

RESPUESTA DEL TOMATE PARA PROCESO AL RIEGO PARCIAL DE LA RAÍZ

Response of Processing Tomato to Partial Rootzone Irrigation

Jorge A. Zegbe^{1‡}, M. Hossein Behboudian² y Brent E. Clothier³

RESUMEN

La escasez de agua para riego es un factor que limita la producción mundial. Prácticas orientadas al ahorro del agua para la agricultura son necesarias. El riego parcial de la raíz (RPR) podría ser una opción. Para valorar esta práctica, se estudiaron dos factores. El primer factor fue el sistema de riego de dos tipos: riego por gravedad (RG) y riego por goteo (RGo). El segundo factor fue la forma de aplicar el riego con dos niveles: el riego completo de la raíz (RCR) y el RPR. Este último consistió en aplicar 50% del agua dada en RCR y regando alternadamente la mitad del sistema radicular en cada riego. Se estudiaron cuatro tratamientos en total y sus efectos sobre el intercambio gaseoso, el estado hídrico de la planta y el rendimiento del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) para proceso cv. Petopride. En general, los sistemas de riego no influyeron significativamente en el intercambio gaseoso o el estado hídrico de la hoja. Sin embargo, el RPR tendió a reducir el potencial hídrico en la hoja, comparado con el RCR. Los factores estudiados no afectaron el número de frutos, el peso medio fresco del fruto o el rendimiento. El RPR incrementó la eficiencia en el uso del agua en 73%, comparado con el RCR. No se observó presencia de pudrición apical del fruto. El RPR puede ser una alternativa factible en el ahorro de agua para la producción de tomate para proceso y para ambientes agroecológicos con restricción de agua para riego.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum* Mill., ahorro de agua, riego por gravedad y por goteo, rendimiento, calidad de fruto.

SUMMARY

Water shortage for irrigation is a limiting factor for worldwide agricultural production. Water saving practices in agriculture are needed. Partial rootzone irrigation (RPR) could be an option in saving water. To assess this practice, two factors were studied. The first was the type of irrigation system: furrow irrigation (RG) and drip irrigation (RGo). The second was the irrigation method, which included two levels: full irrigation on both sides of the root system (RCR) and RPR. RPR consisted of giving 50% of the water supplied in RCR and irrigating alternately half of the root system in each irrigation. In total four treatments and their effect on gas exchange, plant water status, and yield were studied in processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Petopride. In general, irrigation systems did not influence gas exchange or leaf water status. However, RPR tended to reduce leaf water potential compared with RCR. The factors studied did not affect number of fruit, mean fresh fruit weight, or yield. RPR increased water use efficiency by 73% compared with RCR. Incidence of blossom-end rot was not observed. RPR may be a feasible water-saving practice for processing tomato production and for agro-ecological environments with limited water supply.

Index words: *Lycopersicon esculentum* Mill., water saving, furrow and drip irrigation, yield, fruit quality.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso escaso en el mundo (Postel, 1998) y, por consiguiente, existe la urgente necesidad en desarrollar y adoptar prácticas eficientes en el ahorro de agua para riego. Esto se debe a que 85% del agua

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Zacatecas, Calera de V. R., Zac., 98500 México.

[‡] Autor responsable (jzegbe@inifapzac.sagarpa.gob.mx)

² Institute of Natural Resources (INR 433), Massey University, Palmerston North, New Zealand.

³ HortResearch. Private Bag 11 030, Palmerston North, New Zealand.

dulce del mundo se usa en el riego de tierras agrícolas (van Schilfhaar, 1994). Una reducción en agua para riego podría incrementar la disponibilidad de ésta para otros propósitos (Obreza *et al.*, 1996). En particular, esto es importante en la producción de tomate, ya que este cultivo ocupa la mayor superficie cultivada en el mundo (Ho, 1996.). El riego parcial de la raíz (RPR) es un término adoptado como sinónimo de Partial Rootzone Drying, concepto introducido por Dry y Loveys (1998). El RPR es una estrategia potencial en el ahorro de agua para riego (aproximadamente 50%) donde sólo una parte del sistema radicular se riega alternadamente y su complemento se deja sin riego, hasta un determinado nivel de abatimiento de la humedad en el suelo (Stoll *et al.*, 2000). Se estima que el RPR podría mantener el rendimiento similar a plantas bien regadas (Loveys *et al.*, 2000). Esto se basa en que el potencial hídrico de plantas bajo RPR se equilibre con la parte de la rizosfera que se encuentra en el suelo húmedo (Hsiao, 1990) y, por lo tanto, sea similar a plantas con riego completo.

El RPR es una forma de riego deficitario (RD). Uno de los problemas relacionados con RD en tomate es el desarrollo de pudrición apical de fruto (Adams y Ho, 1992; Obreza *et al.*, 1996). Este desorden fisiológico se induce presumiblemente por un lento transporte de calcio y su baja acumulación en la parte distal del fruto (Bangerth, 1979). Además de otros factores, los sistemas de riego también se han involucrado en la promoción de este problema (Carrizo *et al.*, 1983). Así, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del RPR usando dos sistemas de riego sobre el intercambio gaseoso, el estado hídrico de la planta y el rendimiento del tomate para proceso cv. Petopride. El riego por gravedad y el riego por goteo se usan ampliamente en la producción de tomate (Phene, 1999). Por consiguiente, se consideró la hipótesis de que el RPR podría producir respuestas diferentes debido a los sistemas de riego utilizados, ya que éstos inducen distintos patrones de crecimiento de raíz (Oliveira y Calado, 1996) y de comunicación de la raíz con la parte aérea de la planta (Davies *et al.*, 2002).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio Experimental

El experimento se condujo en invernadero en la Unidad de Crecimiento de Plantas en la Universidad de Massey, Palmerston North (40° 2' S y 175° 4' E), Nueva Zelanda. Los umbrales de temperatura para

la ventilación (25 °C) y calentamiento (15 °C) se activaron automáticamente. El periodo de estudio fue de marzo a agosto de 2002. Semillas de tomate para proceso, cultivar Petopride, se sembraron el 18 de marzo de 2002. Treinta y ocho días después de la siembra (DDS), plantas sanas y uniformes en tamaño se trasplantaron en doce cajas de madera, con cuatro compartimientos (0.60 m largo x 0.60 m ancho x 0.20 m alto) cada caja, donde se trasplantó una planta por compartimiento. El movimiento lateral del agua se evitó colocando centralmente una pieza de madera (0.60 m largo x 0.025 m ancho x 0.05 m alto) en la base de cada compartimiento. Cada compartimiento se aisló con una película de polietileno negro de 125 µm de espesor y se perforó lateralmente en la base, para permitir el drenaje (Figura 1). El medio de cultivo fue una mezcla de corteza de árbol:piedra pómez:hojarasca en una proporción de 60:30:10 por volumen. Las plantas se fertilizaron (180 g por compartimiento) con una mezcla 1:2 (peso:peso) de fertilizante de rápida y lenta liberación: Osmocote 15 N-4.8 P-10.8 K y Osmocote 16 N-3.5 P-10 K, respectivamente (Scotts Australia Pty. Ltd., Baulkam Hills, NSW, Australia).

Estructura Experimental

Los factores estudiados fueron el sistema de riego y el modo del riego. Los niveles del primer factor fueron el riego por gravedad (RG) y el riego por goteo (RGo). El segundo factor fue la forma de aplicar el riego a la raíz (o suelo), con dos tipos: el riego completo de la raíz (RCR) y el riego parcial de la raíz (RPR). Este último consistió en aplicar de manera alterna, a la mitad del sistema radicular, 50% del agua aplicada en RCR en cada riego. La combinación de los niveles de los factores generó cuatro tratamientos. Las plantas bajo el sistema de RG con RPR o RCR se regaron una vez al día, a las 17:00 horas, con 0.6 L y 1.2 L en promedio, respectivamente. El riego se dio manualmente, con una regadera convencional (simulando gravedad) a 10 cm de separación del tallo principal, cubriendo una área de 0.60 x 0.20 m y evitando mojar el follaje. La misma cantidad de agua se aplicó a las plantas bajo el sistema de RGo con RPR o RCR, pero la mitad de ésta se dio a las 10:00 horas y la otra mitad a las 17:00 horas mediante un sistema de riego por goteo automatizado. Para aplicar el agua en aquellas plantas bajo RGo con RPR, se instalaron dos líneas de riego y se operaron de manera individual. Dos emisores (uno por cada línea), con

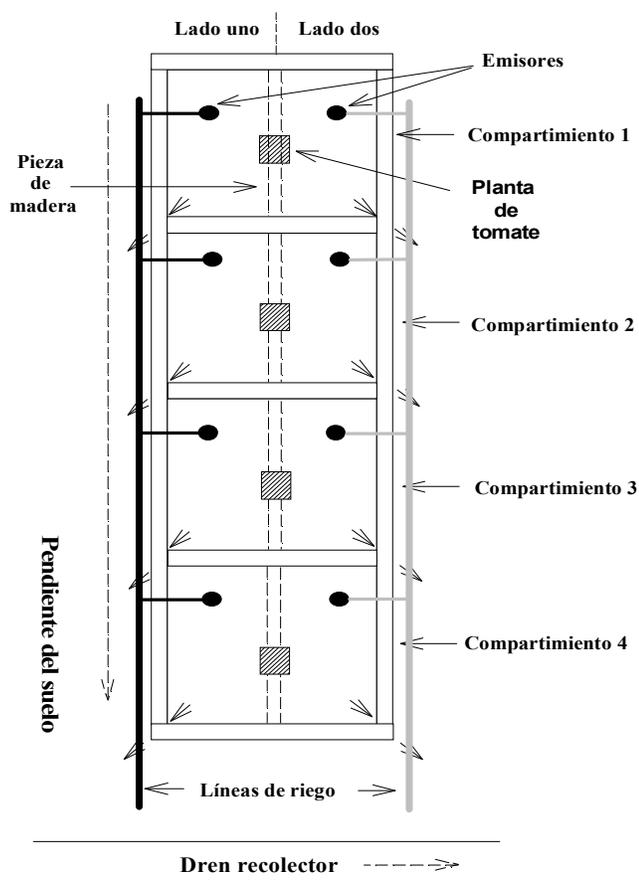


Figura 1. Descripción de una de las cajas de madera usadas en el experimento. Las flechas anguladas indican drenes en cada compartimiento.

una descarga de 4 L h^{-1} , se colocaron a 15 cm del tallo principal. En RPR, independientemente del sistema de riego, el agua se aplicó todos los días en forma alternada del lado húmedo al lado seco (lado uno y lado dos, respectivamente). En total, al final de la estación de crecimiento, 65 L y 130 L de agua por planta se aplicaron a las plantas bajo RPR y RCR, en ese orden.

Contenido Volumétrico del Agua en el Suelo y Potencial Hídrico de la Planta

Al principio, el contenido volumétrico del agua en el suelo (θ) no se registró de manera continua entre el transplante y los 130 DDS, sólo se verificó esporádicamente. También se utilizó información obtenida en experimentos establecidos con anterioridad durante la misma estación del año (otoño-invierno en el hemisferio sur) y la fenología del cultivo. En esos ensayos se determinó que la suspensión del riego por un día

se reflejó en un abatimiento de 50% de humedad para ese suelo sintético (Zegbe, 2006). Por otro lado, si bien la evaporación es un proceso dinámico, para las condiciones locales, ésta permaneció baja y constante durante esa época, debido a la nubosidad, la baja temperatura y la poca radiación solar. Los valores de evaporación promedio diario para el verano e invierno fueron de 5.3 mm y 1.7 mm, respectivamente. Sin embargo, se observó algo de drenaje en todos los tratamientos. Por consiguiente, los valores relacionados con la eficiencia en el uso del agua se subestimaron, ya que éstos se calcularon con el número de litros de agua aplicados por planta durante el crecimiento de cultivo y no a través de un balance hídrico. Posteriormente, la θ registró todos los días, antes y después de cada riego, en ambos lados de la planta, a 20 cm de profundidad y a 5 cm de distancia de los emisores, en las plantas bajo RGo, y a 15 cm de distancia del tallo principal, en las plantas bajo RG. Esta información se obtuvo por reflectometría (TDR, Trase System-Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA) dentro de los 60 minutos posteriores al último riego (17:00 horas). El volumen a aplicar se estimó con mediciones de θ antes de aplicar el riego y se ajustó mediante curvas de volúmenes de agua conocidos para el suelo usado. La capacidad de campo ($\theta = 0.25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) para el medio utilizado, se determinó antes de establecer el experimento.

Intercambio Gaseoso

La conductancia estomática, la tasa transpiratoria, la tasa fotosintética y la radiación fotosintética activa se obtuvieron con un medidor portátil de fotosíntesis (LI-6200, LICOR, Lincoln, NE, USA). Lo anterior se hizo, por planta, entre las 13.30 y 14.30 horas, en dos hojas maduras y expuestas a la radiación solar. Las mediciones se hicieron a 73, 117, 141 y 161 DDS.

Potencial Hídrico

El potencial hídrico se registró en dos hojas maduras y expuestas a la radiación solar usando una bomba de presión (Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA). Las mediciones se hicieron a las 6:00, 9:00, 12:00, 15:00 y 18:00 horas en hojas vecinas a aquéllas usadas en la determinación del intercambio gaseoso en los mismos DDS.

Rendimiento y Componentes de Rendimiento

Los frutos de cada planta se contaron y pesaron. Después, cada fruto se rebanó en mitades y se secó a 85 °C, hasta peso constante, para determinar el rendimiento con base en peso seco. El resto de la planta, excluyendo raíces, se colectó, pesó y secó a 70 °C, hasta peso constante. El índice de cosecha se obtuvo dividiendo el rendimiento de materia seca del fruto por el peso seco total de la planta. El tamaño de la fruta, en términos de peso medio del fruto, se obtuvo dividiendo el peso fresco de todos los frutos por el número de frutos por planta.

Análisis de los Datos

Los datos se analizaron a través de un modelo lineal factorial 2 x 2, usando el procedimiento GLM (General Linear Model) del Sistema de Análisis Estadístico versión

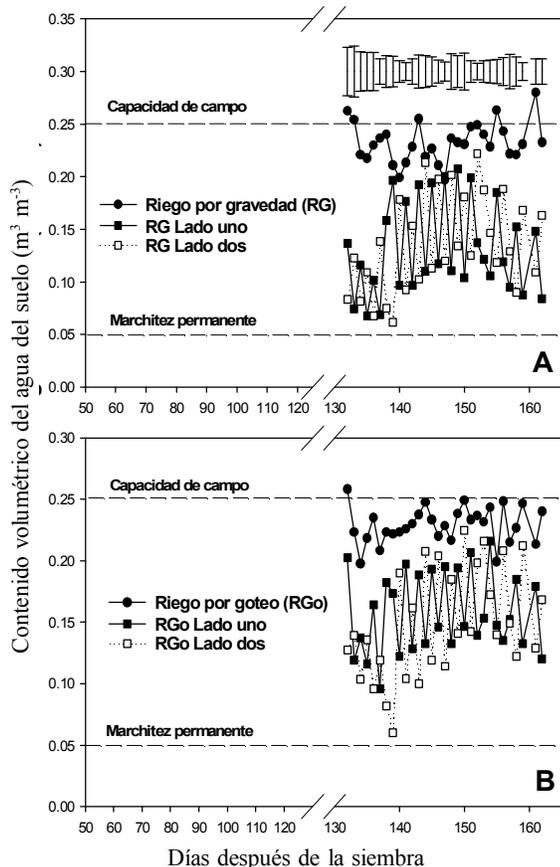


Figura 2. Cambios en el contenido volumétrico del agua en el suelo (θ) para los sistemas de riego por gravedad (A) y goteo (B). Cada lado del sistema radicular de plantas sometidas a riego parcial de la raíz tuvo un valor alto o bajo de θ , lo cual dependió de si un lado se regó o no. Las barras verticales en A representan la diferencia mínima significativa (DMS), según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

8.2 (SAS Institute, Cary, NC, USA). Para estabilizar la varianza, las transformaciones arcoseno y la raíz cuadrada se usaron en el análisis de θ y número de frutos, respectivamente. Las medias de tratamiento se separaron por la diferencia mínima significativa, usando la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSION

Contenido Volumétrico del Agua en el Suelo

El contenido volumétrico del agua en el suelo (θ) con riego completo de la raíz (RCR) osciló entre 0.20 y 0.28 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ en los sistemas de riego por gravedad y por goteo (Figura 2A, B). Sin embargo, independientemente del sistema de riego, el contenido de humedad con riego parcial de la raíz (RPR o del suelo) dependió de si un lado se irrigó o no (Figura 2A, B). Este resultado es coincidente con aquéllos logrados en plantas cuyos sistemas radiculares se dividieron y colocaron separadamente en macetas independientes (Stoll *et al.*, 2000; Sobeih *et al.*, 2004). Sin embargo, lo propuesto por estos autores resulta impráctico, desde el punto de vista comercial. En contraste, el resultado que ahora se presenta demuestra que el RPR podría llevarse a cabo sin necesidad de dividir la raíz.

Intercambio Gaseoso y Potencial Hídrico

La interacción de los niveles de los factores y los efectos principales debido al sistema de riego o a la forma de riego no tuvieron influencia significativa ($P \leq 0.05$) sobre la conductancia estomática (Cuadro 1). En consecuencia, ni la tasa transpiratoria ni la de asimilación de CO_2 se modificaron. Debido al sistema de riego usado, sólo en una ocasión la conductancia estomática se redujo significativamente ($P \leq 0.05$), en 8.7% en las plantas bajo riego por goteo, con respecto a aquéllas regadas por gravedad, a 117 DDS (Cuadro 1), pero tal reducción en la conductancia estomática no influyó en el intercambio gaseoso, como lo han sugerido Gowing *et al.* (1990) y Davies *et al.* (2002).

Otro de los beneficios, debido al RPR, es que el cierre parcial de los estomas, que no se observó en este experimento, reduce la transpiración y mantiene el potencial hídrico en las hojas (Ψ_{hoja}) en valores similares a los de plantas cuyo sistema radicular se ha regado completamente (Sobeih *et al.*, 2004). En este estudio, el Ψ_{hoja} no se alteró significativamente ($P \leq 0.05$) por

Cuadro 1. Conductancia estomática, transpiración y fotosíntesis en respuesta a los efectos principales e interacción de los factores sistemas de riego y forma de riego.

DDS	Sistema de riego (SR)		Forma de riego (FR)		SR x FR
	Gravedad	Goteo	Completa	Parcial	
Conductancia estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)					
73	1.51a [†]	1.52a	1.61a	1.42a	NS
117	1.15a	1.05b	1.12a	1.07a	NS
141	1.48a	1.52a	1.65a	1.36a	NS
161	0.78a	0.90a	0.87a	0.81a	NS
Transpiración ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)					
73	10.2a	09.8a	10.2a	09.9a	NS
117	11.5a	10.3a	10.7a	11.0a	NS
141	16.0a	15.0a	15.8a	15.2a	NS
161	13.2a	14.3a	13.9a	13.5a	NS
Fotosíntesis ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)					
73	6.9a	4.2a	5.4a	5.6a	NS
117	5.4a	7.0a	6.0a	6.4a	NS
141	5.2a	7.9a	7.5a	7.6a	NS
161	8.2a	8.9a	9.5a	7.7a	NS

[†]Valores medios con la misma letra dentro de hileras son estadísticamente iguales, según la DMS (Tukey, $P \leq 0.05$); NS: no significativo; DDS: días después de la siembra.

la interacción los niveles de los factores estudiados. En general, el efecto principal de la forma de regar la raíz tampoco modificó significativamente ($P \leq 0.05$) el Ψ_{hoja} , con excepción de cuando esta variable se redujo significativamente con el RPR, a las 9 y 12 horas a 141 DDS (Figura 3C). Esta reducción no rebasó el umbral crítico del Ψ_{hoja} (< -1 MPa) que teóricamente induciría el cierre estomático en esta especie vegetal (Duniway, 1971).

Un aspecto que debe resaltarse, que últimamente se ha observado en Chile (*Capsicum* sp.) (Dorji *et al.*, 2005) y en tomate (Zegbe *et al.*, 2006), es que el Ψ_{hoja} en las plantas bajo RPR tiende a disminuir en relación con el Ψ_{hoja} de las plantas con RCR, lo cual fue más claro a 117, 141 y 161 DDS (Figura 3B-D). Este fenómeno puede deberse a dos tipos de demanda por agua: una, asociada con la elongación del fruto, y otra, debido a la atmósfera [déficit de presión de vapor (DPV)]. No se tomaron datos de DPV, pero los datos de la transpiración sugieren que hubo un buen acoplamiento entre ésta y el DPV. Sin embargo, otra interrogante surge: ¿cómo regando sólo una parte

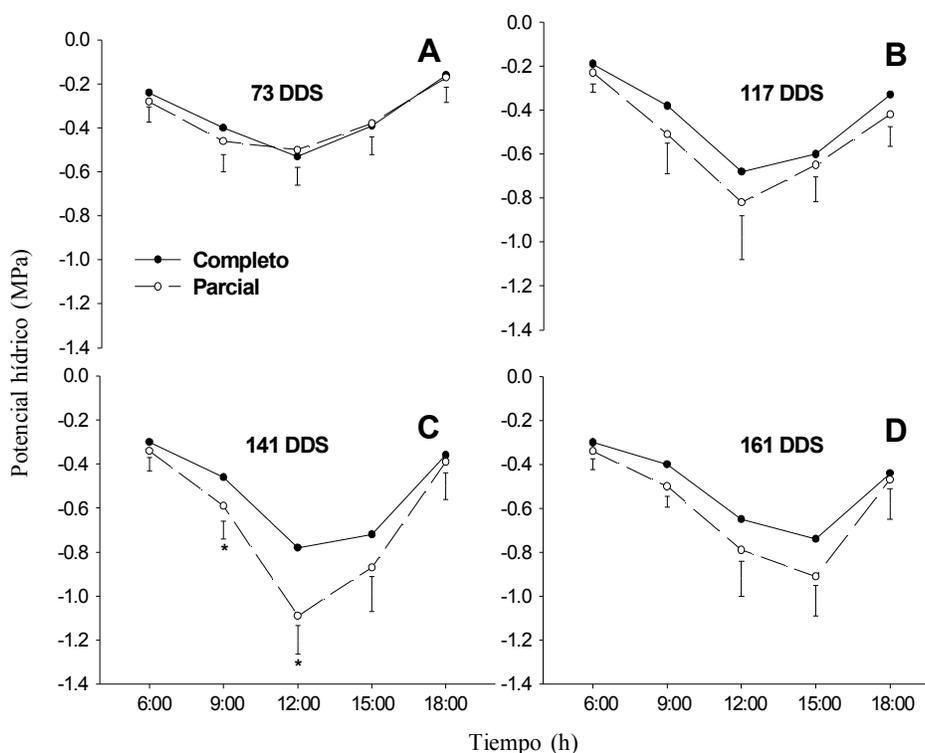


Figura 3. Cambios diurnos del potencial hídrico en la hoja para cuatro fechas de muestreo, en función del efecto principal de la forma de riego al sistema radicular (o al suelo): completo o parcial. Las barras verticales indican la DMS (Tukey); los asteriscos en C indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$). DDS: días después de la siembra.

Cuadro 2. Número de frutos (NF), peso medio del fruto (PMF), rendimiento de materia seca (R), peso seco vegetativo (PSV, excluyendo raíz), eficiencia en el uso de agua (EUA) e índice de cosecha (IC) en respuesta a los efectos principales e interacción de los factores sistemas de riego (SR) y forma de riego (FR).

Fuente de variación	Variables de rendimiento					
	NF (por planta)	PMF (g)	R (g)	PSV (g planta ⁻¹)	EUA (g L ⁻¹)	IC
	Sistema de riego					
Gravedad	29a	86a	164a	151.1a	1.75a	0.51a
Goteo	31a	87a	157a	148.6a	1.86a	0.53a
	Forma de riego					
Completo	31a	88a	159a	167.1a	1.32a	0.50a
Parcial	29a	85a	162a	132.6b	2.29b	0.53a
SR x FR	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[†]Valores medios con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales, según la DMS (Tukey, $P \leq 0.05$); NS: no significativo.

del sistema radicular fue suficiente para satisfacer ambas demandas hídricas? Green y Clothier (1999), al respecto, señalaron que en árboles de manzano sometidos a RPR a cielo abierto, el sistema radicular cambia el patrón de absorción de agua en dos sentidos. El primer aspecto es que las raíces sometidas al secado parcial del suelo mejoran la absorción del agua cuando éstas se riegan. El segundo aspecto es que la absorción del agua se incrementa en casi lo doble que una planta cuyo sistema radicular en su totalidad se ha regado bien. Ambos mecanismos no se han establecido en tomate, debido a limitaciones técnicas, pero podrían estar involucrados de manera similar. Además, la tendencia a disminuir el Ψ_{hoja} podría explicarse, en parte, debido a la radiación solar. Días nublados enmascaran episodios deficitarios de agua en las plantas (Behboudian *et al.*, 1994), mientras que lo opuesto ocurre en días despejados. En este trabajo, la radiación fotosintéticamente activa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \pm$ desviación estándar) fue, en promedio, de: 166 ± 66 , 461 ± 130 , 548 ± 213 y 778 ± 187 para los 73, 117, 141 y 161 DDS, respectivamente. Bajo condiciones controladas de luz (Gowing *et al.*, 1990; Dry y Loveys, 1998; Sobeih *et al.*, 2004), resultaría difícil que plantas sometidas a RPR mostrasen el comportamiento del Ψ_{hoja} aquí presentado.

Rendimiento y Componentes de Rendimiento

La interacción de los niveles de los factores y el efecto principal de éstos no produjeron efecto

significativo ($P \leq 0.05$) alguno sobre el número de frutos por planta, peso medio del fruto, rendimiento de materia seca e índice de cosecha (Cuadro 2). Pero la eficiencia en el uso del agua fue significativamente ($P \leq 0.05$) mejorada, en 73%, en aquellas plantas expuestas a RPR, en relación con aquéllas bajo RCR (Cuadro 2). Como el rendimiento fue igual en plantas sometidas o bien al RCR o al RPR, esto hizo que el índice de cosecha fuera estadísticamente igual en ambos niveles (Cuadro 2). Este resultado sugiere que el RPR no produce efectos negativos en las variables de rendimiento, como aquéllos inducidos por déficit hídrico (Hsiao, 1993; Obreza *et al.*, 1996; Pulupol *et al.*, 1996).

El peso seco de la parte vegetativa (excluyendo raíz) por planta se modificó significativamente ($P \leq 0.05$) sólo por la forma del riego. El RPR redujo el peso seco vegetativo de las plantas, en relación con aquéllas que recibieron RCR (Cuadro 2). Sin embargo, ni el número de frutos ni el rendimiento se redujeron cuando las plantas recibieron riego parcial. Por lo tanto, los datos sugieren que las plantas bajo RPR estuvieron sometidas a una fuerte demanda de fotoasimilados por parte de los frutos, lo cual se reflejó en una reducción en el peso vegetativo (Hsiao, 1993). A diferencia del tomate producido bajo déficit hídrico (Obreza *et al.*, 1996; Pulupol *et al.*, 1996), en este estudio no se observó presencia de pudrición apical de frutos, lo cual significa que el RPR no promueve este disturbio fisiológico.

CONCLUSIONES

Independientemente del sistema de riego, el RPR alternado día a día hacia ambos lados de la raíz, mantuvo sin cambios la conductancia estomática y el intercambio gaseoso; además, en general, el estado hídrico en las plantas fue similar al de aquéllas que recibieron RCR. Como resultado, el rendimiento y el índice de cosecha de estas plantas fueron comparables con los de aquéllas cuyo riego se proporcionó en toda la rizosfera. Plantas con RPR incrementaron la eficiencia en el uso del agua en aproximadamente 73% y no promovieron pudrición apical del fruto. Así, el RPR muestra potencial para el ahorro hídrico, importante para sistemas agroecológicos con limitaciones de agua. Este experimento se condujo en invernadero, pero se espera que el RPR aplicado en plantas bajo condiciones de campo mantenga las ventajas aquí descritas, ya que bajo condiciones de campo, la raíz puede explorar mayores volúmenes de suelo y así extraer el agua disponible. Sin embargo,

se sugieren trabajos en campo para corroborar estos resultados.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue, en parte, patrocinada por la Secretaría de Educación Pública-PROMEP-México, la Universidad Autónoma de Zacatecas y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias de México. Se agradece la valiosa asistencia de Hatsue Nakajima, Karma Dorji, Jorge Omar, Miriam y Alma Rosa Zegbe. Se agradece a los Drs. Alfonso Serna Pérez y Francisco G. Echavarría Cháirez (INIFAP), por sus valiosos comentarios al manuscrito.

LITERATURA CITADA

- Adams, P. and L. C. Ho. 1992. The susceptibility of modern tomato cultivars to blossom-end rot in relation to salinity. *Journal of Horticultural Science* 67: 827-839.
- Bangerth, F. 1979. Calcium-related physiological disorders of plants. *Annual Review Phytopathology* 17:97-122.
- Behboudian, M. H., G. S. Lawes, and K. M. Griffiths. 1994. The influence of water deficit on water relations, photosynthesis and fruit growth in Asian pear (*Pyrus serotina* Rehd.). *Scientia Horticulturae* 60: 89-99.
- Carrijo, O. A., C. A. S. Oliveira, A. F. L. Olitta, R. P. de Fontes, N. B. B. dos Reis, and P. T. Della Vecchia. 1983. A trial comparing drip and furrow irrigation and N and K fertilization on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Horticultura Brasileira* 1: 41-44.
- Davies, W. J., S. Wilkinson, and B. Loveys. 2002. Stomatal control by chemical signalling and the exploration of the mechanism to increase water use efficiency in agriculture. *New Phytologist* 153: 449-460.
- Dorji, K., M. H. Behboudian, and J.A. Zegbe-Domínguez. 2005. Water relations, growth, yield, and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying. *Scientia Horticulturae* 104: 137-149.
- Dry, P. R. and B. R. Loveys. 1998. Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 4: 140-148.
- Duniway, J. M. 1971. Water relations of *Fusarium* wilt in tomato. *Physiology of Plant Pathology* 1: 537-546.
- Gowing, D. J. G., W. J. Davies, and H. G. Jones. 1990. A positive root-sourced as an indicator of soil drying in apple, *Malus x domestica* Borkh. *Journal of Experimental Botany* 41: 1535-1540.
- Green, S. R. and B. E. Clothier. 1999. Roots water dynamics of water uptake by a mature apple tree. *Plant Soil* 206: 61-77.
- Ho, L. C. 1996. Tomato. pp. 709-728. *In*: E. Zemaski and A. A. Schaffer (eds). *Photoassimilate distribution in plants and crops: source-sink relationships*. Marcel Dekker. New York, NY, USA.
- Hsiao, T. C. 1990. Plant-atmosphere interactions, evapotranspiration, and irrigation scheduling. *Acta Horticulturae* 278: 55-66.
- Hsiao, T.C. 1993. Growth and productivity of crops in relation to water status. *Acta Horticulturae* 355: 137-148.
- Loveys, B. R., P.R. Dry, M. Stoll, and M. G. McCarthy. 2000. Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. *Acta Horticulturae* 537: 187-197.
- Obreza, T.A., D.J. Pitts, R.J. McGovern, and T.H. Speen. 1996. Deficit irrigation of micro-irrigated tomato affects yield, fruit quality, and disease severity. *Journal of Production Agriculture* 2: 270-275.
- Oliveira, M.R.G. and A.M. Calado. 1996. Tomato root distribution under drip irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 12: 644-648.
- Phene, C.J. 1999. Efficient irrigation systems and irrigation scheduling for processing tomato: the challenge. *Acta Horticulturae* 487: 479-485.
- Postel, S.L. 1998. Water for food production: will there be enough in 2025? *BioScience* 48: 629-637.
- Pulpol, L.U., M.H. Behboudian, and K.J. Fisher. 1996. Growth, yield, and postharvest attributes of glasshouse tomatoes produced under deficit irrigation. *HortScience* 31: 926-929.
- Sobeih W.Y., I.C. Dodd, M.A. Bacon, D. Grierson, and W.J. Davies. 2004. Long-distance signals regulating stomatal conductance and leaf growth in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants subjected to partial root-zone drying. *Journal of Experimental Botany* 55: 2353-2363.
- Stoll, M., B. Loveys, and P. Dry. 2000. Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany* 585: 671-675.
- Van Schilfhaarde, J. 1994. Irrigation - a blessing or a curse. *Agricultural Water Management* 25: 203-219.
- Zegbe, J.A., M.H. Behboudian, and B.E. Clothier. 2006. Responses of 'Petopride' processing tomato to partial rootzone drying at different phenological stages. *Irrigation Science* 24: 203-210.