

Suitability of using trunk diameter fluctuations for irrigation management in sub-surface drip irrigation in lemon trees

J.M. Robles, P. Botía, J.G. Pérez

Equipo de Riego y Fisiología del Estrés, Departamento de Recursos Naturales, Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario (IMIDA), C/Mayor s/n, 30150 La Alberca (Murcia) España. juanm.robles@carm.es

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar la idoneidad del uso de las variaciones de diámetro de tronco para la programación del riego por goteo subterráneo en árboles adultos de limonero. Para ello, se compararon árboles adecuadamente regados en riego por goteo superficial (SUR) y subterráneo (SUB). Se mantuvo, en ambos sistemas, el contenido de agua del suelo en la zona radicular entorno al 80 % del agua útil disponible y el potencial hídrico de tallo a mediodía (Ψ_{md}) > -1.3 MPa. Las ecuaciones de referencia generadas entre la máxima contracción diaria del tronco (MDS) y meteorológicas (evapotranspiración de referencia, déficit de presión de vapor y temperatura de aire) fueron diferentes para cada sistema de riego. En ambos casos, la variable que mejor se correlacionó con Ψ_{md} y MDS fue la temperatura. La relación entre MDS y Ψ_{md} estuvo influenciada por el sistema de riego, siendo la pendiente de SUB significativamente menor. Basándonos en estos resultados, la medida del MDS puede ser apropiada para el ajuste de la programación del riego en limonero, pero las diferencias encontradas entre los sistemas de riego en las líneas base de referencia del MDS pone de manifiesto la necesidad de determinar las líneas de base para cada sistema de riego.

Palabras clave: Máxima contracción diaria del tronco; relaciones hídricas de la planta; eficiencia en el uso del agua.

Abstract

The aim of this work was to assess the suitability of using trunk diameter fluctuations for irrigation scheduling in subsurface drip irrigation system in adult lemon trees. Trees were maintained well-watered for surface (SUR) and subsurface (SUB) drip irrigation systems by applying irrigation water independently, maintaining in both systems the soil water content of the rootzone \approx 80% of the amount of water available and the midday stem water potential (Ψ_{md}) > -1.3 MPa. The results indicated that the reference equations generated from maximum daily trunk shrinkage (MDS) and reference evapotranspiration (ET_0), vapour pressure deficit (VPD) and mean air temperature (T) parameters were different for each irrigation system, although there were not significant differences in the slopes of the MDS reference equations indicating that the prediction powerful of MDS was similar in both systems. In both cases, the environmental variable that best correlated with Ψ_{md} and MDS was T . The relationship between MDS and Ψ_{md} was also influenced by the irrigation system, being the slope of SUB significantly lower. The results suggested that MDS measurements can be suitable for adjusting the irrigation scheduling of lemon trees, but differences found between irrigation systems in the MDS reference baselines underline the need to determine the baselines for each irrigation system.

Keywords: maximum daily trunk shrinkage; plant water relations; water use efficiency.

1. Introducción

La disponibilidad de fuentes de agua dulce para el riego está disminuyendo, de forma general, en todas las partes del mundo, y los conflictos entre los intereses urbanos y agrícolas con el tema del agua siguen en aumento. Esta situación se agrava en el área mediterránea de la península ibérica, caracterizada por un clima semiárido con escasas precipitaciones y una demanda evaporativa elevada.

España es el primer exportador mundial de limón para consumo en fresco. La principal zona

productora de limón (*Citrus limon* Burm. F.) es el sureste de la Península Ibérica (provincias de Murcia y Alicante), donde se concentra más del 80% de la producción (www.magrama.gob.es). En estas regiones, uno de los factores más importantes que limitan la producción es la escasez de recursos hídricos. El avance en el desarrollo de nuevas estrategias de riego, que ayuden a mejorar la eficiencia en el uso del agua, es primordial para los productores de cítricos, de cara a mantener unos adecuados niveles de producción y calidad del fruto y seguir siendo competitivos en los mercados.

La utilización del riego por goteo subterráneo (SUB) puede ayudar a la mejora de la eficiencia en el uso del agua [1]. Dicho sistema, reduce el consumo de agua, minimizando las pérdidas de agua por evaporación y percolación profunda, lo que permite mantener o incluso aumentar el rendimiento del cultivo [2]. Sin embargo, el SUB presenta dificultades para su correcto manejo debido a la falta de indicadores representativos, el establecimiento de valores umbrales de potencial hídrico de tallo (Ψ_{md}) y niveles de referencia derivados de las fluctuaciones de diámetro de tronco (TDF) con variables meteorológicas que permitan optimizar la programación del riego.

En general, los estudios de programación del riego en cítricos basados en TDF han sido realizados en riego por goteo superficial, sin embargo, hay escasa información sobre como el sistema de riego por goteo subterráneo puede afectar a la estabilidad de las líneas de referencia basadas en las TDF [3]. Por lo tanto, el objetivo principal de este trabajo fue evaluar la influencia del sistema de riego (superficial y subterráneo) sobre de las líneas base para la programación del riego en árboles adultos de limonero 'Fino 49' injertado sobre *Citrus macrophylla* Wester.

2. Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo durante los años 2011 y 2012 en una finca experimental del IMIDA ubicada en Torre Pacheco (Murcia), sobre árboles de 18 años de edad de limonero 'Fino 49' (*Citrus limon* (L.) Burm. Fil.) injertados sobre el patrón *Citrus macrophylla* Wester y con un marco de plantación de 8 m × 3 m. Se utilizaron dos sistemas de riego: riego por goteo superficial (SUP) y subterráneo (SUB). En ambos casos, se dispuso de dos líneas portagoteros (UniRamTM, diseñada especialmente para el riego subterráneo, Netafim, Tel Aviv, Israel) por fila de árboles, separados 1 m de cada lado del tronco, con 6 goteros autocompensantes, anti-sifón y antidrenantes (3,5 L h⁻¹) por árbol a 1 m de distancia entre sí. En el sistema de riego por goteo subterráneo, las líneas portagoteros fueron enterradas a 40 cm de profundidad al inicio de 2007.

La cantidad de agua aplicada se determinó de forma independiente para cada sistema de riego, mediante la estimación semanal la evapotranspiración del cultivo (ETc), utilizando la ecuación: $ETc = Kc \times ET_0 \times Kr$, donde Kc es el coeficiente del cultivo y Kr el coeficiente

corrector en función del porcentaje de área sombreada por el cultivo. Se ajustó la dosis de riego final aplicada para mantener en ambos sistemas la humedad del suelo en la zona radicular más activa (10-50 cm de profundidad en superficial y 20-60 cm de profundidad en subterráneo) \approx 80% de la cantidad de agua disponible (AWA) y el potencial hídrico de tallo a mediodía (Ψ_{md}) $>$ -1,3 MPa. El diseño experimental fue de bloques al azar. Cada tratamiento consistió en nueve árboles, (tres bloques y tres repeticiones) monitorizando seis árboles por tratamiento (dos árboles por tratamiento y bloque).

Las variables meteorológicas (temperatura media diaria del aire, el déficit medio diario de presión de vapor (DPV), la humedad relativa media diaria y ET₀ diaria) se obtuvieron diariamente de una estación meteorológica automática situada en la finca experimental. El contenido volumétrico de agua del suelo (θ_v) se midió semanalmente durante todo el experimento, utilizando una sonda portátil FDR (Diviner 2000®, Sentek Pty. Ltd., Australia) previamente calibrada en la finca experimental. El Ψ_{md} se midió en las horas centrales del día (12:00-14:00) con una cámara de presión (modelo 3000; Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, California, EE.UU.) siguiendo las recomendaciones de Turner [4]. El perímetro del tronco se midió al principio y al final de cada fase de crecimiento del fruto. El área de sección transversal del tronco (ASTT, cm²) se calculó como $ASTT = (\pi \times D^2)/4$, donde D es el diámetro del tronco (cm). El diámetro del fruto se determinó cada 7-14 días en 10 frutos por árbol y en 6 árboles por tratamiento (n = 6); los frutos fueron marcados en la etapa inicial del desarrollo del fruto. Durante la cosecha, se controlaron individualmente el peso fresco y el número de frutos de cada árbol.

Las fluctuaciones de diámetro del tronco (TDF) se obtuvieron de forma continua mediante dendrómetros extensiométricos (mod. Plantsens, Verdtech S.A., Huelva, España) instalados en lado sur-oeste del tronco (40 cm por encima del suelo y 15 cm por encima de la unión del injerto), y sobre soportes construidos de aluminio e invar. De las mediciones de TDF se calcularon: máximo (MXTD) y mínimo (MNTD) diámetro diario del tronco, máxima contracción diaria del tronco (MDS = MXTD - MNTD) y la tasa de crecimiento diario tronco (TGR, calculado como la diferencia entre MXTD de dos días consecutivos) [5].

Las relaciones entre Ψ_{md} y MDS y las variables atmosféricas fueron estudiadas mediante un análisis de regresión lineal y no lineal con covarianza para determinar la influencia del sistema de riego. El análisis de la varianza (ANOVA bifactorial) se utilizó para discriminar el efecto año y sistema de riego en los parámetros productivos y de crecimiento del árbol.

3. Resultados y Discusión

El sistema de riego por goteo subterráneo mejoró la eficiencia en el uso del agua (tabla 1), consiguiendo un ahorro de agua de riego, respecto al sistema de riego superficial, de un 24% y un 15% para 2011 y 2012, respectivamente (figura 1 A y B). El menor volumen de agua aplicado en SUB no afectó al estado hídrico del cultivo (figura 1 C y D), manteniendo un desarrollo del fruto (figura 1 G y H) y una respuesta productiva similar al SUP (tabla 1). Sin embargo, se observó un patrón de crecimiento del tronco diferente entre ambos sistemas de riego (figura 1 G y H). Éste hecho también quedó reflejado en una reducción significativa del ASTT en SUB (tabla 1).

La estabilidad de las líneas base obtenidas para cada sistema de riego no estuvo afectada por cambios anuales en la producción ni la carga de frutos [6], sino principalmente por la dinámica estacional del crecimiento del tronco en cada sistema de riego. Las ecuaciones obtenidas entre Ψ_{md} y las variables climáticas diarias (ET_0 , VPD y T), en ambos años, no estuvieron influenciadas por el sistema de riego (figura 2 A, B y C). Sin embargo, estas ecuaciones fueron diferentes para cada sistema de riego (figura 2 E, F, G), aunque no hubo diferencias significativas en las pendientes de las ecuaciones, indicando que la predicción de MDS fue similar para ambos sistemas de riego (figura 2 D, E y F). En ambos casos, la variable ambiental que mejor se correlacionó con Ψ_{md} y MDS fue T [7]. Finalmente, la relación obtenida entre MDS y Ψ_{md} estuvo significativamente alterada por el sistema de riego, siendo la pendiente menor en los árboles en riego subterráneo, debido principalmente a una diferente dinámica de crecimiento del tronco en SUB (figura 3), poniendo de manifiesto la necesidad de la realización de diferentes líneas de referencia para la programación del riego para ambos sistemas.

4. Conclusiones

De acorde a los resultados obtenidos, el uso de la MDS puede ser adecuado para el ajuste de la programación del riego en limonero, pero determinando las líneas de base para cada sistema de riego.

5. Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente financiado por el "Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias", a través del proyecto RTA 2012-00102-00-00, con la colaboración del Fondo Social Europeo de la Unión Europea FEDER al 80%.

6. Referencias bibliográficas

- [1] Camp C.R., 1998. Subsurface drip irrigation: a review. *Trans. ASAE* 41 (5), 1353–1367.
- [2] Camp C. R., Lamm F. R., Evans R. G., Phene C. J. (2000). Subsurface drip irrigation – past, present and future. In *National Irrigation Symposium*, November 14–16, Phoenix, Arizona, pp. 363–372. ASAE, St. Joseph, MI, USA.
- [3] Fernández J.E., Cuevas M.V., 2010. Irrigation scheduling from stem diameter variations: a review. *Agric. For. Meteorol.* 150: 135–151.
- [4] Turner N.C., 1988. Measurements of plant water status by pressure chamber technique. *Irrig. Sci.* 9, 289–308.
- [5] Goldhamer D.A., Fereres E., (2001) Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrig. Sci.* 20:115–125.
- [6] Ortuño M.F., Brito J.J., García-Orellana Y., Conejero W., Torrecillas A. (2008) Maximum daily trunk shrinkage and stem water potential reference equations for irrigation scheduling of lemon trees. *Irrig. Sci.* 27:121–127
- [7] Ortuño M.F., García-Orellana Y., Conejero W., Ruiz-Sánchez M.C., Alarcón J.J., Torrecillas A. (2006) Stem and leaf water potentials, gas exchange, sap flow, and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. *Trees* 20:1–8.

Tablas y Figuras

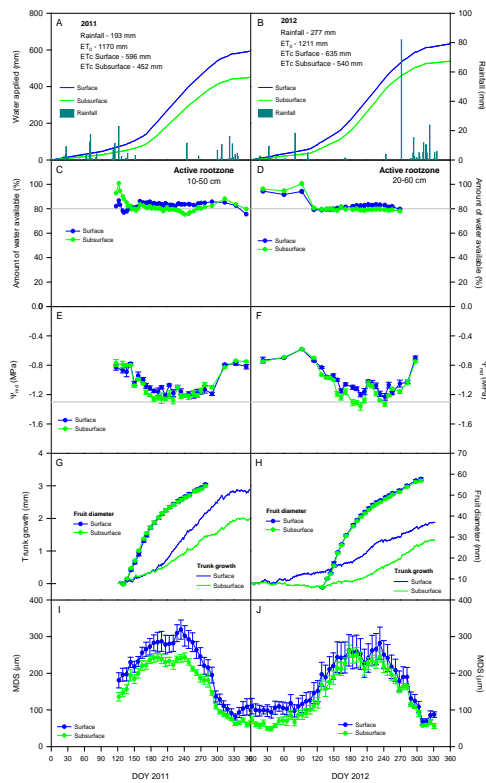
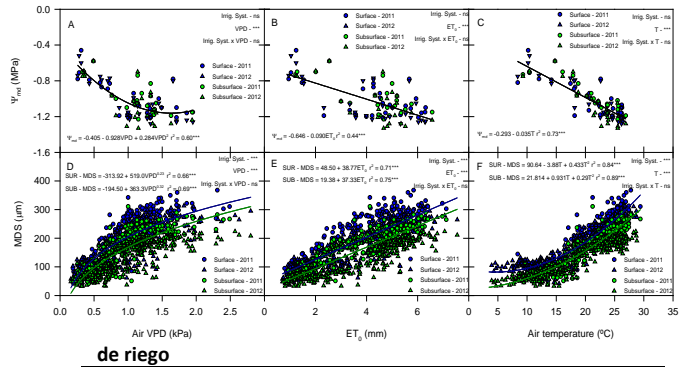


Figura 1. Agua aplicada acumulada (A y B) para cada sistema de riego (SUR y SUB) y lluvia. Evolución estacional (C y D) de la cantidad de agua disponible (AWA) en la zona activa radicular, (E y F) del potencial hídrico de tallo a mediodía (Ψ_{md}), (G y H) del diámetro del fruto y el crecimiento relativo del tronco, (I y J) Valores medios semanales de la máxima contracción diaria del tronco (MDS).

Tabla 1. Parámetros productivos, eficiencia en el uso del agua (EUA) y área de la sección transversal del tronco (ASTT) para ambos sistemas de riego (superficial y subterráneo) durante 2011 y 2012.



de riego
ns, * y ** indica no significativo, $P < 0,05$ y $P < 0,01$, respectivamente. (n=6).

Figura 2. Relaciones entre (Ψ_{md}) y (A) déficit de presión de vapor de aire (VPD), (B) evapotranspiración de referencia (ET_0), (C) temperatura media diaria del aire (T) y relaciones entre (MDS) y (D) déficit de presión de vapor del aire (VPD), (E) evapotranspiración de referencia (ET_0) y (F) temperatura media diaria del aire (T) para cada sistema de riego (SUR) y (SUB). Cada punto es la media de 6 medidas. *** y ns indican $P < 0,001$ y no significativo, respectivamente.

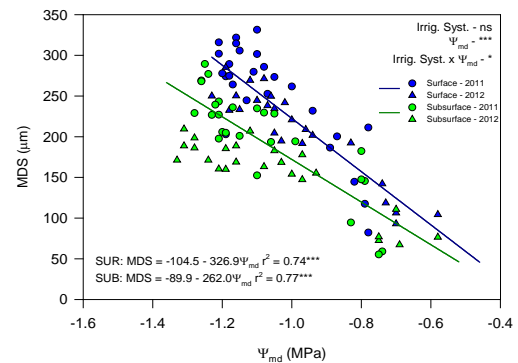


Figura 3. Relación entre la máxima contracción diaria del tronco (MDS) y el potencial hídrico de tallo a mediodía (Ψ_{md}) para cada sistema de riego. Cada punto es la media de 6 medidas. *, *** y ns indican diferencias significativas a $p < 0,05$, $P < 0,001$ y no significativas, respectivamente.