

## Uso de sondas de succión para el manejo de la fertilización nitrogenada en un cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero

Granados, M.R.<sup>1</sup>, Thompson, R.B.<sup>2</sup>, Fernández, M.D.<sup>1</sup>, Gallardo, M.<sup>2</sup>, y Gázquez, J.C.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas'. Apdo. 250, 04080 Almería.

<sup>2</sup>Dpto. Producción Vegetal, Universidad de Almería, La Cañada, 04120 Almería.

**Palabras clave:** *Lycopersicon esculentum* L., fertirrigación, lixiviación, nitratos, suelo, enarenado.

### Resumen

En el sistema de producción hortícola bajo invernadero de Almería, un 80% de los cultivos se producen en suelo usando riego por goteo y fertirrigación. El manejo de la fertilización nitrogenada se basa generalmente en la experiencia. En este estudio se han evaluado las sondas de succión como un método para monitorizar y controlar la concentración de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) de la solución del suelo. Se cultivó tomate en dos invernaderos de plástico en un suelo arcillo-limoso, comparándose un tratamiento donde se aplicó una solución nutritiva convencional de la zona (13 mM  $\text{NO}_3^-$ ) con otro en el que se redujo apreciablemente la concentración de  $\text{NO}_3^-$  aplicada (8 mM), a partir del 6 de diciembre de 2004. Las plántulas de 6 semanas se transplantaron el 22 de septiembre de 2004. Tres semanas después del transplante y hasta el final del ciclo, el riego se programó en ambos tratamientos con tensiómetros, habiendo muy poco drenaje en los lisímetros. La solución de suelo se recogió semanalmente con sondas de succión instaladas a 15 cm y 35 cm de profundidad, y a 8 cm de la planta y gotero. Una vez impuestos los dos tratamientos de N, hubo un aumento considerable en la concentración de  $\text{NO}_3^-$  de la solución del suelo en el tratamiento bajo manejo convencional, mientras que en el reducido en N, la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la solución del suelo permaneció relativamente constante. No se encontraron diferencias significativas para la producción total y comercial de tomate, ni en la producción de biomasa de planta al final del ciclo de cultivo. Los resultados de este estudio muestran que las sondas de succión se pueden usar para identificar una fertilización nitrogenada excesiva y para mantener la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en la solución del suelo relativamente constante.

### INTRODUCCIÓN

En la provincia de Almería se concentra una producción hortícola intensiva bajo invernadero que ocupa unas 27.000 ha (Sanjuán, 2004). En la zona del campo de Dalías, donde se encuentra el 80% de la superficie de invernadero de esta provincia, se ha detectado una apreciable concentración de nitratos en los acuíferos superiores (Jiménez et al., 1996), mostrando una tendencia creciente en el tiempo, como consecuencia del sistema actual de producción hortícola. La mayor parte de esta zona ha sido declarada como 'zona vulnerable' a la contaminación por nitratos por el decreto 261/1998 de 15 de diciembre (BOJA nº 5, 12/1/99), de acuerdo con la directiva europea 91/676/CEE (DOCE 375/L, de 31 de diciembre) y el R.D. 261/1996, de 16 de febrero (BOE nº 61, de 16 de febrero) a nivel nacional. Toda zona declarada como vulnerable a la contaminación por nitratos adquiere la obligación de desarrollar prácticas encaminadas a la reducción de esta contaminación. En este sentido la Dirección General de Producción Agraria, hizo público el Código de Buenas Prácticas Agrarias de Andalucía para la protección de acuíferos

contra la contaminación producida por nitratos de origen agrario (BOJA nº 2, 8/1/97). En este sistema de cultivo, el manejo de la fertilización se basa en la experiencia, no siendo frecuente considerar en la planificación de las necesidades de nutrientes la fertilidad del suelo valorada en análisis de suelo o los nutrientes aportados en aplicaciones previas de estiércol (Thompson et al., 2004, en prensa). El cultivo de mayor importancia en esta zona, en términos de superficie cultivada y valor económico, es el tomate (MAPA, 2005).

En sistemas de producción hortícola intensiva, se ha recomendado el empleo de sondas de succión para optimizar el manejo de la fertilización nitrogenada (Hartz et al., 1994). El uso de sondas de succión para este propósito, parece ser muy útil cuando el aporte de nitrógeno al cultivo se realiza de forma continua con cada riego. Una proporción apreciable, que está aumentando rápidamente, de los invernaderos en el sistema de producción hortícola de Almería, utilizan la técnica de fertirrigación, realizando una aplicación continua de nutrientes al cultivo. Además, el uso combinado de sondas de succión y de test analíticos rápidos (Thompson et al., 2002), puede permitirnos conocer de forma casi inmediata, durante el desarrollo del cultivo, si el programa de fertilización nitrogenada que se está llevando a cabo es adecuado, indicándonos si se está produciendo una acumulación de nitratos en el suelo.

Este trabajo se llevó a cabo para evaluar la utilización de sondas de succión en el control del aporte de nitrógeno a un cultivo de tomate.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

El estudio se realizó en dos invernaderos tipo INACRAL localizados en la Estación Experimental de Cajamar 'Las Palmerillas' en El Ejido (Almería). Ambos invernaderos de 24 x 18 metros y orientación este-oeste, tenían una cubierta incolora de polietileno tricapa soportada mediante alambre sobre una estructura metálica. El suelo de los invernaderos era un suelo artificial 'enarenado' típico de la comarca, compuesto por un suelo con textura franco-arcillosa de 25 cm de espesor aportado sobre el suelo original (textura franco-limosa), y sobre el cual se extendía una capa de 10 cm de espesor de arena gruesa. Este suelo se creó en 1995, con la construcción del invernadero.

En Junio de 2003 se añadió estiércol, con un aporte de 1270 kg N ha<sup>-1</sup>. Se utilizó un sistema de riego por goteo superficial. Los goteros (2,8 L h<sup>-1</sup>) fueron colocados a 50 cm, con una distancia de 1 metro entre líneas adyacentes. Los nutrientes fueron aplicados mediante fertirrigación.

En cada uno de los invernaderos se dispuso de un cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* L., cv. Boludo). El transplante se realizó con plántulas de 6 semanas el 22 de septiembre de 2004, colocándose una planta por gotero, a 8 cm del mismo. La densidad de plantación fue de 2 plantas m<sup>-2</sup>. El ciclo de cultivo tuvo una duración en ambos invernaderos de 160 días, finalizando el 2 de marzo de 2005. Durante las 3 primeras semanas después del transplante, el riego se basó en la experiencia local en el cultivo y desde ese momento hasta el final del ciclo en tensiómetros manuales manteniéndose el potencial mátrico del suelo entre -15 y -35 kPa.

En un invernadero se siguió un manejo de nitrógeno convencional (MC), siguiendo las pautas de manejo utilizadas por los agricultores de la zona. En el segundo invernadero se estableció un manejo de nitrógeno con una reducción de 40% en respecto al aporte de nitratos convencional (MRN), que se aplicó desde el 6 diciembre de 2004 hasta el final del ciclo. El manejo del N fue el mismo en los dos invernaderos desde el transplante hasta la imposición de la reducción en la concentración de N, al comienzo de la etapa de recolección. Así, durante las 3 primeras semanas de cultivo se aportó sólo

agua en ambos tratamientos. Después y hasta el 5 de diciembre de 2004, se aplicaron en ambos invernaderos, una solución de 9,5 mM de nitrato y 3,5 mM de amonio (Tabla 1). A partir del 6 diciembre de 2004, las concentraciones aplicadas fueron de 12,9 mM de nitrato y 4,5 mM de amonio en MC y 8,0 mM de nitrato y 3,5 mM de amonio en MRN (Tabla 1).

La solución nutritiva se recogió semanalmente en dos puntos del invernadero, determinándose en la misma la concentración de nitratos y amonio. Los volúmenes de agua y solución nutritiva aplicados fueron controlados mediante un caudalímetro.

La solución del suelo fue extraída semanalmente con sondas de succión instaladas a 15 y 35 cm de profundidad y a 8 cm desde el gotero. Para cada invernadero se dispuso de cinco repeticiones a 15 cm de profundidad con sondas del tipo modelo 1900L12 de Soil Moisture Co., Santa Barbara, CA, EEUU, y de cuatro repeticiones a 35 cm de profundidad con sondas del tipo modelo SSAT-LT-600 de Irrometer Co., Riverside, CA, EEUU. La concentración de nitrato y de amonio en la solución de suelo y en la solución nutritiva se determinaron colorimétricamente utilizando un auto-analizador de flujo segmentado (SKALAR, Holanda).

Tabla 1. Concentración de nitratos y amonio (mM) en el agua de riego y soluciones nutritivas aportadas. MC – manejo convencional, MRN – manejo reducción de nitratos.

Periodo		Etapa	Concentración de N mineral			
Desde	Hasta		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mM)		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mM)	
			MC	MRN	MC	MRN
22/9/04	12/10/04	Establecimiento	0,1	0,1	0	0
13/10/04	5/12/04	Hasta maduración del primer racimo	9,5	9,5	3,5	3,5
6/12/04	2/3/05	Desde primera recolección	12,9	8,0	4,5	3,0

## RESULTADOS

La concentración de nitratos en la solución de suelo a 15 cm de profundidad, en el cultivo MC, aumentó de manera progresiva durante el periodo analizado, alcanzando un nivel máximo de aproximadamente 23 mM, al final del cultivo (Fig. 1). En el manejo MRN, la concentración de nitratos en la solución de suelo se mantuvo relativamente constante (13 mM), durante el periodo bajo tratamientos diferenciales desde el 6 diciembre 2004 al 2 marzo de 2005.

Al inicio del periodo bajo tratamientos diferenciales, la concentración de nitratos en la solución de suelo a 15 cm fue semejante para ambos manejos (Fig. 1). Sin embargo, durante la mayor parte del periodo bajo tratamientos de N diferentes, esta concentración fue claramente mayor en el cultivo MC respecto al cultivo MRN.

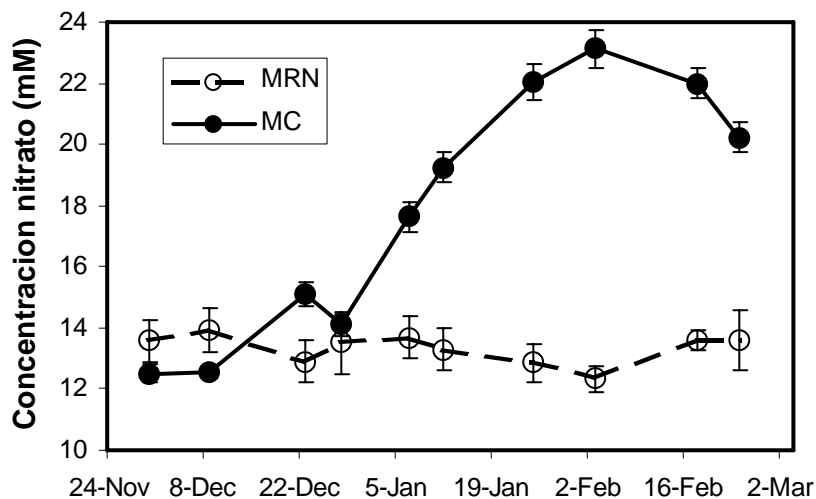


Fig. 1. Concentración de nitratos (mM) en la solución de suelo a lo largo del periodo bajo tratamientos diferenciales, a 15 cm de profundidad, para los cultivos con un manejo convencional (MC) y manejo con reducción de nitratos (MRN). Los valores son promedios de cinco repeticiones. Las barras representan el error estándar de la media.

En cuanto a la concentración en solución de suelo a 35 cm de profundidad (Fig. 2), se aprecia un aumento progresivo durante el periodo de tratamientos de N en el invernadero MC, hasta alcanzar aproximadamente 21 mM al finalizar del ensayo. Respecto al tratamiento MRN, la concentración de nitratos en la solución de suelo extraída a 35 cm se mantuvo constante, y fue equivalente a la obtenida a 15 cm de profundidad para este mismo manejo (Fig. 1).

Al inicio del periodo con tratamientos diferentes y hasta aproximadamente la mitad del mismo, la concentración de nitratos en la solución de suelo a 35 cm de profundidad fue semejante para ambos manejos (Fig. 2). Sin embargo, posteriormente y hasta el final del cultivo esta concentración fue mayor con el manejo MC respecto al manejo MRN.

Durante el periodo experimental, entre el 6 de diciembre de 2004 hasta el 2 de marzo de 2005, hubo solo 5 mm de drenaje en ambos tratamientos (recogido en lisímetros de drenaje) (Granados et al., 2005), indicando que el drenaje y por tanto la lixiviación de nitratos fueron despreciables durante este periodo.

Durante el periodo en estudio, para las dos profundidades consideradas, no se detectó presencia de amonio en la solución de suelo extraída. Hubo cierta variabilidad entre repeticiones de la concentración de nitrato en la solución del suelo, siendo el coeficiente de variación medio de las concentraciones de nitrato en la solución de suelo 13%. Sin embargo, las tendencias seguidas por cada tratamiento fueron claras poniéndose de manifiesto diferencias obvias entre los dos tratamientos.

La producción de fruto total y comercial, así como la producción total de biomasa de planta al final del ciclo de cultivo, no presentó diferencias significativas ( $P < 0,05$ ; ANOVA) respecto a los tratamientos con distinto aporte de nitrógeno en fertirriego (Tabla 2).

Tabla 2. Producción total y comercial de fruto, y producción total de biomasa de planta. MC – manejo convencional, MRN – manejo reducción de nitratos. Los valores son promedio de cuatro repeticiones.

TRATAMIENTOS	FRUTO		PLANTA
	Total (kg m <sup>-2</sup> )	Comercial (kg m <sup>-2</sup> )	Materia seca (g m <sup>-2</sup> )
MC	15,5	14,0	1788
MRN	16,1	14,6	1711

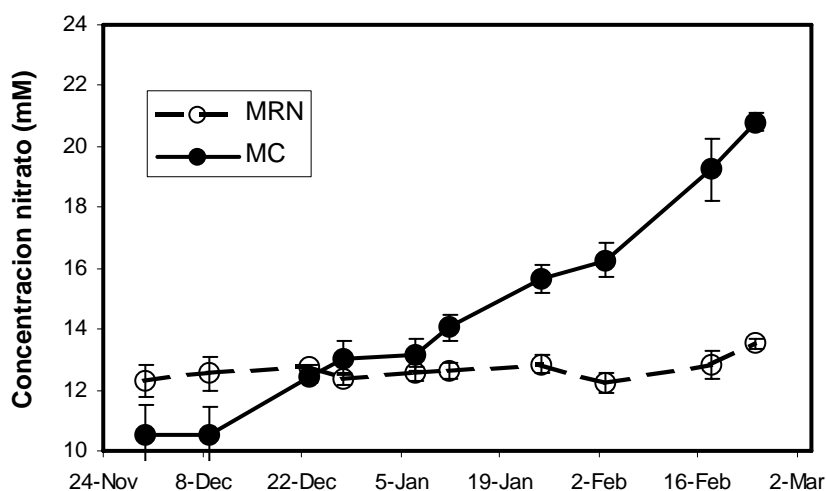


Fig. 2. Concentración de nitratos (mM) en la solución de suelo a lo largo del periodo estudiado, extraída a 35 cm de profundidad, para los cultivos con un manejo convencional (MC) y manejo con reducción de nitratos (MRN). Los valores son promedio de cinco repeticiones. Las barras representan el error estándar de la media.

## DISCUSIÓN

El aumento en la concentración de nitratos en la solución de suelo en el cultivo bajo manejo convencional (MC), es indicativo de un aporte excesivo de nitrógeno mineral, por encima de las necesidades nutricionales del cultivo. En el tratamiento MRN, la concentración de nitrato en la solución del suelo permaneció relativamente constante sugiriendo que las cantidades de fertilizante nitrogenado aplicadas fueron suficientes para satisfacer las necesidades del cultivo. La producción total y comercial de fruto, así como la producción total de biomasa de planta, no se vio afectada por los distintos tratamientos. Estos datos sugieren que el análisis de la evolución de la concentración de nitrato del suelo puede ser útil para determinar si las aplicaciones de N son adecuadas o excesivas.

La concentración de nitrato en la solución del suelo en el tratamiento MRN fueron generalmente 12–14 mM, lo cual es consistente con las concentraciones de N aplicadas en soluciones nutritivas en cultivos hidropónicos en cultivos hortícolas. Por eso, se asume que dichas concentraciones son generalmente adecuadas para la producción de cultivos hortícolas. Hartz et al. (1994) han sugerido que valores de 6 mM de nitrato en la solución del suelo son adecuados para cultivos bajo riego por aspersión; estos autores sugieren que

cuando se emplean sistemas de riego localizados como el goteo se requieren valores superiores.

El aumento progresivo de la concentración de nitrato en la solución del suelo en MC es indicativo de una acumulación de nitrato en el perfil del suelo. Esta acumulación de nitrato es susceptible de ser lixiviada durante riegos posteriores con un elevado volumen de agua como son, (i) los riegos para la desinfección del suelo, o el riego aplicado en los días previos al trasplante para asegurar una adecuada humedad del suelo o (ii) durante las primeras semanas tras el trasplante cuando los riegos suelen ser superiores a las necesidades de los cultivos (Thompson, en prensa).

En el tratamiento MRN, la concentración de nitrato en la solución del suelo a 15 cm de profundidad fue muy similar a la correspondiente a 35 cm indicando que la solución del suelo en la parte superior del perfil y dentro del bulbo de riego fue relativamente constante en este tratamiento. En el tratamiento MC, hubo de forma consistente una mayor concentración de nitrato a 15 cm que a 35 cm. La diferencia puede ser atribuida a dos factores, (i) a mayor acumulación en las proximidades de la superficie del suelo a causa de la pequeña cantidad de drenaje, y (ii) a mayores volúmenes de solución extraídos en las sondas a 15 cm. El pequeño volumen recogido a 35 cm podría presumiblemente contener solución del suelo de la zona más próxima al gotero, y el mayor volumen recogido a 15 cm, podría contener mas solución de suelo de la zona de los bordes del bulbo húmedo donde las sales suelen estar mas concentradas.

La variabilidad observada entre repeticiones que es característica de las sondas de succión (Grossmann y Udluft, 1991) es atribuida a la variabilidad en las propiedades físicas y químicas del suelo y también a la heterogeneidad en la distribución del agua y nutrientes en el suelo que esta asociada con riego por goteo. Una fuente de variación considerable encontrada en este estudio, que retrasó la imposición de los tratamientos de N fue el efecto de la entrada de lluvia en el invernadero en varios puntos del mismo. Cuando se emplean sondas de succión es muy importante asegurarse que se instalen en zonas representativas de la parcela o el invernadero a seguir; en caso contrario, el elevado grado de variabilidad puede dificultar la interpretación de los datos.

## **CONCLUSIONES**

Los resultados de este estudio sugieren que el seguimiento a lo largo del cultivo de la concentración de nitratos de la solución del suelo mediante el uso de sondas de succión es válido para determinar si la fertilización nitrogenada es adecuada o excesiva.

## **Agradecimientos**

Este estudio ha sido financiado por el proyecto AGL2004-07399 del Ministerio de Educación y Ciencia.

## **Referencias**

- Granados, M.R.; Thompson, R.B.; Fernández, M.D.; Gallardo, M.; Gázquez, J.C., 2005. Pérdida de nitratos por lixiviación de un cultivo de tomate en suelo bajo condiciones de invernadero. Actas del XXIII Congreso de Riegos y Drenajes, 14-16 de Junio, Elche (Alicante).
- Grossmann, J.; Udluft, P., 1991. The extraction of soil water by the suction-cup method: a review. *Journal of Soil Science*, 42: 83-93.
- Hartz, T.K.; Smith, R.F., Schulbach, F.F.; Lestrangle, M., 1994. On-farm nitrogen tests improve fertilizer efficiency. *Calif. Agric.* 48 (4): 29-32.

- Jiménez Espinosa, R.; Pulido Bosch, A., 1996. Influencia de la agricultura intensiva en el contenido de nitratos de las aguas del Campo de Dalías: evolución temporal y espacial. *Geogaceta*, 20 (6):1281-1284.
- MAPA, 2005. Anuario de estadística agroalimentaria 2003. En: <http://www.mapya.es>.
- Sanjuan, J.F., 2004. Estudio multitemporal sobre la evolución de la superficie invernada en la provincia de Almería por términos municipales desde 1984 hasta 2004, mediante teledetección de imágenes thematic mapper de los satélites Landsat V y VII. Ed. FIAPA
- Thompson, R.B., Gallardo, M., Segovia, C. 2002. Evaluation Of Two Systems For Rapid, On-Farm Nitrate Measurement In Fertigation Solutions, Plant Sap And Extracted Soil Solution. En "Book of Proceedings of the VII Congress of the European Society for Agronomy", pp. 417–419. Celebrado en Córdoba, España. 15–18 de julio de 2002.
- Thompson, R.B.; Martínez, C.; López-Toral, J.; Fernández, M.D.; Gallardo, M.; Ginemez, C.; (2004). Management factors contributing to nitrate leaching loss from a greenhouse-based intensive vegetable production system. Proceedings of International Society of Horticultural Science Symposium "Towards Ecologically Sound Fertilization Strategies for Field Vegetable Production", Perugia, Italia. 7-10 junio.