de las hojas. Para ello se ha recogido, en cada parcela, una muestra de seis hojas jóvenes completamente expandidas. La concentración de nitratos se ha medido por espectrofotometría ultravioleta (lecturas a 220 y 275 nm).

El agua de drenaje se ha recogido mediante unos colectores de 0,24 m<sup>2</sup> de área, situados a un metro bajo la superficie del suelo. A esta profundidad el agua ya está fuera del alcance de las raíces. Los muestreos ordinarios se han realizado cada 15 días. En caso de lluvias intensas que pudieran ocasionar pérdidas de agua por infiltración se han realizado muestreos adicionales.

Para cada colector se ha medido el volumen de agua recogida y el contenido en nitratos. La concentración de nitratos se ha medido por espectrofotometría ultravioleta.

Al final del cultivo se ha cuantificado la producción obtenida mediante el muestreo de una superficie de 2,8 m<sup>2</sup> por parcela. El porcentaje de masa seca de los tubérculos se ha determinado secando las muestras a 60°C hasta peso constante. Sobre la masa seca se ha cuantificado el contenido en nitrógeno total de las patatas siguiendo el método Kjeldahl.

### 3. Resultados y discusión

Durante los primeros meses del cultivo (septiembre y octubre) las condiciones ambientales han sido las habituales para la época del año (Tabla 2). A mediados del mes de noviembre se han producido lluvias intensas acompañadas de vientos fuertes y temperaturas bajas que han condicionado la fase final del cultivo. Después de estos acontecimientos meteorológicos el cultivo quedó afectado a nivel aéreo, si bien la producción ya estaba consolidada.

**Tabla 2. Condiciones ambientales durante el cultivo**

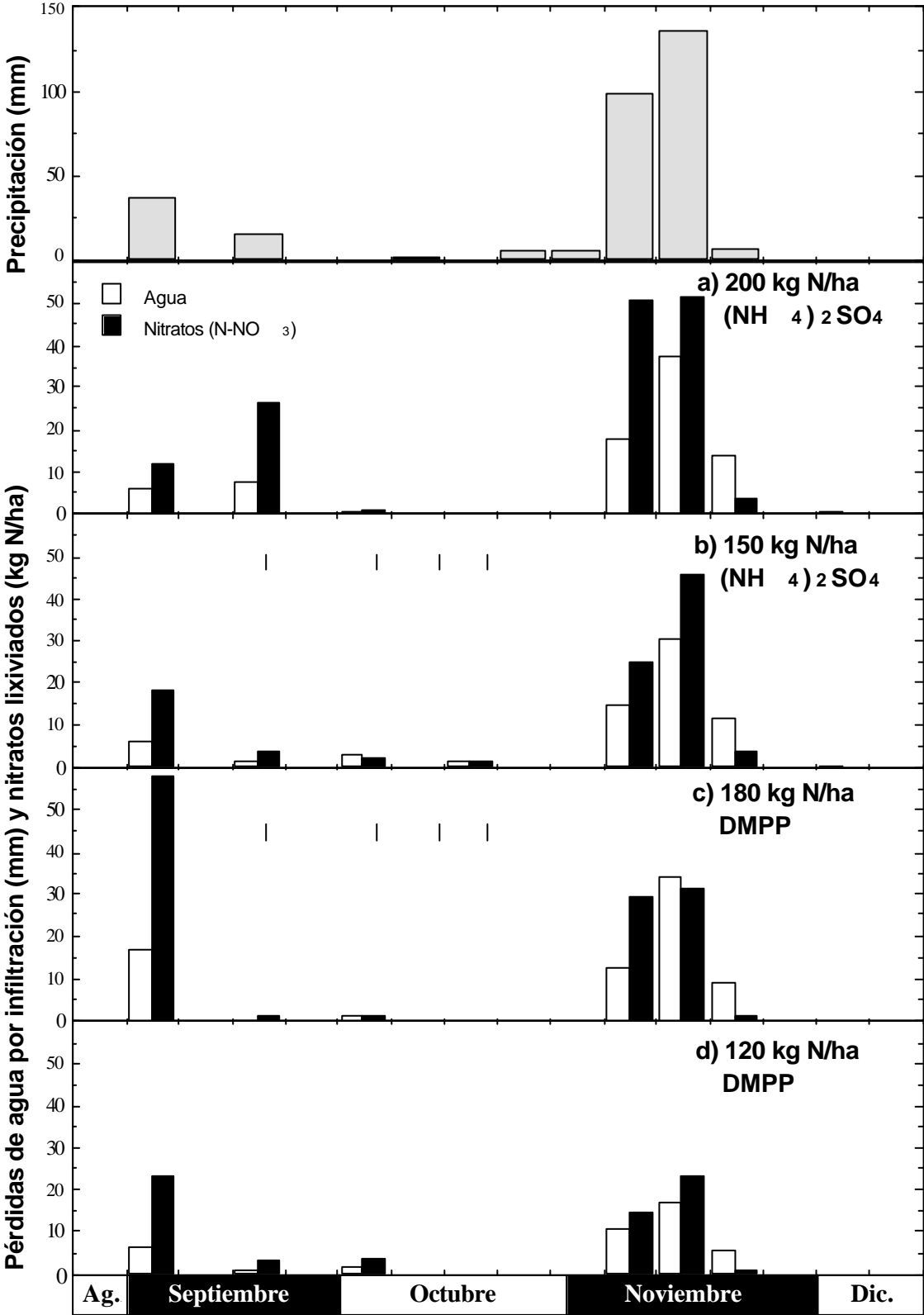
Semanas	T <sup>a</sup> min. (°C)	T <sup>a</sup> max. (°C)	P (mm)
25/08 – 31/08	20,1	32,7	0
01/09 – 07/09	17,6	26,7	37
08/09 – 14/09	15,9	26,3	0
15/09 – 21/09	15,3	24,0	0
22/09 – 28/09	15,8	25,6	15
29/09 – 05/10	16,4	27,0	0
06/10 – 12/10	16,6	26,2	2
13/10 – 19/10	14,5	25,5	0
20/10 – 26/10	13,3	24,0	5
27/10 – 02/11	12,8	23,7	5
03/11 – 09/11	10,6	19,6	98
10/11 – 16/11	9,0	14,1	136
17/11 – 23/11	7,2	16,9	7
24/11 – 30/11	5,4	16,3	0
01/12 – 07/12	5,9	18,0	0
08/12 – 13/12	4,7	14,1	0

El suelo presenta un nivel de fertilidad químico elevado (Tabla 1), destacando el alto contenido en materia orgánica como resultado de aplicaciones periódicas. La aplicación adicional de estiércol realizada antes del cultivo es un complemento importante, asegurando un suministro de nitrógeno de origen orgánico.

El desarrollo del cultivo ha sido satisfactorio. Los niveles de nitratos en el peciolo de las hojas se han mantenido en todo momento con valores elevados sin suponer una limitación aparente para ninguno de los tratamientos (Tabla 3).



Figura 1. Precipitación (mm) y pérdidas de agua por infiltración (mm) y nitratos por lixiviación (kg N/ha). Las flechas indican las aplicaciones de sulfato amónico.



En este cultivo las mayores pérdidas han tenido lugar durante la primera semana del mes de septiembre y a mediados del mes de noviembre, cuando se han producido las lluvias más importantes. Las pérdidas de nitratos en septiembre han sido mayores en los tratamientos

fertilizados con nitrato amónico con inhibidor de la nitrificación ya que éste se aplicó en una sola dosis como fertilización de fondo antes de la plantación. El sulfato amónico, en cambio, se aportó en cobertera en cuatro aplicaciones entre la segunda quincena de septiembre y la segunda quincena de octubre. Las lluvias de noviembre ocurrieron cuando el cultivo ya estaba en senescencia y lavaron gran parte de los nitratos restantes en el suelo.

Cuando hay una previsión de lluvias se pueden ajustar los riegos, evitando los costes asociados al riego y reduciendo los problemas de lavado de nutrientes que puede generar un excedente hídrico. En estos casos el volumen de agua percolada dependerá, sobretodo, de la precipitación.

Las pérdidas totales de nitrógeno (figura 2) están muy relacionadas con las dosis aplicadas y suponen entre un 57 y un 72% de la cantidad de nitrógeno aportado en cada tratamiento, correspondiéndose el porcentaje más bajo con la dosis inferior.

**Figura 2. Pérdidas totales de nitrógeno por lixiviación. Valores medios y error estándar para cada tratamiento de fertilización**

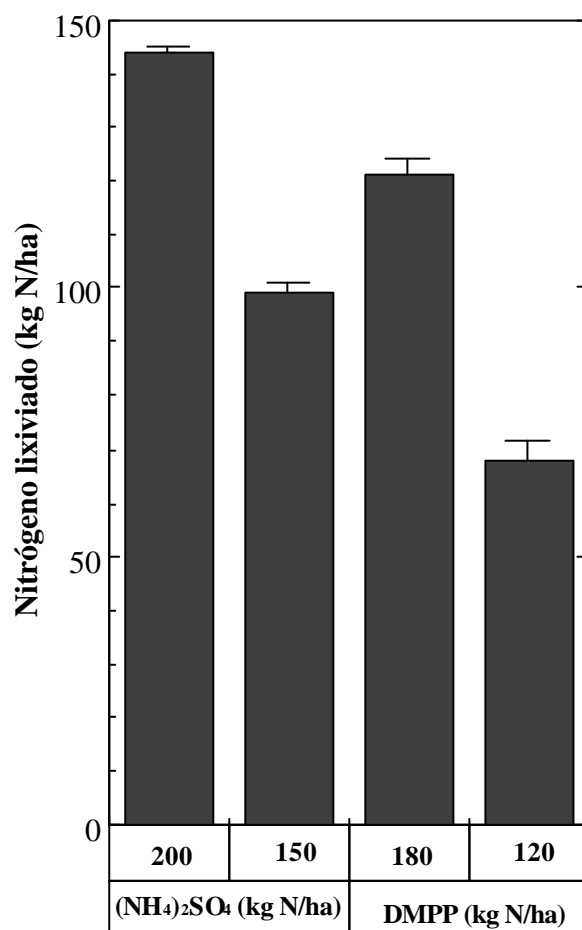
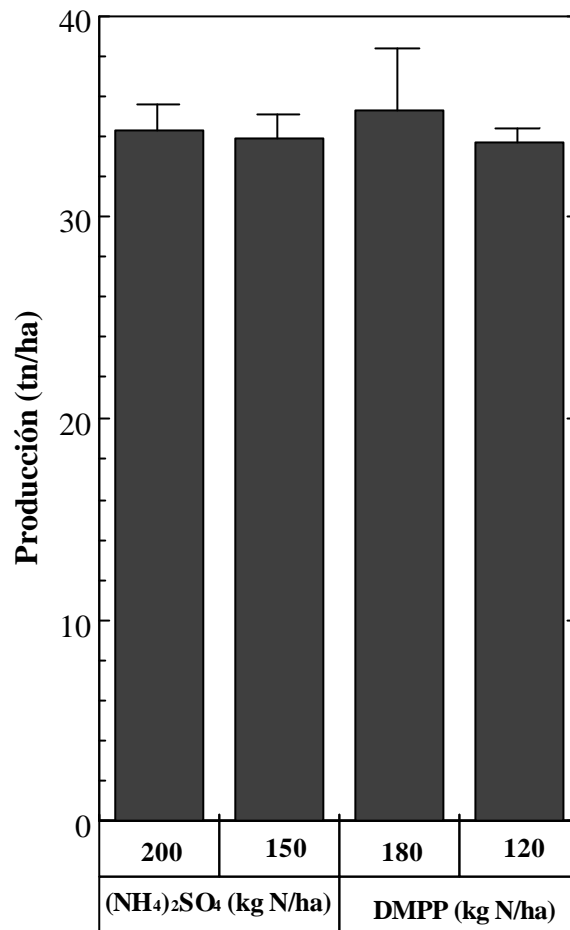


Figura 3. Producción de patata (tn/ha). Valores medios y error estándar para cada tratamiento



Las producciones obtenidas (figura 3) van de 33,81 a 35,36 t/ha y se pueden considerar elevadas para esta época del año. No existen diferencias significativas entre tratamientos dado que el intervalo entre producciones es muy bajo (1,5 t/ha) e inferior a las desviaciones estándar obtenidas en cada caso. Este hecho corrobora los resultados obtenidos en el análisis de peciolo ya que indica que las plantas no han sufrido deficiencias en nitrógeno en ninguno de los tratamientos. Tampoco se han encontrado diferencias en el porcentaje de masa seca de los tubérculos, que oscila entre 13,8 y 14,5%.

El contenido de nitrógeno de los tubérculos varía entre 1,2 y 1,5% sin que haya diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

#### 4. Conclusiones

Las mayores pérdidas de agua y nitrógeno por percolación se dan después de lluvias abundantes, siendo el riego habitual de la zona adecuado para el cultivo y la época del año.

El cultivo ha respondido muy bien a todos los tratamientos obteniendo producciones elevadas y presentando en todo momento un buen estado nutricional. Las dosis de nitrógeno aplicadas, entre fertilización orgánica y mineral, han resultado ser más que suficientes para el cultivo y gran parte de este nitrógeno ha sido lavado por las lluvias ocurridas al final del periodo vegetativo.

La aplicación fraccionada ha supuesto una ventaja evitando las pérdidas de nitrógeno al inicio del cultivo, antes de la máxima demanda. En cambio con este ensayo no se ha podido comprobar la eficiencia del DMPP.

## **5. Bibliografía**

Errebhi, M., C.J. Rosen, S.C. Gupta y D.E. Birong (1998): "Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management", *Agronomy Journal*, vol. 90, 10-15.

Gunasena, H.P.T. y P.M. Harris (1971): "The effect of CCC, nitrogen and potassium on the growth of two varieties of potato", *J. Agric. Sci.* vol. 76, 33-52. (Citado en: Errebhi et al., 1998).

Guyot, P., W. Zerulla y H. Knittel (1990): "Effet du dicyandiamide en tant qu'inhibiteur de nitrification sur l'utilisation de l'azote et le rendement du blé d'hiver", en *Nitrates – Agriculture – Eau. International Symposium organized by Institut National Agronomique Paris – Grignon, Paris – La Défense (France), 7-8 november.*

Laurer, D.A. (1986): "Russet Burbank yield response to sprinkler-applied nitrogen fertilizer", *Am. Potato J.* vol. 63, 61-69. (Citado en Meyer y Marcum, 1998).

Meyer, R.D. y D.B. Marcum (1998): "Potato yield, petiole nitrogen and soil nitrogen response to water and nitrogen", *Agronomy Journal*, vol. 90, 420-429.

Peralta, J.M. y C.O. Stockle (2001): "Dynamics of nitrate leaching under irrigated potato rotation in Washington State: a long-term simulation study", *Agriculture Ecosystems & Environment*, vol. 88, 23-34.

Porter, G.A. y J.A. Sisson (1991) "Response of Russet Burbank and Shepody potatoes to nitrogen fertilizer in two cropping systems", *Am. Potato J.* vol. 68, 425-443. (Citado en Meyer y Marcum, 1998).

Prunty, L. y R. Greenland (1997): "Nitrate leaching using two potato-corn N-fertilizer plans on sady soil", *Agriculture Ecosystems & Environment*, vol. 65, 1-13.

Ramos C., A. Agut, A.L. Lidón (2002): "Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain)", *Enviromental pollution*, vol. 118, 215-223.

Westermann, D.T. y G.E. Kleinkopf (1985): "Nitrogen requirements of potatoes", *Agronomy Journal* vol.77, 616-621. (Citado en: Errebhi et al., 1998).