

REQUERIMIENTOS DE RIEGO PARA TOMATE DE INVERNADERO

Water Requirements for Greenhouse Tomato

J. Flores^{1‡}, W. Ojeda-Bustamante², I. López³, A. Rojano³ e I. Salazar³

RESUMEN

El tomate es la principal hortaliza cultivada, tanto a cielo abierto como en invernadero, en todo el mundo. Uno de los problemas principales en la producción de tomate en el centro de México es la escasa información sobre sus requerimientos de riego, en consecuencia, la calendarización del riego es empírica. En este trabajo se estimaron los requerimientos diarios de riego del tomate por medio de lisímetros de drenaje en las condiciones típicas de infraestructura y densidad de población, así como de manejo agronómico y ambiental del área de Chapingo, México. Se estudió el tomate en invernadero tipo saladette (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Tequila), con una densidad típica de la zona de 4.3 plantas m⁻² en un invernadero de polietileno con un sustrato de tezontle y riego por goteo. Los resultados indican que la evapotranspiración diaria del cultivo es del orden de 0.2 L planta⁻¹ en la etapa inicial y hasta 1.5 L planta⁻¹ en la etapa de máxima demanda. El volumen bruto aplicado por planta en todo el ciclo fue de 143 L, con una productividad del agua de 35 kg m⁻³ y un rendimiento de 20 kg m⁻². Se presentan las demandas hídricas del tomate en sus diferentes etapas fenológicas.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum* Mill., lisímetro, flujo de savia, tezontle, programación del riego, evapotranspiración.

SUMMARY

Tomato is the main vegetable crop cultivated in both open field and greenhouse in the world. One of the main problems for efficient irrigation management is the lack

of information about irrigation requirements for the conditions of the Valley of Mexico; consequently, irrigation scheduling is empirical. In this paper daily irrigation requirements for tomatoes were obtained for a season, under the local conditions, with agronomic and climatic management, and typical infrastructure and plant density used in Chapingo, Mexico. Saladette type tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Tequila) was cultivated with a density of 4.3 plants m⁻² in a polyethylene-covered greenhouse using tezontle as substrate and drip irrigated. The results show that the crop evapotranspiration changed from 0.2 L plant⁻¹ in the initial stage to 1.5 L plant⁻¹ in the maximum demand stage. The gross volume applied to each plant in the whole season was 143 L, water productivity was 35 kg m⁻³ and yield was 20 kg m⁻². Tomato water requirements are presented for a whole season.

Index words: *Lycopersicon esculentum* Mill., lysimeter, sapflow, tezontle, irrigation scheduling, evapotranspiration.

INTRODUCCIÓN

El tomate es el principal cultivo en invernadero en México y el mundo (Steta, 2004; Calvin y Cook, 2005; Cook y Calvin, 2005). La producción bajo invernadero tiene varias ventajas sobre la producción a campo abierto: mayor eficiencia en el uso de agua, tierra y fertilizantes, ampliación y ajuste de la temporada de siembra y cosecha, de acuerdo con la demanda del mercado. Al tener un mejor control en las variables ambientales y agronómicas, la producción de invernadero es mejor, en calidad y cantidad, que la producida a campo abierto (Papadopoulos, 1991; Snyder, 1992). Uno de los principales factores que afectan el rendimiento es la aplicación oportuna y suficiente del riego. Una mala programación de riego también promueve la presencia de enfermedades y desórdenes fisiológicos (Adams y Ho, 1993; Peet y Willits, 1995).

Diversos métodos, dispositivos y técnicas usadas en la producción de cultivos a campo abierto se han

¹ Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. 56230 Montecillo, Estado de México.

[‡] Autor responsable (jorgelv@colpos.mx)

² Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, México.

³ Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, Estado de México.

transferido, mejorado y adaptado a los sistemas de producción en invernadero, como es el uso de sistemas de riego de alta frecuencia, en especial el riego por goteo, así como la adaptación de medios de soporte y crecimiento del cultivo. Actualmente, hay una gran variedad de sustratos comerciales. Por otro lado, se han perfeccionado y adaptado diversos indicadores de riego, con la ayuda de sensores y sistemas de monitoreo más sofisticados que permiten determinar con mayor confiabilidad el momento del riego a través de variables asociadas al estrés hídrico de los cultivos. Ejemplos de éstos son los dendrómetros para medir la variación del diámetro del tallo, los sensores para estimar el flujo de savia, los termómetros de infrarrojos para medir la temperatura foliar y las cámaras de presión para medir la presión hídrica foliar del cultivo en campo (López *et al.*, 2001).

El sistema de producción típico del centro de México usa al tezontle como sustrato, comúnmente en bolsas de plástico (Magán *et al.*, 1999). El riego se aplica por medio de un sistema de cinta por goteo, con un intervalo y una duración del riego pre-establecidos. Esta práctica empírica de aplicar el riego no considera las condiciones dinámicas en el manejo, ambiente y desarrollo del cultivo, por lo que no existe un buen acoplamiento entre el riego y las demandas evapotranspirativas del cultivo, y se presentan periodos de déficit/superávit de humedad que afectan la productividad potencial del cultivo y el uso racional del agua y los fertilizantes.

Aunque existen diversos estudios para determinar los requerimientos de riego del tomate a campo abierto, su estimación en ambientes cerrados es dispersa y limitada (Willits, 2003). Más aún, los estudios en condiciones de invernadero se han realizado para sistemas productivos de Europa, Estados Unidos y Canadá, donde usualmente se tienen bajas densidades de plantas (≤ 3 plantas m^{-2}), diferentes de las densidades utilizadas en el centro de México (≥ 4 plantas m^{-2}). Por ejemplo, Papadopoulos *et al.* (1999) reportan una densidad de 3.3 plantas m^{-2} , con una separación entre plantas de 30 cm; 2.1 plantas m^{-2} y 47.6 cm, Schwarz *et al.* (1999); 3.2 plantas m^{-2} y 62.5 cm, Nederhoff (1999); 2.2 plantas m^{-2} y 45.4 cm, Nukaya *et al.* (1991). En virtud de que la mayor parte de los estudios de estimación de requerimientos hídricos del tomate se ha realizado para baja densidad de plantación con ciclos largos de producción, existe la necesidad de conocer las demandas hídricas para las condiciones de manejo, ambiente y alta densidad de tomate en invernadero del centro de México,

que presenta ciclos cortos, por la necesidad del mercado para concentrar la producción en periodos de demanda localizada. Finalmente, el conocimiento de las demandas hídricas del tomate permitirá aplicar una programación científica del riego con un consiguiente ahorro en agua y fertilizantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el campo experimental "Tlapeaxco", del Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo, localizado en Chapingo, México. Su ubicación geográfica es 19° 29' 04" N y 98° 53' 08" O, con una altitud de 2250 m. En la zona se registra una temperatura media anual de 15 °C y una precipitación pluvial anual de 695 mm. La temperatura media en el mes más caliente es de 18 °C y en el más frío de 11 °C. El periodo de lluvias es de mayo a octubre, con un máximo promedio en julio, de 130 mm. El clima se clasifica como templado subhúmedo (García, 1981).

El invernadero usado en este estudio es típico del centro de México, con tres naves cubiertas de polietileno de alta densidad con un sistema de ventilación pasiva a través de ventilas laterales y cenitales de apertura manual. El tomate fue tipo saladette, variedad Tequila, de crecimiento indeterminado, sembrado en almácigo el 2 de julio de 2004 y trasplantado el 21 de agosto de 2004. Las plantas se mantuvieron a un eje, a través de poda de brotes laterales, y se despuntaron el 20 de noviembre de 2004, sobre el octavo racimo floral. El marco de plantación fue "tresbolillo", con separación de 30 cm entre plantas y de 30 cm entre líneas, trasplantadas a camas de tezontle rojo, cuyas dimensiones son de 1.2 m de ancho por 40 m de largo. La densidad de plantas promedio fue de 4.3 plantas m^{-2} . El sistema de riego fue de goteo, con tres líneas regantes superficiales de 16 mm en diámetro y espaciadas a 40 cm para cada cama. Cada línea regante tenía goteros autocompensantes separados a 30 cm y un gasto de 9 L h^{-1} por metro lineal, con una presión de operación de 0.8 kg cm^{-2} . Se monitorearon tres camas por medio de lisímetros de drenaje. Los requerimientos hídricos se estimaron al promediar los valores obtenidos de los lisímetros de las tres camas.

El riego se aplicó periódicamente, de acuerdo con un programa generado por el método de la radiación acumulada, el cual se basa en la aplicación de un evento de riego cuando se ha acumulado una cantidad predefinida de radiación solar. Se analizaron datos históricos de radiación global diaria de una estación

climatológica cercana al invernadero, para definir el intervalo de riego óptimo, de acuerdo con la siguiente regla: aplicar un riego con un volumen definido por planta cuando se acumulen $4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ de radiación exterior. Se estimó un volumen por planta de 1.6, 2, 3.7 y 2 L para cada una de las cuatro etapas en que se dividió el ciclo del cultivo (inicio, desarrollo, producción y maduración). El tiempo de riego correspondiente para aplicar el volumen requerido por planta fue de 1.1, 1.42, 2.66 y 1.42 min, para cada una de las cuatro etapas. El volumen aplicado fue mayor al volumen requerido por la planta para generar drenaje. Como ejemplo de aplicación, en la Figura 1 se presenta la distribución de riegos para un día típico. Se observa que la radiación global acumulada fue cercana a $24 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, que genera seis riegos aplicados a las 9:45, 11:05, 12:15, 13:30, 14:45, y 17:15 h, cada riego se aplica cuando se acumulan $4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. El último riego tiene la función de suministrar la demanda hídrica del cultivo durante las primeras horas del día siguiente, antes de aplicar el primer riego (Figura 1). Por la baja demanda del cultivo, en los primeros 10 días se eliminó el último riego y se aplicaron sólo cinco riegos.

Se usaron dos estaciones meteorológicas; una al interior y otra en el exterior del invernadero, para monitorear las variables ambientales: temperatura y humedad relativa del aire, radiación global y velocidad y dirección del viento. El tiempo de monitoreo ambiental se definió en un intervalo de 15 min. Como referencia, el Cuadro 1 presenta los valores de la humedad relativa en el interior y la radiación global acumulada en el interior y exterior del invernadero, para un periodo de seis días de

máxima demanda del cultivo. El coeficiente de transmisividad del invernadero es cercano a 80%, por lo que se puede usar la radiación externa para estimar la radiación que llega en la parte superior del follaje.

Cada cama del invernadero estaba equipada con un lisímetro de drenaje, que consistía en un depósito enterrado de paredes verticales y base metálicas con un tubo para coleccionar el drenaje. El lisímetro representaba condiciones similares a las de la cama de tezontle. Los requerimientos de riego se estimaron usando la siguiente ecuación de balance hídrico:

$$RR = R - D \pm \Delta q \quad [L] \quad (1)$$

donde: R es el riego aplicado en el día (L), D es el drenaje colectado en el día (L) y $\Delta\theta$ es el cambio de almacenamiento en la humedad del sustrato (L). En ausencia de lluvia y otras aportaciones, el requerimiento de riego es igual a la evapotranspiración real del cultivo (ET_r [L]):

$$RR = ET_r = \text{evaporación} + \text{transpiración} \quad [L] \quad (2)$$

La Figura 2 presenta la configuración del lisímetro, con la localización de plantas, líneas regantes y tubo de drenaje. Se eliminaron los datos de los días donde no se colectó drenaje, debido a que el riego aplicado fue inferior a la demanda evapotranspirativa potencial del cultivo. La estimación directa de la ET_r se usa para validar modelos con significado físico. Sin embargo,

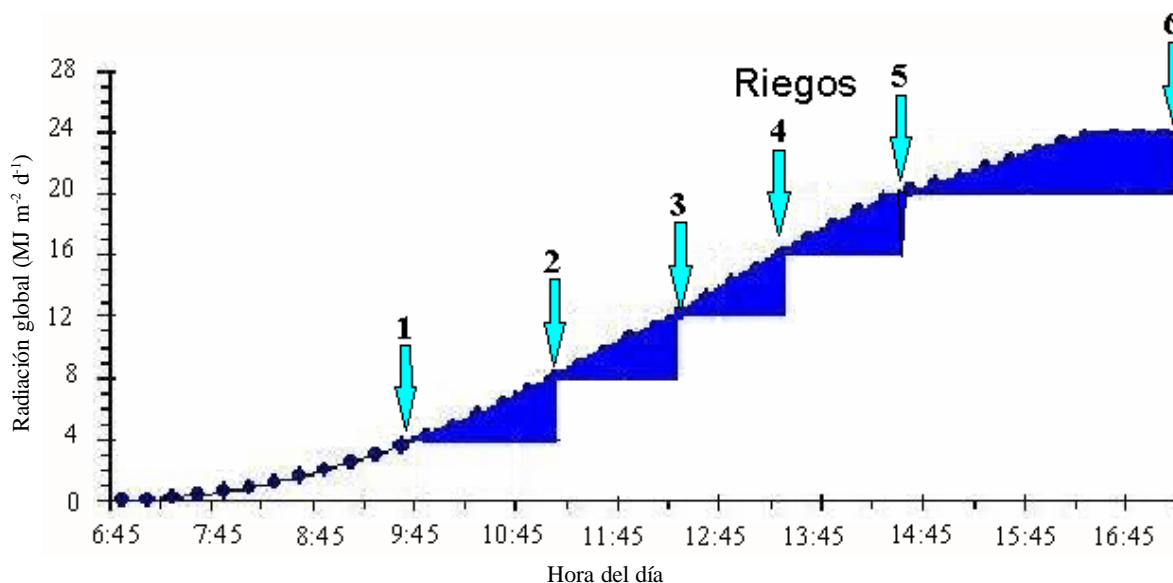


Figura 1. Distribución de riegos para un día típico basada en la radiación acumulada (20 de agosto de 2004).

Cuadro 1. Promedio de humedad relativa y radiación global acumulada (interna y externa) al inicio del periodo de máxima demanda.

Fecha	Días después del trasplante	Humedad relativa media			Rg acumulada [†]	
		Día	Diurno	Nocturno	Interior	Exterior
		----- % -----			----- MJ m ⁻² d ⁻¹ -----	
20/10/2004	60	78.6	72.8	84.4	15.7	19.0
21/10/2004	61	80.3	70.3	90.2	14.6	18.3
22/10/2004	62	77.1	70.5	83.7	14.7	18.4
23/10/2004	63	73.1	67.1	79.1	14.3	17.9
24/10/2004	64	78.2	69.7	86.8	14.6	18.1
25/10/2004	65	79.8	72.3	87.3	13.4	16.6

[†] Rg = radiación global acumulada.

su aplicabilidad es práctica cuando el cultivo transpira a su máximo potencial (Domingo *et al.*, 2003).

Para verificar los resultados de la evapotranspiración obtenida del lisímetro se utilizó un sensor para medir el flujo de savia (10ws y SGA-13ws, de la compañía Dynamax Inc., Houston, TX, USA) durante 6 días en el periodo de máxima demanda (20-25/10/2004). Estos sensores estiman indirectamente el flujo de savia por medio de un balance de energía de una sección del tallo (Figura 3). La cantidad de calor transportado por la savia está directamente relacionada con el flujo de savia transportado por el floema, lo que se convierte en un flujo "casi" en tiempo real, expresado en masa/tiempo. La medición involucra el calentamiento continuo de una porción del tallo; mayor detalle del método se encuentra en Sakuratani (1981) y Baker y Van Bavel (1987).

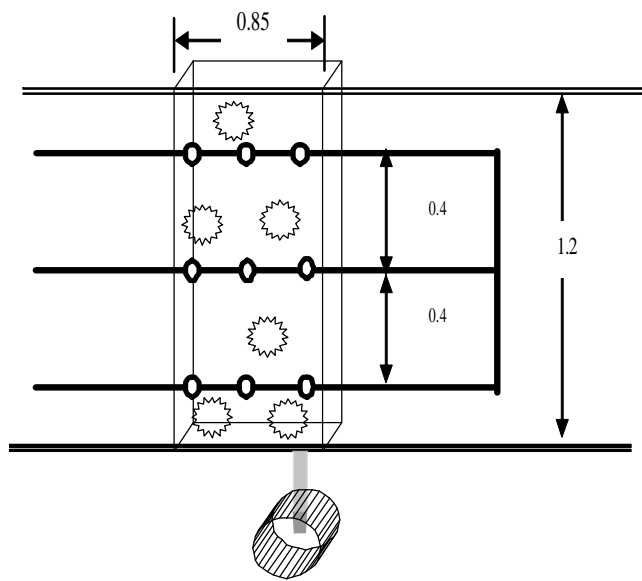


Figura 2. Disposición de los componentes del lisímetro (unidades en m).

La Figura 3 presenta un detalle gráfico de las variables involucradas para estimar el flujo de savia durante el experimento realizado.

La partición del flujo de calor por conducción radial [Q_r (g h⁻¹)] y vertical [Q_v (g h⁻¹)] se estima del calor generado [P_i (kV)] por una termopila y la respuesta observada en dos termocoples que miden la diferencia en temperatura en dos posiciones del tallo [ΔT °C)]. El flujo convectivo [Q_f (g h⁻¹)] se estima del residuo de la ecuación de balance de energía en la zona de muestreo del tallo. Finalmente, el flujo de calor transportado por la savia se convierte a flujo masa al dividir Q_f (g h⁻¹) por la capacidad de calor del agua y por el incremento de temperatura debido al flujo de savia, de acuerdo con la relación:

$$F = \frac{P_i - Q_v - Q_r}{C_p \times \Delta T} \quad (\text{g h}^{-1}) \quad (3)$$

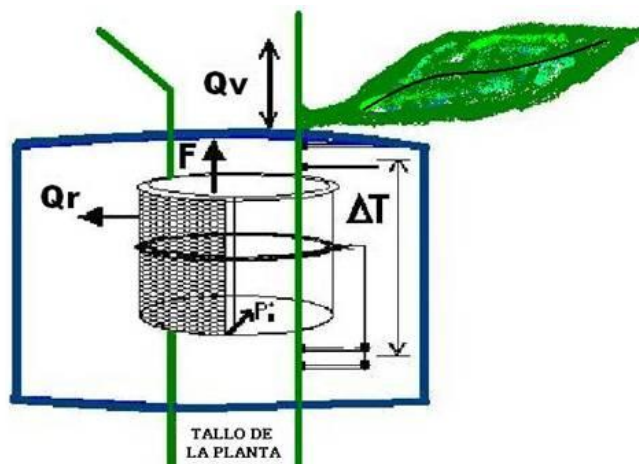


Figura 3. Componentes para el cálculo de flujo de savia. Q_v = flujo de calor por conducción vertical, Q_r = flujo de calor por conducción radial, F = flujo de calor transportado, P_i = fuente de calor aplicado, ΔT = diferencial de temperatura.

La estimación de los flujos radial y vertical requiere de un estimador de la conductividad térmica de la planta ($0.54 \text{ W m}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) en estudio y un buen aislamiento térmico de la fuente de calor. En ausencia de flujo de savia, la conductividad del sustrato [$K_{sh} \text{ (W mV}^{-1}\text{)}$] relaciona directamente el flujo de calor radial con el calor generado por la termopila cuando $Q_f \text{ (gr h}^{-1}\text{)}$ es nulo, caso que se presenta durante las horas de la madrugada o durante días nublados con baja insolación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Medición del Flujo de Savia

La Figura 4 muestra la variación en la tasa transpirativa del cultivo para el 20 de octubre de 2004, obtenida con el medidor de flujo de savia. Se observa una relación directa entre la transpiración del cultivo y la radiación solar global que llega al follaje en el interior del invernadero. El medidor de savia solo estima al flujo transpirativo que deja la sección de muestreo del tallo. Sin embargo, el lisímetro estima tanto el flujo transpirativo de la planta como la evaporación del agua del sustrato.

En la Figura 5 se observa el consumo transpirativo de una planta a lo largo de un día y los cambios en la ETr debidos a la aplicación de los seis riegos. Esta figura muestra que el sensor de flujo de savia fue capaz de detectar la aplicación del riego con un cambio brusco en la transpiración del cultivo, por lo que el sensor puede

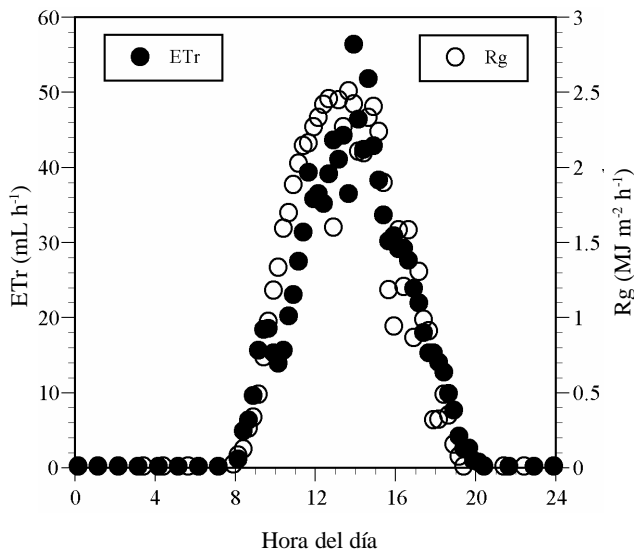


Figura 4. Variación de la radiación solar global (Rg) y la transpiración horaria (ETr) obtenida con el sensor de flujo de savia.

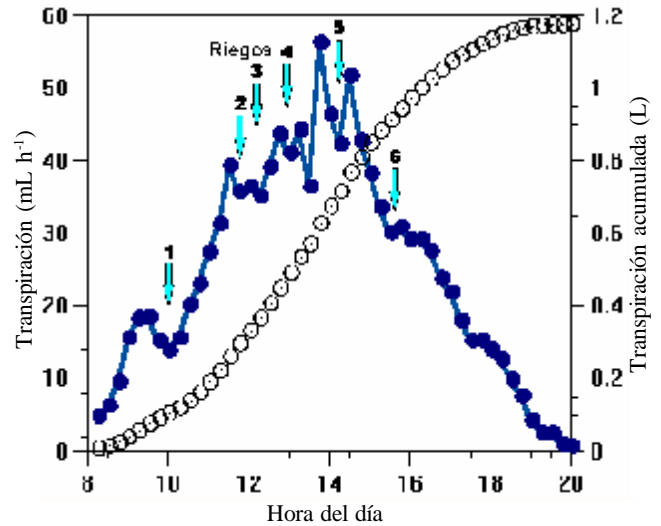


Figura 5. Transpiración del cultivo horaria y acumulada obtenida por el medidor de flujo de savia.

usarse para ajustar la duración y el momento de los riegos. Al inicio del día, el consumo de agua por la planta se incrementa sustancialmente; sin embargo, al retrasarse el riego, el cultivo se estresa y disminuye de manera drástica la tasa transpirativa, hasta que se aplica el riego. Analizando la Figura 5 se observa que el primer riego debió adelantarse, para evitar una reducción drástica en la transpiración de la planta, pues ésta genera condiciones de estrés hídrico en el cultivo. Para el día estudiado de la Figura 5, la máxima demanda se presenta en el periodo de 13:30-15:00 h, que coincide con el de mayor incidencia solar y, en consecuencia, el de mayor requerimiento hídrico del cultivo.

Para verificar los datos obtenidos con el lisímetro de drenaje, se midió el flujo de savia por seis días. El Cuadro 2 muestra los resultados obtenidos por ambos

Cuadro 2. Volumen evapotranspirado diario por planta obtenido del lisímetro y el transpirado estimado del medidor de savia.

Día	Evapotranspiración	
	Lisímetro	Sensor savia
	----- L d ⁻¹ -----	
1	1.17	1.16
2	1.23	1.39
3	1.27	1.06
4	1.35	1.22
5	1.38	1.18
6	1.48	1.26
Promedio	1.31	1.21

métodos durante el mismo periodo. Se observa que hay una gran similitud en los valores obtenidos por ambos métodos. Las diferencias pueden deberse a que el sensor de savia sólo estima la transpiración del cultivo, mientras que el lisímetro estima tanto la transpiración del cultivo como la evaporación del agua del sustrato.

Mediciones con el Lisímetro de Drenaje

La Figura 6 presenta la variación diaria de los volúmenes evapotranspirados por una planta de tomate, medidos mediante lisímetros de drenaje. Al inicio del ciclo se observa un rápido incremento en el consumo de agua por la planta, lo cual se debe al bajo volumen de riego aplicado, la baja transpiración del cultivo y la gradual saturación del sustrato; lo anterior se corrige después de 12 días, al homogeneizarse el contenido de humedad del sustrato. Las variaciones en el consumo hídrico diario se encuentran en el orden de 200 mL, en la etapa inicial, hasta 1440 mL, en la etapa de máxima demanda. Altas variaciones del consumo diario en la parte inicial se deben a la evaporación del agua de las camas con sustrato. Si el volumen del sustrato disminuye, al usar bolsas, el consumo de agua en la parte inicial del ciclo se reduce, no así los consumos máximos.

El Cuadro 3 indica un consumo neto aproximado de 110 L de agua por planta en el ciclo de 137 días, para el período de trasplante al 8° racimo. Se obtuvo

una producción aproximada de 600 g por racimo de frutos, con un rendimiento equivalente de 5 kg planta⁻¹. El volumen bruto aplicado por planta en todo el ciclo fue de 143 L, con una productividad de 35 kg m⁻³ de agua y un rendimiento de 20 kg m⁻²; éste es similar a lo reportado en España, 25 kg m⁻², en invernaderos sin calefacción, pero por debajo de la producción de 45 kg m⁻² para un invernadero hidropónico holandés con control climático y mayor duración en el ciclo (Valera *et al.*, 1999). Los requerimientos de riego máximos diarios (1.5 L planta⁻¹ d⁻¹) y promedio (1.1 L planta⁻¹ d⁻¹) obtenidos en el estudio son menores que los reportados por Snyder (1992), de 2.7 L planta⁻¹ d⁻¹ y 1.8 L planta⁻¹ d⁻¹ respectivamente, para una menor densidad de plantación (< 3 planta m⁻²).

Los valores del pH de la solución de riego fueron, en promedio, de 7.2, y variaron de 6.4 a 7.4; para la conductividad eléctrica (CE) el promedio fue de 1.2 dS m⁻¹ y varió entre 1 y 1.9 dS m⁻¹. Los valores del pH medidos en la solución de entrada fueron superiores al intervalo óptimo de 6 a 6.5, para evitar la precipitación de fosfatos y micronutrientes, y los valores de la CE fueron inferiores al rango óptimo, entre 2 y 2.5 dS m⁻¹ (Papadopoulos, 1991). Adicionalmente, los valores promedio para la solución drenada fueron de 7.25, para el pH, y de 1.3 dS m⁻¹, para la CE. Estos valores de CE para la solución drenada son menores que los recomendados para la producción en invernaderos, cuyo intervalo típico es entre 2 y 4 dS m⁻¹. Por la deficiencia

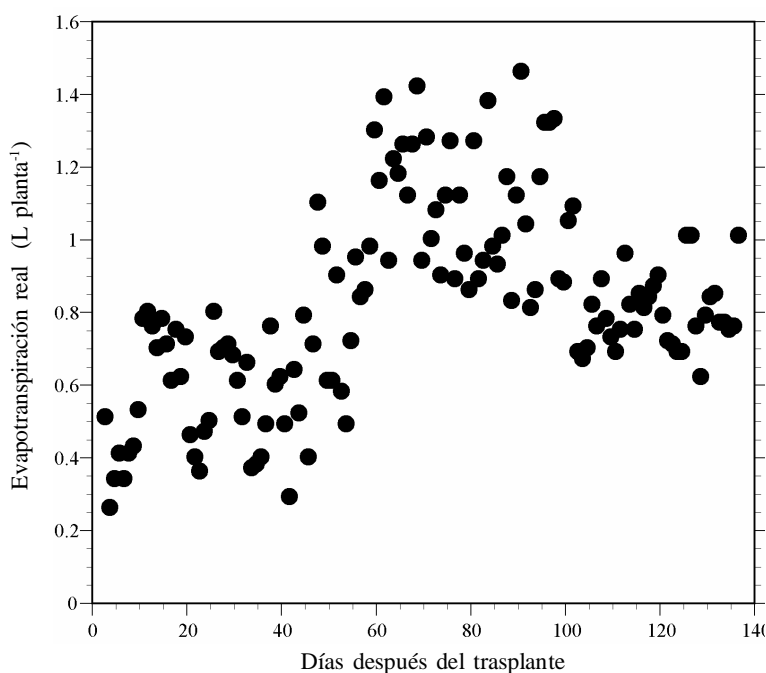


Figura 6. Necesidades hídricas netas del cultivo de tomate.

Cuadro 3. Volumen promedio evapotranspirado por el cultivo de tomate durante el ciclo fenológico para el área de Chapingo, México.

Etapa	Consumo de agua			Días después del trasplante	
	Diario	Periodo	Acum. [†]	Periodo	Acum.
	L pl ⁻¹ d ⁻¹	- - - L pl ⁻¹	- - -	- - -	- - -
Inicial	0.55	7.75	7.75	16	16
Vegetativa	0.57	14.37	22.12	25	41
Desarrollo	0.92	28.43	50.55	31	72
Producción	1	37.96	88.51	38	110
Despunte-fin de ciclo	0.81	21.79	110.3	27	137

pl = planta. † Acum. = acumulado.

de datos de los requerimientos hídricos del tomate para las condiciones de manejo de la zona de estudio, se aplicó un sobrieriego para asegurarse siempre de la generación de drenaje. Para mantener al cultivo con la humedad óptima, el experimento se diseñó para no generar condiciones de estrés hídrico del cultivo, lo cual contribuyó a diluir la solución y, en consecuencia, la CE también disminuyó. Cabe mencionar que, en la etapa final del experimento, hubo fallas en el sistema de inyección de fertilizantes que generaron condiciones indeseables, en términos de pH y CE, en la solución entrante y afectaron la calidad de la producción.

La Figura 7 presenta la variación diaria de la fracción drenada medida en el lisímetro, con respecto al volumen aplicado. El porcentaje de drenado varió de 0 a 80%, con un valor promedio de 35%. Los valores de drenado

cercanos a 0% indican estrés hídrico del cultivo, por lo que los valores de dichos días no se usaron para estimar la evapotranspiración del cultivo. En virtud de que el objeto del estudio fue estimar los requerimientos hídricos del cultivo, no se controló la fracción de drenado y la CE, como parte del manejo del cultivo para mejorar la calidad del fruto.

CONCLUSIONES

- Los resultados de este estudio indican que los lisímetros de drenaje pueden usarse para estimar los requerimientos diarios de riego de los cultivos en invernadero, como lo muestra el buen ajuste con los medidos con el sensor de flujo de savia. Los medidores del flujo de savia también pueden usarse para ajustar el momento del riego a lo largo del día, lo cual es de gran ayuda cuando se complementa con información de la radiación solar.
- Los valores experimentales muestran que los requerimientos de riego del tomate varían de 200 mL planta⁻¹, en la etapa inicial, hasta 1500 mL, en la etapa de máxima demanda. El valor máximo del requerimiento de riego es menor que el reportado en la literatura para bajas densidades de plantación (Snyder, 1992), lo que indica la importancia de estimar los requerimientos de riego del cultivo para condiciones locales. El volumen acumulado por planta fue de 110 L, con una productividad de 35 kg m⁻³ de agua bruta aplicada y un rendimiento de 20 kg m⁻². La productividad y el rendimiento obtenidos son similares a los reportados en invernaderos de plástico con limitado control climático.

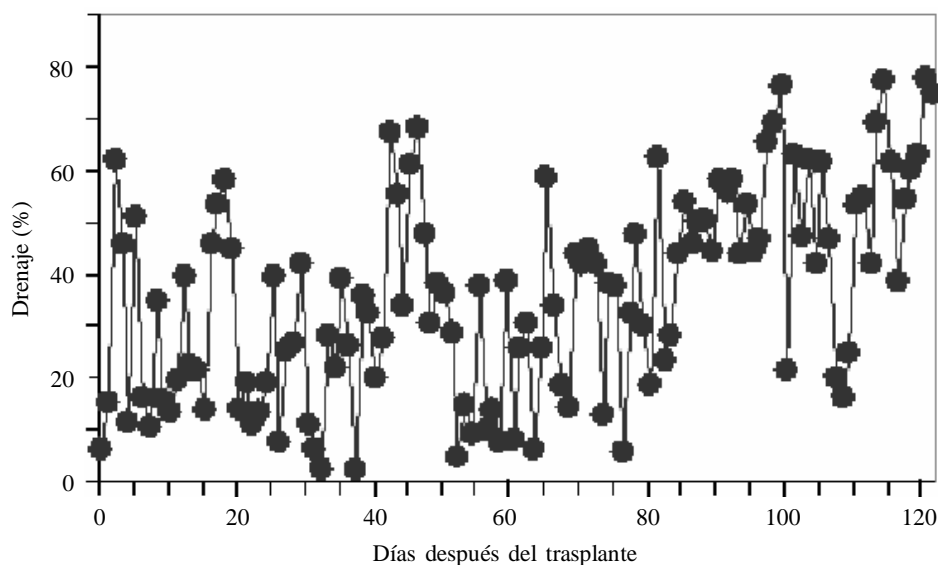


Figura 7. Variación del volumen drenado diario promedio del lisímetro expresado como porcentaje del volumen aplicado.

- Los resultados son de importancia para generar o ajustar el programa de riego en el cultivo de tomate en invernadero, en términos de frecuencia y volumen de riego, en las condiciones de manejo, densidad de plantas, clima e infraestructura de los invernaderos tipo del Valle de México. Un mejor conocimiento de las demandas diarias del cultivo sirve para ajustar el volumen requerido por riego, en función de la etapa del cultivo y la condiciones climáticas; estas últimas integradas a través de la radiación solar acumulada.

- El método de la radiación puede utilizarse con precisión cuando se conocen las demandas máximas del cultivo a lo largo de su ciclo, por lo que los valores experimentales obtenidos pueden usarse para ajustar diariamente el número y volumen del riego, en función de la radiación solar recibida.

LITERATURA CITADA

- Adams, P. and L. C. Ho. 1993. Effect of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom-end rot. *Plant Soil* 154: 127-132.
- Baker, J. M. and C. H. M. van Bavel. 1987. Measurement of mass flow of water in the stems of herbaceous plants. *Plant Cell Environ.* 10: 777-782.
- Calvin, L. and R. Cook. 2005. North American greenhouse tomatoes emerge as a major market force. *Amber Waves*. Springfield, VA, USA.
- Cook, R. and L. Calvin. 2005. Greenhouse tomatoes change the dynamics of the North American fresh tomato industry. *Economic Research Report ERR2*. April 2005. <http://www.ers.usda.gov/Publications/ERR2/> (Consulta: septiembre 22, 2006).
- Domingo, F., L. Villagarcía y A. Were. 2003. ¿Cómo se puede medir y estimar la evapotranspiración?: estado actual y evolución. *Ecosistemas XII*: 1-15.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F.
- López, J. C., P. Lorenzo, N. Castilla, J. Pérez-Parra, J. I. Montero, E. Baeza, A. Antón, M. D. Fernández, A. Baille y M. González-Real. 2001. Incorporación de tecnología al invernadero mediterráneo. Estación experimental "Las Palmerillas" Caja Rural de Almería y Málaga (CAJAMAR). Almería, España.
- Magán, J. J., M. P. Romera, F. Cánovas y E. Fernández. 1999. Ahorro de agua y nutrientes mediante un sistema de cultivo sin suelo con reuso del drenaje en tomate larga vida. XVII Congreso Nacional de Riegos. Actas 186-193. AERYD. Murcia, España.
- Nederhoff, E. 1999. Effects of different day/night conductivities on blossom-end rot, quality and production of green house tomatoes. *Acta Hortic.* 481: 495-502.
- Nukaya, A., W. Voogt, and C. Sonneveld. 1991. Effects of NO₃, SO₄ and Cl ratios on tomatoes grown in recirculating system. *Acta Hortic.* 294: 297-304.
- Papadopoulos, A. P. 1991. Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media. *Agriculture Canada Publication 1865/E*. Minister of Supply and Services Canada. Ottawa, Ontario, Canada.
- Papadopoulos, A. P., X. Hao, J. C. Tu, and J. Zheng. 1999. Tomato production in open or closed rockwool culture systems with NFT or rockwool nutrient feedings. *Acta Hortic.* 481: 89-96.
- Peet, M. M. and D. H. Willits. 1995. Role of excess water in tomato fruit cracking. *HortScience* 30: 65-68.
- Sakuratani, T. 1981. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. *J. Agric. Met.* 37: 9-17.
- Schwarz, D., S. Ruppel, and R. Kuchenbuch. 1999. Nitrogen cycle and micro organisms in a hydroponic system as influenced by the amount of nitrogen applied. *Acta Hortic.* 481: 371-377.
- Snyder, R. G. 1992. *Greenhouse tomato handbook*. Publication 1828. Cooperative Extension Service. Mississippi State University. USA. Disponible en: <http://msucare.com/pubs/publications/p1828.htm> (Consulta: agosto 17, 2007).
- Steta, M. 2004. Mexico as the new major player in the vegetable greenhouse industry. *Acta Hortic.* 659: 31-36.
- Valera-Martínez, D. L., F. D. Molina A. y J. A. Gil R. 1999. Los invernaderos de Almería: tipología y mecanización del clima. Universidad de Almería. Almería, España.
- Willits, D. H. 2003. The Penman-Monteith equation as a predictor of transpiration in a greenhouse tomato crop. *ASAE Annual International Meeting*. Paper 034095. Las Vegas, NV, USA.