CONCENTRACIONES DE ABSORCIÓN DE NUTRIENTES EN TOMATE: INFLUENCIA DEL CICLO DE CULTIVO Y DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS

M. PARRA
I. MOLINA
V. RAYA
M. C. CID

EIH Santa Lucía de Tirajana-ICIA (Las Palmas)

RESUMEN

Con el fin de realizar un buen ajuste de la fertirrigación en función de las necesidades hídrica y nutritiva de un cultivo de tomate, que además nos permitiera el ahorro de agua y fertilizantes, se determinaron las concentraciones de absorción de los macronutrientes a lo largo de un ciclo de cultivo.

La entrada en producción del cultivo influye de manera importante en la concentración de absorción de nutrientes, aumentando la relación K^+/Ca^{2+} desde 1.2 hasta 3 al inicio de la recolección. En la fase de equilibrio entre crecimiento vegetativo y producción hay una cierta estabilidad en las concentraciones de absorción de todos los nutrientes hasta llegar al momento del despunte donde disminuyen de manera considerable.

Las concentraciones de absorción de nutrientes fueron mayores durante las horas de menor radiación solar y menor déficit de presión de vapor (DPV) coincidiendo con un menor consumo hídrico de la planta, lo que se tradujo en concentraciones de absorción nocturnas entre 1.6-2.5 veces mayores que las diurnas, dependiendo de cada nutriente.

Palabras Clave: *cultivo sin suelo, recirculación, nutrición.*

INTRODUCCIÓN

Generalmente en los programas de fertirrigación se suelen usar formulaciones estándar referidas a un cultivo en unas condiciones determinadas. Sin embargo, al intentar adaptar estas recetas en otras condiciones suelen producirse ciertos desfases

entre la composición o concentración de nutrientes en la solución nutritiva y los requerimientos reales de la planta. Un mejor conocimiento de los factores que determinan la absorción de agua y nutrientes, así como de las interacciones entre ellos, es un requisito fundamental hacia un mejor ajuste de la fertirrigación (Gómez *et al.*, 2003). La transpiración, que es el parámetro que promueve la absorción de agua, depende de muchos factores como la radiación solar, temperatura del aire, humedad, área foliar, concentración de CO_2 y velocidad del viento (Van Kooten *et al.*, 2004). Pero es, sobre todo, la radiación solar el parámetro que muestra una relación lineal con la absorción de agua (Salas *et al.*, 2000 y Van Kooten *et al.*, 2004), hecho que no ocurre con la fotosíntesis. Además, según el estado de desarrollo del cultivo hay diferencias en las tasa de absorción de cada nutriente (Voogt, 1993 y Adams *et al.*, 1995). Por lo tanto, es necesario tener en cuenta las variaciones en la concentración de absorción de nutrientes (cantidad de nutriente absorbido por volumen de agua consumida) con las condiciones climáticas y el estado de desarrollo del cultivo, único modo de poder adaptar la composición de la solución nutritiva a las exigencias de las plantas, y de lograr un sistema de gestión de la nutrición no solo efectivo sino, también, eficiente. Este mejor conocimiento de los requerimientos de la planta nos permitiría optimizar programas de recirculación de la solución nutritiva en cultivo sin suelo adaptados a nuestras condiciones, con el consiguiente ahorro en agua y nutrientes y reducción de los vertidos de lixiviados al subsuelo procedentes del cultivo a solución perdida.

MATERIAL Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en un invernadero tipo raspa y amagado de 500 m^2, orientación E-O, con cubierta de polietileno de 800 galgas, 4 m a canal y 5,5 m a cumbrera. El invernadero disponía de ventanas laterales y cenitales protegidas por malla cuya apertura y cierre era controlado por un programador de clima (foto 1). Se utilizaron plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Boludo (Seminis) injertadas sobre el híbrido interespecífico Beaufort (De Ruiter).

Se determinó, por un lado, la evolución de las concentraciones de absorción de los macronutrientes a lo largo del ciclo de cultivo en períodos semanales y, por otro lado, la evolución de la concentración en cuatro períodos horarios a lo largo de un día (de 8:00 a 12:00, de 12:00 a 16:00, de 16:00 a 20:00 y durante la noche).

Para la obtención de las concentraciones de absorción (mmol de nutriente absorbido por L de agua consumida), se cultivaron plantas en hidroponía pura utilizando depósitos individuales con solución nutritiva provistos de un sistema de aireación. En función del período de estudio (semanal u horario), la capacidad del depósito utilizado era de 20 L o de 5 L (foto 2). Cada período comenzaba con el llenado de los depósitos con solución nutritiva de volumen y composición química conocidos (tabla 1) y al final del mismo se determinaba el volumen restante y su concentración.

El transplante se realizó el 6 de septiembre de 2007 y el cultivo se mantuvo hasta el 6 de mayo de 2008. Las plantas se dejaron a dos tallos y los contenedores se distanciaron lo necesario para mantener la misma densidad de plantación que en el resto del invernadero, 2.5 tallos·m^{-2}. La conducción de tallos se realizó con entutorado alto y descuelgue tipo holandés. A lo largo del cultivo, se realizaron las prácticas culturales habituales en la producción comercial de tomate para exportación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia del clima y estado de desarrollo del cultivo en la concentración de absorción

En las figuras 1 y 2 se observa la evolución de las concentraciones de absorción de nutrientes a lo largo del ciclo de cultivo.

Entre las semanas 4 y 7 después del transplante (sdt) se observó una reducción en la concentración de absorción de todos los macronutrientes hasta alcanzar valores mínimos. A partir de este momento las concentraciones de absorción comenzaron a aumentar coincidiendo con la fase de crecimiento rápido de los primeros frutos. En potasio este aumento se inició una semana antes y fue mucho más notable que en el resto de los nutrientes, coincidiendo lo observado por Voogt, 1993 y Adams *et al.*, 1995. En consecuencia, la relación $K^+/(Ca^{2+}+Mg^{2+})$ fue aumentado desde las primeras semanas después del transplante, alcanzando al inicio de la recolección valores por encima de 2 (figura 3). El fosfato, en cambio, tuvo un brusco descenso en las primeras semanas manteniéndose posteriormente en torno a 0.7 $mmol \cdot L^{-1}$ hasta el final del ciclo. Desde el inicio de la recolección y hasta principios de marzo las concentraciones de absorción de todos los elementos mostraron valores más o menos constantes para después disminuir hacia el final del cultivo coincidiendo con el despunte de las plantas y el aumento en la demanda evaporativa del ambiente. En la tabla 2 se muestra un resumen de los intervalos de variación de la concentración de absorción de los macronutrientes en tres períodos del cultivo: desde el transplante hasta el comienzo de la recolección, desde el inicio de la recolección hasta el despunte y desde el despunte hasta el final del cultivo.

Evolución diaria de las concentraciones de absorción

En el ensayo horario, realizado a las 25 sdt, se observó que el consumo de agua por la planta se incrementaba al aumentar la demanda evaporativa del ambiente (DPV) y la radiación solar incidente (figura 4 A y B) siendo este último el factor que mostró una mejor correlación, con un coeficiente de determinación $R^2= 0.870$, mayor incluso que el encontrado por Van Kooten *et al.* (2004) en ensayos de pepino cultivado en invernadero ($R^2= 0.657$).

En cuanto a las concentraciones de absorción de macronutrientes, la evolución diaria mostró un mínimo en las horas centrales del día (coincidiendo con valores altos de DPV) y máximos de absorción durante la tarde y noche (figura 5). Para la mayoría de los nutrientes la variación en la concentración de absorción a lo largo del día fue del orden de $\pm$ 2 $mmol \cdot L^{-1}$, aunque para el calcio la oscilación fue mayor, en torno a 4 $mmol \cdot L^{-1}$. Esta correlación negativa entre DPV y concentración de absorción se debe a la independencia de los procesos fisiológicos de absorción de agua y nutrientes, ya que mientras que la transpiración de la planta crece con el DPV y el nivel de radiación incidente, la absorción de nutrientes es un proceso independiente y complejo, controlado básicamente por los niveles de asimilados, ATP y reguladores de crecimiento disponibles en las raíces (Marschner, 1995). Además, los incrementos de DPV en condiciones de elevada temperatura, pueden provocar que la tasa de crecimiento y la absorción de nutrientes, se vean afectadas negativamente si la temperatura resulta excesiva (Sonneveld, 2002).

Cuando se compararon las concentraciones de absorción de nutrientes durante períodos completos diurno (08:00-20:00) y nocturno (20:00-08:00) se observó que éstas aumentaron de forma considerable durante la noche, siendo entre 1.6-2.5 veces superiores a las concentraciones de absorción diurnas (figura 6), coincidiendo con lo estudiado por Terabayashi *et al.* (1991), quien además observó diferencias en la relación noche/día según el estado de desarrollo de la planta. Este consumo nocturno de nutrientes sería muy útil en determinados momentos como, por ejemplo, para aumentar la traslocación de calcio al fruto en épocas de alta demanda evaporativa diurna. En este sentido, Tachibana (1991) observó que aunque la tasa de absorción de calcio y su traslocación al tallo no difiere entre el día y la noche, el transporte de calcio al fruto es mucho mayor durante la noche.

CONCLUSIONES

La determinación de las concentraciones de absorción y el conocimiento de su evolución a lo largo del ciclo de cultivo, en función del estado de desarrollo de la planta y la climatología de la zona, permitirán establecer pautas y estrategias de nutrición que ayudarán a conseguir una mayor eficiencia en el uso del agua y fertilizantes.

Dentro de las 10 sdt, las variaciones en la concentración de absorción de los diferentes nutrientes estuvieron influenciadas, principalmente, por el inicio de la fase productiva aumentando, sobre todo, la de potasio. El momento del despunte (31 sdt) marcó la reducción en la concentración de absorción de todos los elementos coincidiendo además con el aumento en la demanda evaporativa.

La variación diaria en la concentración de absorción de nutrientes (hasta 4 $mmol \cdot L^{-1}$ para el calcio) es muy dependiente de la demanda evaporativa del ambiente, con máximos de absorción coincidiendo con mínimos de DPV y viceversa, lo que habría que tener en cuenta a la hora de ajustar el programa de fertirrigación diario.

BIBLIOGRAFÍA

ADAMS, P; HO, L.C. (1995). Uptake and distribution of nutrients in relation to tomato fruit quality. Acta Horticultarae, 412: 374-387.

GÓMEZ, M.D.; BAILLE, A.; GONZÁLEZ-REAL, M.M.; MERCADER, J.M. (2003). Comparative analysis of water and nutrient uptake of glasshouse cucumber grown in NFT and perlite. Acta Horticulturae, 614: 175-180.

MARSCHNER, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. The Netherlands.

SALAS, M.C.; URRESTARAZU, M.; VALERA, D. (2000). Daily water uptake of a tomato crop grown by NFT under semi arid conditions as affected by solar radiation and other environmental factors. Acta Horticulturae, 537: 249-252.

SONNEVELD, C. (2002). Composition of nutrient solutions. p. 179-210. En: Savvas, D. and Passam, H. (eds). Hydroponic production of vegetables and ornamentals. Embryo Publications. Athens.

TACHIBANA, S. (1991). Import of calcium by tomatoe fruit in relation to the day-night periodicity. Scientia Horticulturae, 45: 235-243.

TERABAYASHI, S.; TAKII, K.; NAMIKI, T. (1991). Variation in diurnal uptake of water and nutrients by tomato plants of different growth stages grown in water culture. J. Japan Soc. Hort. Sci., 59(4): 751-755.
VAN KOOTEN, O.; HEUVELINK, EP.; STANGHELLINI, C. (2004). Nutrient supply in soilless culture: on-demand strategies. Acta Horticulturae, 659: 533-539.
VOOGT, W. (1993). Nutrient uptake of year round tomato crops. Acta Horticulturae, 339: 99-112.

AGRADECIMIENTOS

Este ensayo ha sido financiado por ICIA (Instituto Canario de Investigaciones Agrarias), INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria) proyecto RTA2006-00157-00-00, con contribución de fondos FEDER.

Foto 1. Vista general del invernadero raspa y amagado

Foto 2. Plantas en contenedores individuales de 20 L (izquierda) y 5 L (derecha)

Tabla 1. Composición de la solución nutritiva de partida

pH	CE	Concentración (mmol·L^{-1})							
	(ds·m^{-1})	NO_3^-	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HPO_4^{2-}	SO_4^{2-}	Na^+	Cl^-
5.7	2-2.3	6.0-8.9	4.0-5.8	3.0-3.8	1.2-2.3	1.3-1.8	1.5-2.5	5.2-7.5	5.3-6.2

Tabla 2. Concentraciones de absorción de nutrientes y desviación en tres períodos del cultivo: A) desde transplante a inicio recolección, B) desde inicio recolección hasta despunte y C) desde despunte a final de cultivo

Concentraciones de absorción (mmol·L^{-1})			
	A	B	C
NO_3^-	7.1 ± 0.9	6.8 ± 0.3	4.2 ± 0.7
K^+	4.4 ± 0.3	5.2 ± 0.2	2.6 ± 0.5
Ca^{2+}	3.0 ± 0.4	2.1 ± 0.1	1.7 ± 0.4
Mg^{2+}	1.0 ± 0.2	0.6 ± 0.1	0.3 ± 0.1
HPO_4^{2-}	1.6 ± 0.4	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.1
SO_4^{2-}	0.6 ± 0.1	0.7 ± 0.0	0.6 ± 0.1

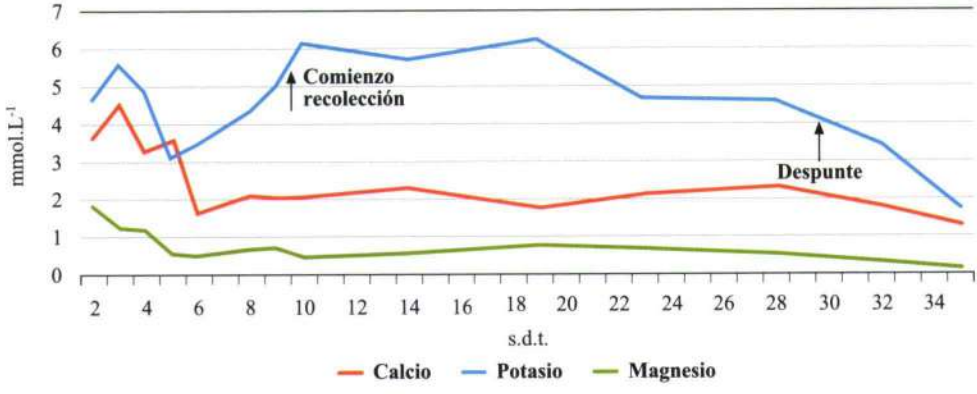

Figura 1. Evolución de la concentración de absorción de potasio, calcio y magnesio durante el ciclo de cultivo. SDT (semanas después del transplante)

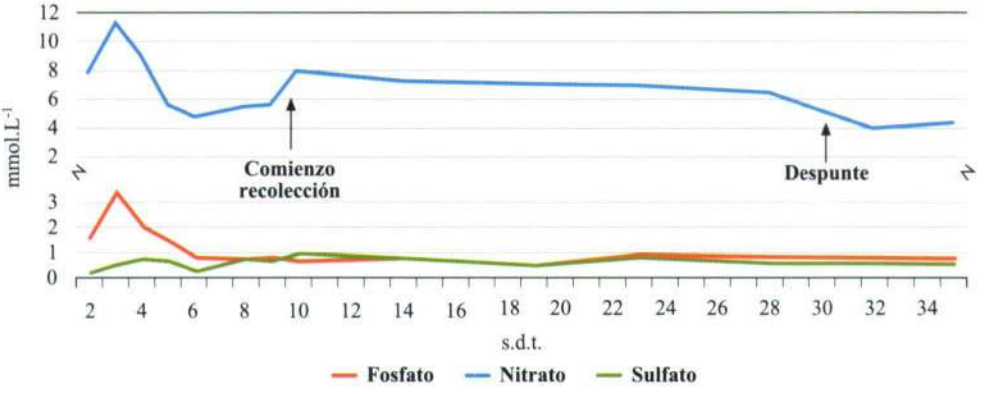

Figura 2. Evolución de la concentración de absorción de nitrato, fosfato y sulfato durante el ciclo de cultivo. SDT (semanas después del transplante)

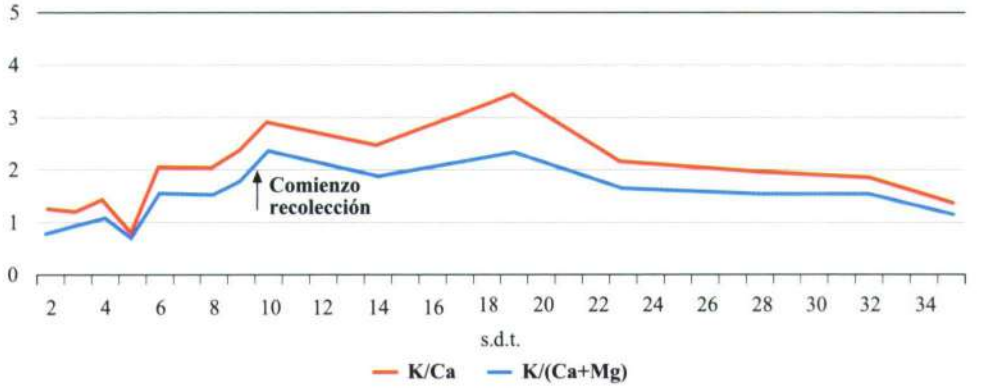

Figura 3. Evolución de las relaciones K^+/Ca^{2+} y $K^+/(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ durante el período de cultivo. SDT (semanas después del transplante)

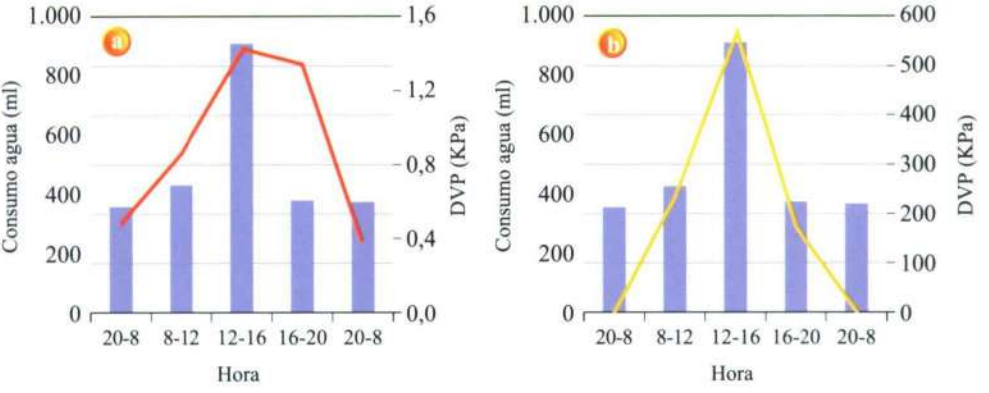

Figura 4. Evolución del consumo de agua por la planta a lo largo de un día (27 febrero, 25 SDT) en relación al déficit de presión de vapor (A) y Radiación Solar incidente (B) en el interior del invernadero

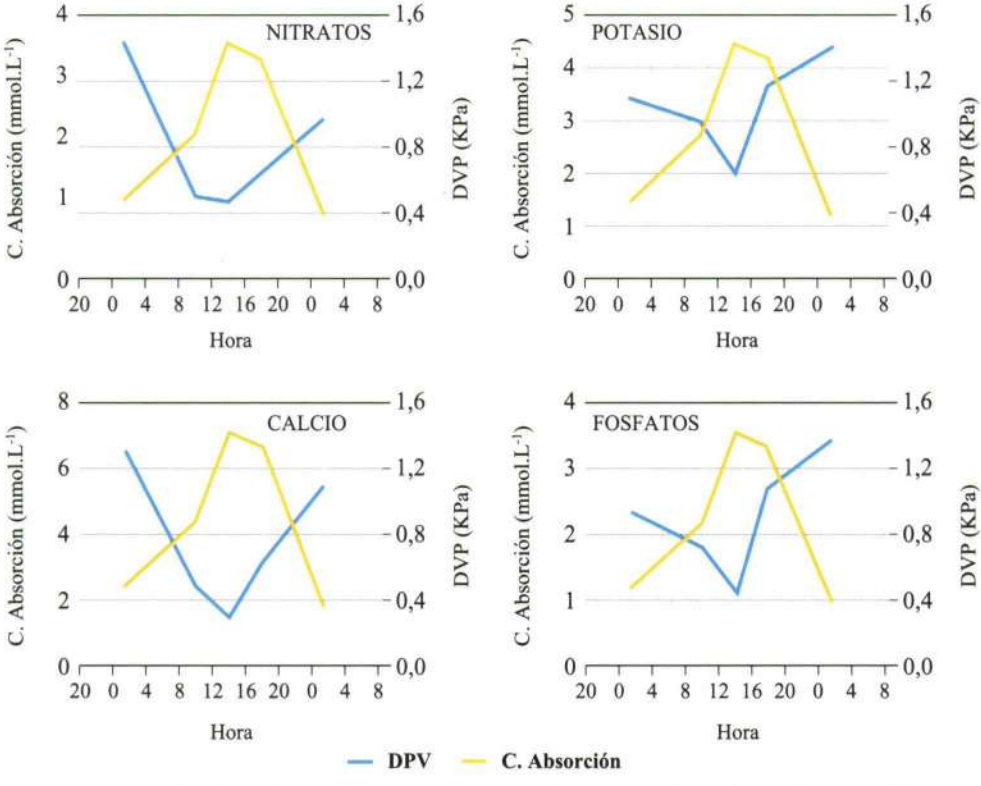

Figura 5. Evolución diaria de las concentraciones de absorción de los diferentes macronutrientes 25 SDT, junto con el DPV

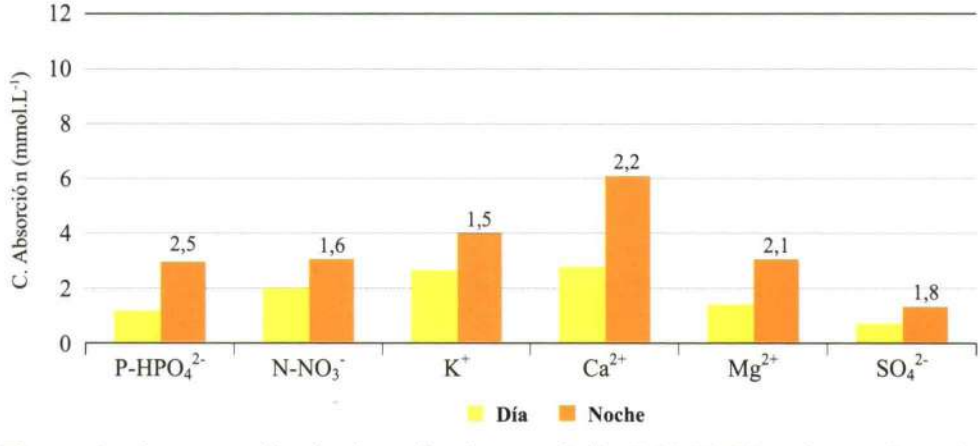

Figura 6. Concentración de absorción durante el día (8:00-20:00) y durante la noche (20:00-8:00) a las 25 SDT (27 feb).

* Los valores encima de las columnas indican el aumento del período nocturno respecto al diurno