PROTOCOLO DE ACTUACIÓN PARA EL AJUSTE DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN CULTIVO DE PIMIENTO EN INVERNADERO

R. BAEZA CANO
V. NAVARRO CUESTA
A. FAYOS MOLTÓ
M.ª M. FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ

Centro IFAPA La Mojonera (Almería)

R. THOMPSON

Universidad de Almería (Almería)

RESUMEN

Se ha llevado a cabo un ensayo demostrativo sobre un cultivo de pimiento en invernadero, consistente en el uso de sondas de succión para el control "in situ" de la concentración de ión nitrato en solución de suelo mediante el empleo de dos *test* analíticos, uno colorimétrico y otro reflectométrico.

El objetivo ha sido establecer las bases de un protocolo de actuación, viable para su aplicación en campo por técnicos y agricultores, que permita llevar a cabo un control sobre el aporte de nitrógeno en la fertilización de los cultivos.

Se obtuvieron resultados similares por los dos métodos analíticos empleados, habiendo demostrado ambos ser eficaces para el seguimiento de la evolución de la concentración de NO_3^- en los lixiviados.

El ensayo incluyó la medición de la producción para determinar la influencia de la optimización de la fertirrigación nitrogenada sobre esta.

Palabras clave: *análisis reflectométrico, lixiviación, calidad fruto, fertirrigación, nitratos.*

INTRODUCCIÓN

Prácticamente el 100% de la superficie de cultivo intensivo de la provincia de Almería utiliza la fertirrigación mediante riego por goteo (Sánchez *et al.*, 2001). Este sistema per-

mite optimizar el consumo de agua y fertilizantes, pero si no se realiza un manejo adecuado se tiende a emplear fertilizantes en exceso, lo que da lugar a un aumento de salinidad del suelo, negativo para los cultivos. Suele ser práctica frecuente en los cultivos bajo abrigo de Almería la realización de riegos de lavado de gran dotación que, si bien evitan el anterior problema, provocan la lixiviación de determinados nutrientes, especialmente nitratos, que terminan acumulándose en profundidad, llegando a contaminar aguas subterráneas. Actualmente los acuíferos de la comarca del Campo de Dalías presentan elevados niveles de contaminación por nitratos (Pulido 2005). Estudios previos basados en la evaluación de las prácticas de manejo del riego y de la fertilización nitrogenada empleadas en el sistema almeriense, han demostrado que la lixiviación de nitratos que da lugar a la contaminación de las aguas subterráneas se debe a la acumulación de nitrógeno mineral en el suelo de cultivo originada por una fertilización nitrogenada excesiva, unida a la aplicación de riegos excedentarios (Thompson *et al.*, 2006, Lao *et al.*, 2004).

La mayor parte de la superficie agrícola almeriense ha sido calificada como zona vulnerable a la contaminación por nitratos de origen agrario (figura 1). La legislación establece que en estas zonas será obligatoria la aplicación de un Plan de Actuación que incluya medidas destinadas a limitar el aporte de fertilizantes nitrogenados, lo que hace necesario poner a disposición del sector herramientas que faciliten a los agricultores su cumplimiento (García *et al.*, 2006).

Estudios recientes han demostrado que un manejo controlado del riego y de la fertilización nitrogenada, basado en el mantenimiento de la concentración de NO_3^- en la solución de suelo dentro de unos valores adecuados a las necesidades del cultivo, conjuntamente con un ajuste de las dotaciones de riego, permite reducir la contaminación por nitratos en el subsuelo sin perjudicar el rendimiento ni la calidad de la cosecha (Granados *et al.*, 2005, Jiménez *et al.*, 2004).

Otros estudios han demostrado la efectividad del control de la concentración de ión NO_3^- en la solución de suelo extraída con sondas de succión, utilizando sistemas de análisis rápido (Thompson et al. 2005). Para el cultivo del pimiento dulce en invernadero se ha establecido como rango de trabajo óptimo una concentración de nitratos en la solución del suelo de 8-12 $mmol \cdot L^{-1}$ (Granados et al. 2007). No obstante para aumentar la fiabilidad de los datos obtenidos es necesario disponer de un elevado número de sondas de succión en el suelo de cultivo (Ramos *et al.*, 1999, Lao *et al.*, 2003).

Con objeto de facilitar a los técnicos de campo y agricultores un protocolo de actuación en el manejo de la fertirrigación que minimice las perdidas de nitratos por lixiviación, se plantea la realización del presente ensayo, dentro del proyecto integrado de actividades de Transferencia de Tecnología y Formación al sector de la Horticultura Intensiva (TRANSFORMA Hortícolas). Los objetivos específicos del trabajo son:

- Comprobación de la viabilidad técnica del protocolo de actuación científico propuesto por Granados *et al.*, para el cultivo del pimiento.
- Ajuste de las pautas de manejo propuestas en el protocolo.
- Evaluación de la posible afección a la calidad de la cosecha con el manejo controlado.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el Centro IFAPA La Mojonera, ubicado en el término municipal de La Mojonera (Almería). Se utilizó un invernadero multitúnel de 1.000 m^2 con

cubierta de polietileno tricapa, dos ventanas laterales (norte y sur) y dos cenitales, con orientación este-oeste. Se ha cultivado en un suelo de textura franco-arenosa acolchado con plástico microperforado negro.

Para el aporte de agua y nutrientes se utilizó un sistema de riego por goteo en superficie empleando un cabezal de riego con control automático de pH, conductividad eléctrica y dosificación de fertilizantes. Los goteros (3 $L \cdot h^{-1}$) se han instalado a un marco de 0.5 m de separación entre emisores y 2 m entre líneas.

Se dispuso de un cultivo de pimiento (*Capsicum annum)* cv. "Coyote". El trasplante se realizó con plántulas de 6 semanas el 30 de enero de 2008 con una densidad de plantación de 2 plantas$\cdot m^{-2}$ (2 plantas$\cdot$emisor^{-1}). El ciclo de cultivo tuvo una duración de 167 días.

Se han establecido dos sectores de riego con dos tratamientos distintos de la fertirrigación: manejo convencional (tratamiento **C**) y manejo controlado (tratamiento **N**).

Tratamiento C

a) Control del riego

Para el control del riego se ha elaborado una tabla previa de dosificación del riego haciendo uso del software PrHo (www.fundacioncajamar.es). Una vez enraizado el cultivo se han modificado las frecuencias de riego de acuerdo a la información suministrada por la lectura de dos tensiómetros manuales (Irrometer Co. USA), manteniéndose el potencial mátrico del suelo entre –15 y –25 kPa.

b) Control de la fertilización

Se ha seguido un programa de fertirriego según las prácticas habituales de la zona (Navas *et al.*, 1999, Casas *et al.*, 1999). Se han controlado los niveles de salinidad en el suelo midiendo conductividad eléctrica en la solución del suelo extraída en sondas de succión de cápsula de cerámica porosa.

Tratamiento N

a) Control del riego

Se han seguido los mismos criterios que en el tratamiento **C.**

b) Control de la fertilización

El punto de partida es el mismo que en el tratamiento **C**, pero las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados se han ido corrigiendo durante el ciclo de cultivo, aplicando concentraciones decrecientes desde el 15 de mayo (figuras 2 y 3), intentando ajustar los niveles de NO_3^- en la solución del suelo en el rango 8-12 $mmol \cdot L^{-1}$ (Granados *et al.*, 2007). Para la extracción de la solución del suelo se han utilizado sondas de succión de cerámica porosa (Irrometer Co. USA), instaladas a una profundidad de 20 cm y distanciadas 15 cm desde el gotero (figura 4).

Con una periodicidad semanal se ha recogido la solución de extracto de suelo en un total de 4 puntos por sector, analizándose la concentración de nitrato mediante dos sistemas de análisis rápidos comerciales: un primer método utilizando un reflectómetro portátil (RQFkex, Merck KgaA, Alemania) y tiras analíticas

(Reflectoquant Test Nitrates, Merck KgaA, Alemania) (foto 1); y un segundo método basado en la comparación visual colorimétrica con una plantilla de color de referencia (Kit para Análisis Colorimétrico Nitrat-Test 10/150 $mg \cdot L^{-1}$, Merck KgaA, Alemania) (foto 2).

En cada toma de muestras de extracto de suelo se ha recogido la solución nutritiva utilizada en cada uno de los sectores, siendo analizada igualmente la concentración de nitrato por los dos sistemas de análisis rápidos. Se han contrastado los resultados analíticos obtenidos por estos métodos con los obtenidos en un laboratorio acreditado. Se ha completado la información de la solución nutritiva con análisis de amonio, fosfatos, calcio y potasio.

Tras cada recolección se ha medido la producción en kg y categorías comerciales de cada uno de los sectores para determinar posibles diferencias. Asímismo, en cada una de las recolecciones se han medido los siguientes parámetros de calidad de fruto: peso, longitud, perímetro mayor, grosor de pared y número de cascos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración de nitratos en la solución de suelo obtenida en el tratamiento **C** se mantuvo en torno a valores entre 15 y 25 mM como consecuencia de la aplicación de la pauta de fertirrigación convencional, con 20 mM NO_3^- al final del cultivo. En el tratamiento **N** se hallaron inicialmente similares concentraciones de nitrato que se mantuvieron durante las 12 primeras semanas, hasta que se actuó reduciendo la aportación de fertilizantes nitrogenados. En el extracto del suelo se comenzó a manifestar la disminución de la concentración de nitrato a partir de la 2ª semana tras el inicio de la reducción del aporte en la solución nutritiva, hasta alcanzar una concentración inferior a 8 mM a partir de la 4ª semana (figura 5), para reducirse a la casi total ausencia de ión NO_3^- al final del cultivo.

Los resultados obtenidos al medir las concentraciones de nitrato mediante el método reflectométrico fueron similares a los obtenidos con el colorimétrico (figura 6). Al igual que en otros resultados obtenidos en trabajos anteriores con sondas de succión se aprecia una gran variabilidad entre las diferentes repeticiones, siendo menor la variabilidad entre muestras obtenidas en la misma sonda (figura 7). Cuando los valores absolutos medidos se transforman en porcentaje de incremento respecto al valor inicial determinado en la sonda, la variabilidad entre las diferentes repeticiones disminuye (figura 8).

La producción en kg no mostró diferencias significativas entre un tratamiento y otro (figura 8).

El tiempo medio de análisis en el método colorimétrico fue de 10 minutos para cada muestra, mientras que en el método reflectométrico fue de 2 minutos.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos ratifican los estudios previos realizados en cultivos de hortícolas bajo invernadero, confirmando que un manejo convencional de la fertirrigación nitrogenada mantiene o incrementa los niveles de concentración de ión NO_3^- en suelo. Estos niveles contribuyen a la contaminación de los suelos y acuíferos subterráneos próximos a los cultivos.

La limitación en la aplicación de fertilizantes nitrogenados a través del sistema de fertirrigación ha permitido reducir la concentración de nitrato en solución de suelo hasta niveles admisibles desde el punto de vista de su contribución a la contaminación de suelo y subsuelo, de modo que se pueda garantizar la protección de las aguas de escorrentía y subterráneas.

La variabilidad entre los valores de concentración de NO_3^- medidos en las diferentes sondas de succión dificulta la posibilidad de mantener los niveles dentro de un rango determinado, especialmente si se quiere trabajar a escala comercial con pocas repeticiones. En este estudio se muestra mucho más factible trabajar con variaciones de la concentración de nitratos en las diferentes sondas, más que con los valores absolutos obtenidos en cada una de ellas.

La respuesta en la concentración de nitrato en el extracto del suelo tras la reducción de la fertilización nitrogenada en la solución nutritiva es relativamente rápida para las condiciones del ensayo.

De los dos métodos de análisis rápidos empleados, ambos han demostrado ser adecuados para la determinación de la concentración de ión NO_3^- en la solución de suelo extraída mediante sondas de succión de cerámica, habiendo demostrado también ser de cómoda aplicación en las mismas instalaciones del invernadero. Es conveniente reseñar, sin embargo, que el método colorimétrico resulta más económico, puesto que no requiere la inversión destinada a adquirir el reflectómetro necesario para la lectura de la muestra. Sin embargo el reflectométrico se muestra más rápido en el proceso de análisis.

Como consecuencia se propone la aplicación del control de la fertirrigación nitrogenada mediante la reducción de la cantidad de fertilizantes nitrogenados aportados en el cabezal de riego, intentando mantener una concentración de nitrato en solución de suelo en torno a 8-12 mM, para reducirla a niveles más bajos justo antes de finalizar el ciclo de cultivo.

La aplicación de este protocolo constituye una práctica destinada a minimizar la contribución de los cultivos hortícolas intensivos bajo plástico y en suelo a la contaminación de las aguas por nitratos de origen agrario, que permitirá al sector agrícola cumplir con las obligaciones derivadas de la actual legislación, sin ver perjudicada la productividad de sus cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

CASAS CASTRO, A.; CASAS BARBA, E. (1999). Análisis de suelo, agua, planta y su aplicación en la nutrición de cultivos. Instituto La Rural.

GARCÍA, M.C.; ALONSO, M.M. (2006). Contaminación por nitratos de origen agrario. Revisión legislativa. FIAPA (Almería).

GRANADOS, M.R.; THOMPSON, R.B.; FERNÁNDEZ, M.D.; GALLARDO, M.; GÁZQUEZ, J.C. (2005). Uso de sondas de succión para el manejo de la fertilización nitrogenada en un cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero. I Jornadas del Grupo de Fertilización de la sociedad Española de Ciencias Hortícolas (Valencia).

GRANADOS, M.R.; THOMPSON, R.B.; FERNÁNDEZ, M.D. MARTÍNEZ-GAITÁN, C.; GALLARDO, M.; GIMÉNEZ, C. (2007). Reducing nitrate leaching with a simple model for nitrogen and irrigation management of fertigated vegetable crops. En (EDs.) A Bosh, M.R.Teira, J.M.Villar, "Towards a better efficiency in N use": 373-375. Editorial Milenio.

JIMÉNEZ, S.; LAO, M.T. (2004). Evaluación de la lixiviación de nutrientes con distintos manejos de fertirriego en cultivo de tomate en suelo bajo invernadero (Almería).

LAO, M.T.; JIMÉNEZ, S. (2004). Leaching of nutrients in greenhouse cultivation of tomato crop in the Mediterranean area under different fertirrigation managements. Food, Agriculture & Environment, Vol 2. (Almería).

LAO, M.T.; JIMÉNEZ, S.; EYMAR, E.; FERNÁNDEZ, E.J.; JIMÉNEZ, R. (2003). Determination of spatial variability of nutrient composition of soil solutions in greenhouses by using suction cups. Communications in soil science and plant analysis. Vol 34. (New York).

LAO, M.T.; JIMÉNEZ, S.; EYMAR, E.; FERNÁNDEZ, E.J. (2004). Nutrient levels of the soil solution obtained by means of suction cups in intensive tomato cultivation. Revista Internacional Botánica Experimental FYTON (Argentina).

NAVAS BECERRA, J.A.; LÓPEZ RODRÍGUEZ, M.; ORTIZ BERROCAL, F.; GIL SÁNCHEZ, C.; LIROLA PERALTA, J.; GONZÁLEZ VIZCAÍNO, A.; AGUILAR PÉREZ, M.I.; FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, M. (1999). Cultivos hortícolas I. Técnicas de cultivo. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

PULIDO BOSCH, A. (2005). Recarga en la Sierra de Gádor e hidrogeoquímica de los acuíferos del Campo de Dalías. Estación Experimental Cajamar.

RAMOS, C.; KÜCKE, M. (1999). Revisión crítica de los métodos de medida de la lixiiviación de nitrato en suelos agrícolas. En "Estudios de la zona no saturada del suelo. Eds. R. Muñoz Carpena, A. Ritter, C. Tascón. ICIA Tenerife.

SÁNCHEZ PÉREZ, M.; PÉREZ PARRA, J.J.; MARÍN CARRILLO, G. M.; CÉSPEDES LÓPEZ, A.J. (2001). Estudio de la demanda de inputs auxiliares: producción y manipulación en el sistema productivo agrícola almeriense. Fundación para la Investigación Agraria de la Provincia de Almería (Almería).

THOMPSON, R.B.; GALLARDO, M.; JIMÉNEZ, C. (2002). Assessing risk of nitrate leaching from the horticultural industry of Almeria, Spain. Acta Horticulturae, 571: 243-245.

THOMPSON, R.B.; MARTÍNEZ, C.; LÓPEZ-TORAL, J.; FERNÁNDEZ, M.D.; GALLARDO, M.; JIMÉNEZ, C. (2006). Management factors contributing to nitrate leaching loss from a greenhouse-based intensive vegetable production system. Acta Horticulturae, 700: 179-184.

THOMPSON, R.B.; GALLARDO, M.; SEGOVIA, C.; GRANADOS, M.R. (2005). Aplicación de análisis rápidos de nitrato en savia, soluciones nutritivas y suelo a la mejora de la fertilización nitrogenada en sistemas hortícolas intensivos. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas (Córdoba).

Foto 1. Reflectómetro portátil modelo RQFlex

Foto 2. Kit para análisis colorimétrico Nitrat-Test 10/150 mg·L^{-1}

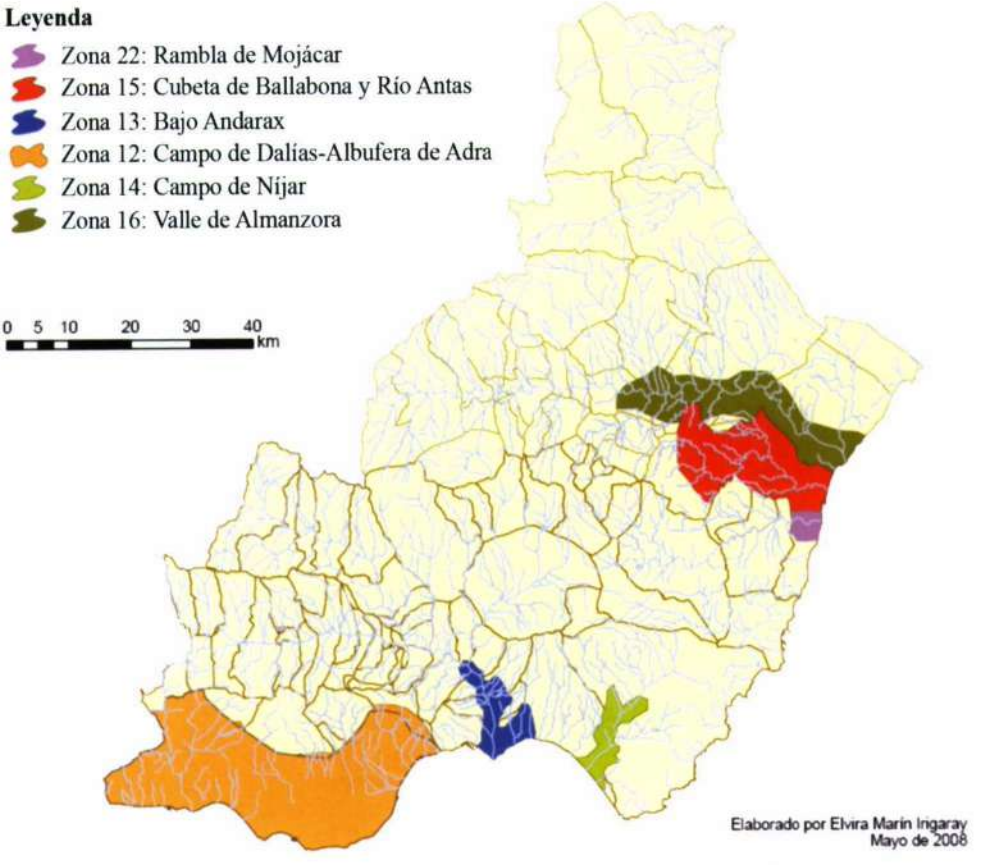

Figura 1. Zonas vulnerables a la contaminación por nitratos de Origen Agrario en Almería

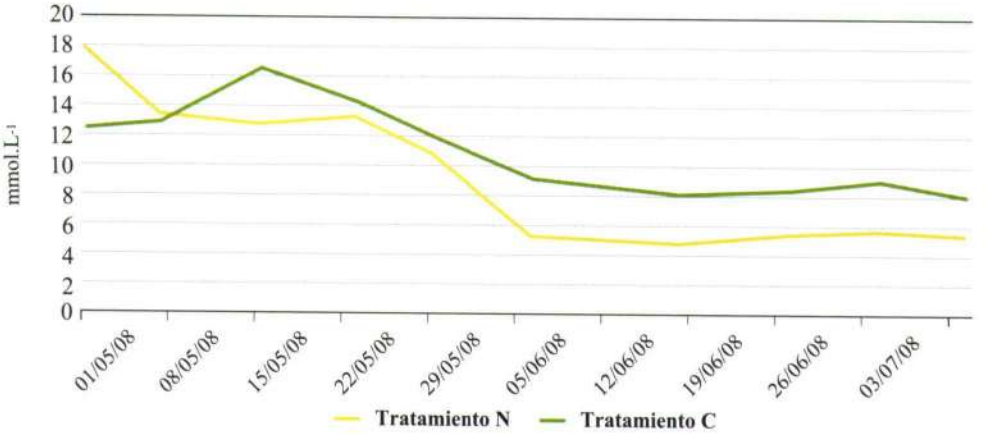

Figura 2. Evolución de la $[NO_3^-]$ en la solución de riego. Método reflectométrico

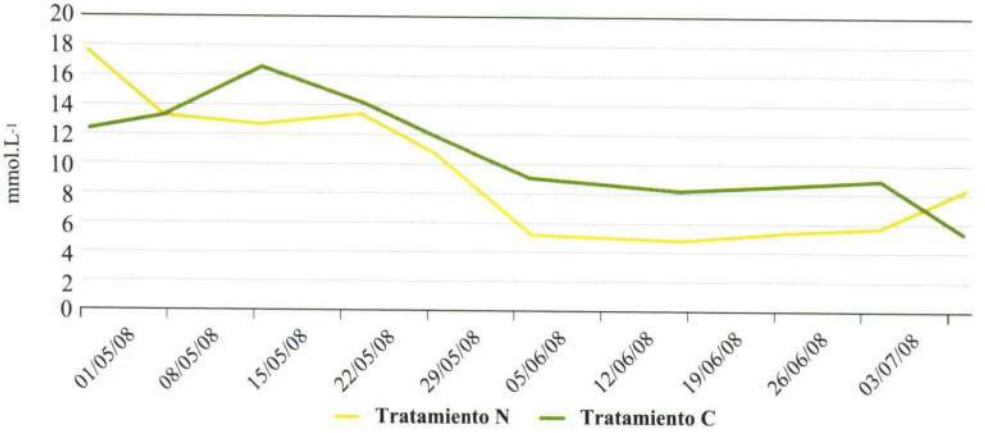

Figura 3. Evolución de la $[NO_3^-]$ en la solución de riego. Método colorimétrico

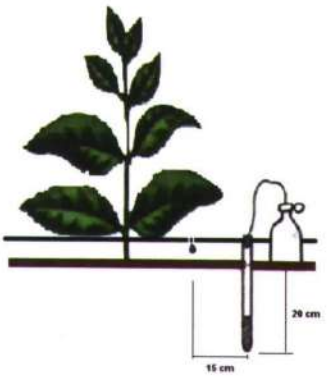

Figura 4. Esquema de instalación de las sondas de succión

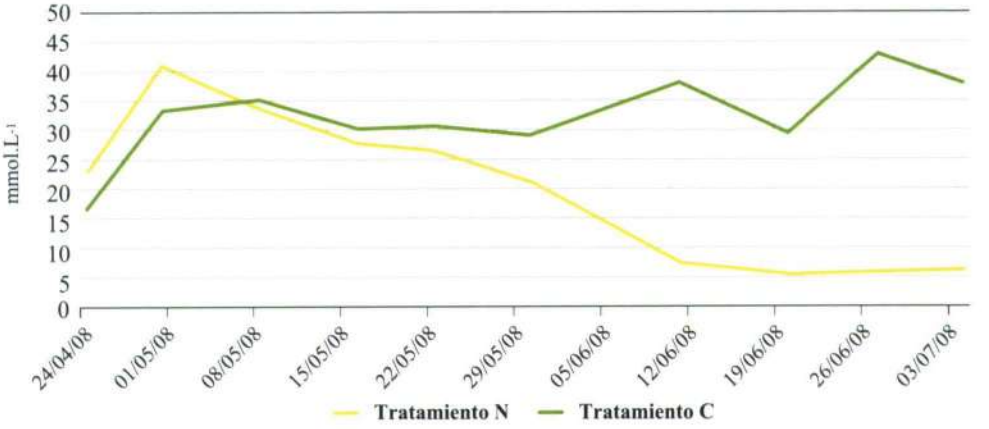

Figura 5. Evolución de la $[NO_3^-]$ en la solución del suelo (mmol·L^{-1}). Método reflectométrico

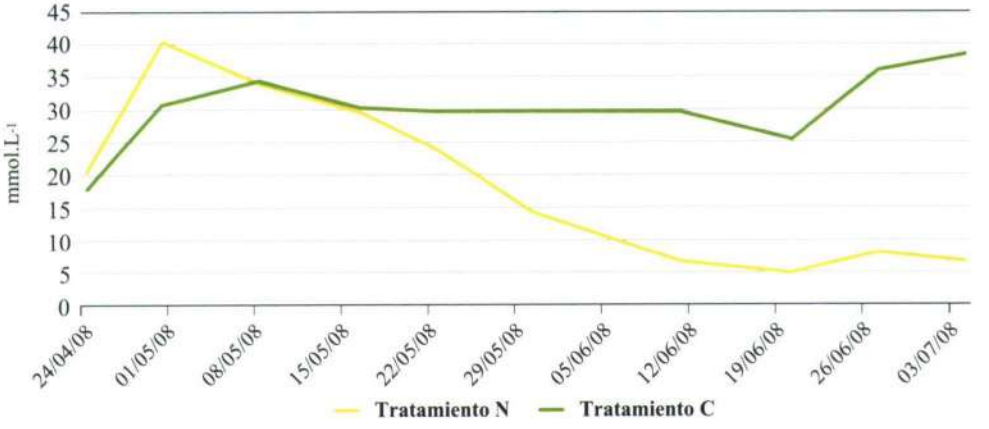

Figura 6. Evolución de la $[NO_3^-]$ en la solución del suelo (mmol·L^{-1}). Método colorimétrico

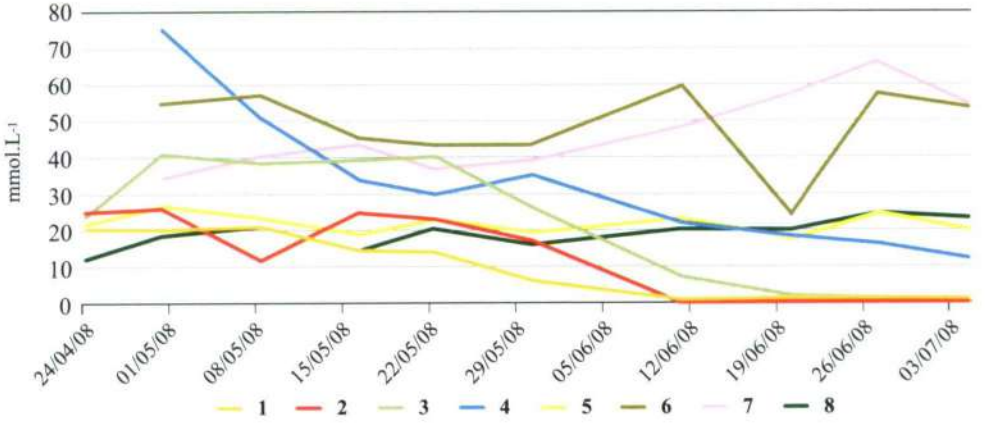

Figura 7. Evolución de la $[NO_3^-]$ en la solución del suelo (mmol·L^{-1}). Método reflectométrico (Sondas 1-4 Tratamiento **C**. Sondas 5-8 Tratamiento **N**)

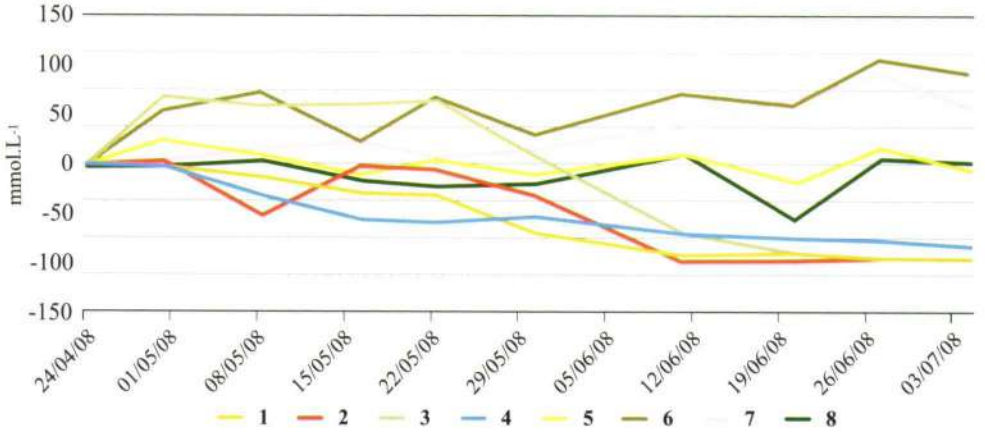

Figura 8. Evolución de los incrementos de la [NO_3^-] en la solución del suelo (% respecto a la concentración inicial). Método reflectométrico (Sondas 1-4 Tratamiento **C**. Sondas 5-8 Tratamiento **N**)

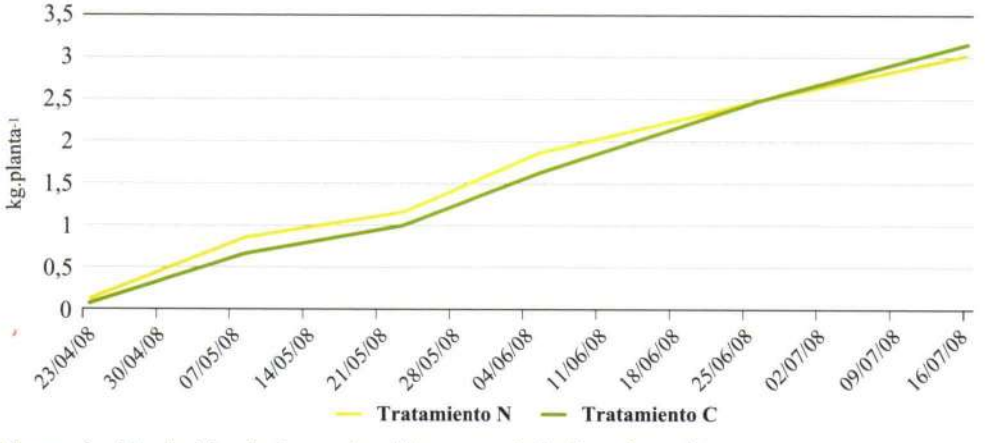

Figura 9. Evolución de la producción acumulada (kg planta^{-1})