

# Programación del riego del melocotonero mediante medidas de las variaciones del diámetro del tronco

## Aproximación a la estima de las necesidades hídricas

Melocotoneros (*Prunus persica* (L.) Batsch cv. Flordastar) sobre pie de GF-677, de cinco años de edad, se sometieron a dos tratamientos diferentes de riego. Los árboles control (T0) se regaron por encima de sus necesidades hídricas y los del tratamiento T1 se regaron en función de las medidas de la máxima contracción diaria del tronco (MCD), manteniendo la intensidad de señal de la MCD (MCD actual/MCD control (T0)) en valores cercanos a la unidad. Los resultados mostraron que el riego puede programarse basándose exclusivamente en medidas de la MCD, ya que en los árboles del tratamiento T1 no se originó ninguna situación de déficit hídrico, ni se afectó a la producción ni al tamaño de los frutos. Se sugieren aumentos en la frecuencia de programación y/o el porcentaje de incremento de las dosis de riego. La programación del riego manteniendo la intensidad de señal de la MCD en valores muy cercanos a la unidad podría ser utilizada para estimar las necesidades hídricas de los cultivos.

**W. Conejero, J.J. Alarcón\*, M.F. Ortuño, E. Nicolás, A. Torrecillas\*** • Dpto. Riego. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CSIC). Espinardo (Murcia). \* Unidad Asociada al CSIC de Horticultura Sostenible en Zonas Áridas (UPCT-CEBAS). Cartagena (Murcia).  
**Y. García-Orellana** • Dpto. Ingeniería Agrícola. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Venezuela.

### Introducción

La agricultura del sureste español se caracteriza por la elevada productividad del agua de riego, tanto generando valor añadido a la inversión como empleo. Concretamente, la agricultura murciana de regadío, que corresponde al 5% de la superficie regable española, utiliza sólo el 3% del agua empleada en riego en España y contribuye con un 10% a los ingresos nacionales por actividades agrícolas.

A pesar de ello, en los últimos años, se viene afrontando una fuerte competencia por la escasa disponibilidad de agua debido a la creciente expansión de distintos sectores productivos y la imprescindible preservación del medioambiente. Esta situación obliga a intensificar todos los esfuerzos encaminados a racionalizar el uso del agua en agricultura.

La mejora de la eficiencia de los métodos de riego debe conducir a la modernización conjunta de los sistemas de aplicación y de su programación, constituyendo los procedimientos para la programación precisa del riego una de las herramientas más adecuadas para contribuir a su optimización. En este sentido, ensayos en diversas especies arbóreas han confirmado la sensibilidad de las variaciones diarias del diámetro del tronco en respuesta al déficit hídrico, la cual es superior a la de otros indicadores del estado hídrico más convencionales (Goldhamer *et al.*, 1999; Remorini y Massai, 2003; Ortuño *et al.*, 2006), y ya existe bibliografía reciente sobre su utilización en la programación del riego deficitario en almendro y cítricos



(Goldhamer y Fereres, 2004; García-Orellana *et al.*, 2007; Vélez *et al.*, 2007).

El objetivo de este trabajo se centró en verificar la hipótesis de que i) se puede realizar la programación del riego basándose exclusivamente en medidas del diámetro del tronco y ii) que manteniendo la intensidad de señal de la máxima contracción diaria del tronco (MCD) en valores muy cercanos a la unidad, el agua aplicada podría considerarse como una estima de la evapotranspiración del cultivo, siempre y cuando no acontezca drenaje.

### Material y métodos

El ensayo se realizó en una parcela de la finca experimental del CEBAS-CSIC en Santomera (Murcia), con suelo franco-arcilloso, alto contenido en caliza activa, muy bajos niveles de materia orgánica, baja capacidad de intercambio catiónico, y bajos niveles de fósforo y potasio asimilables. El contenido de agua útil y la densidad aparente del suelo fueron  $200 \text{ mm m}^{-1}$  y  $1,58 \text{ g cm}^{-3}$ , respectivamente. Los niveles de humedad volumétrica del suelo a saturación y capacidad de campo fueron 0,49 y  $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , respectivamente.

El experimento se realizó en melocotoneros extratemperanos (*Prunus persica* (L.) Batsch cv. Flordastar) sobre patrón GF-677 plantados a  $5 \times 5 \text{ m}$  (Foto 1), los cuales sombreaban el 54% del marco de plantación. Los árboles se aclararon manualmente el día del año (DA) 70, 30 días después de la plena floración. Los tratamientos fitosanita-

rios y la fertilización fueron los habituales de la zona. Las malas hierbas se controlaron con herbicidas.

Desde el 29 de enero (DA 29) al 10 de noviembre (DA 314) de 2006, los árboles del tratamiento control (T0) se regaron por encima de las estimas de la evapotranspiración del cultivo (155% ETC) a fin de obtener condiciones no limitantes de agua en el suelo. Los requerimientos hídricos de la plantación se estimaron a partir de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>), calculada usando la ecuación de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), un coeficiente de cultivo basado en el momento del año (FAO 56, Allen *et al.*, 1998) y el porcentaje de suelo sombreado.

Desde el 18 de marzo (DA 77) la programación del riego de los árboles del tratamiento T1 se realizó a fin de mantener la intensidad de señal de la MCD (valor actual de la MCD/valor de referencia de la MCD (T<sub>0</sub>)) a valores lo más cercanos posible a la unidad. La dosis de riego se disminuyó un 10% cuando la intensidad de señal de la MCD de al menos dos días, de tres consecutivos, no superó la unidad. La dosis de riego se incrementó un 10% cuando la intensidad de señal de la MCD de al menos dos días, de tres

**La mejora de la eficiencia de los métodos de riego debe conducir a la modernización conjunta de los sistemas de aplicación y de su programación**



Árboles de melocotonero Flordastar sobre patrón GF-677



Detalle de la colocación del sensor LVDT y el portasensor sobre el tronco

consecutivos, superó la unidad. Este protocolo de riego se basó en el propuesto por Goldammer y Fereres (2001) para árboles adultos con alta frecuencia de riego.

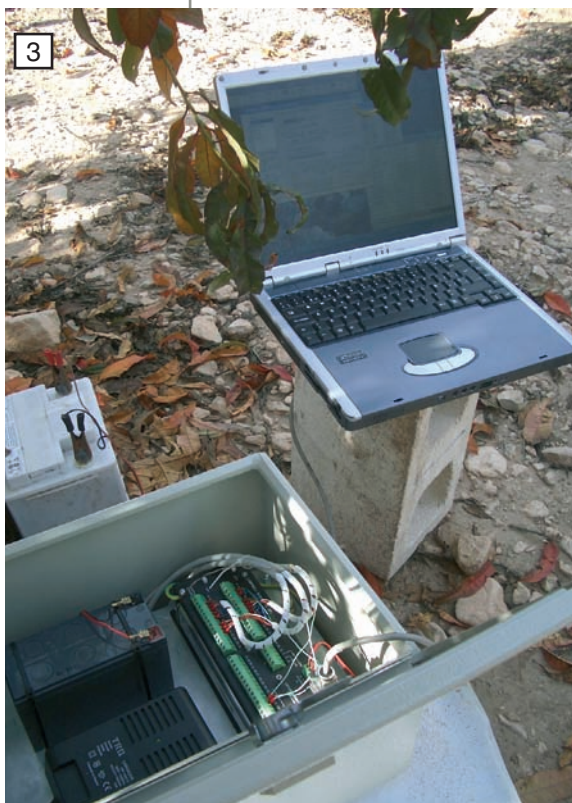
El contenido volumétrico de agua en el suelo ( $\theta_v$ ) en los primeros 150 mm del perfil se midió mediante TDR, como describieron Moreno *et al.* (1996). El contenido de  $\theta_v$  entre 0,2 y 0,8 m de profundidad se midió a intervalos de 0,1 m utilizando una sonda de neutrones, previamente calibrada.

El potencial hídrico del tallo al mediodía ( $\Psi_{\text{tallo}}$ ) se midió en hojas envueltas en papel de aluminio y bolsa de plástico al menos dos horas antes de las medidas con cámara de presión. Los niveles de conductancia foliar y fotosíntesis neta se midieron al mediodía con un medidor Li-Cor, LI-6400.

Las variaciones micrométricas del diámetro del tronco se midieron en cuatro árboles por tratamiento usando sensores LVDT (Foto 2). Las medidas se realizaron cada 2 s y el datalogger se programó para suministrar valores medios cada 15 min (Foto 3). Los valores de la MCD se calcularon como la diferencia entre los valores diarios del máximo y el mínimo diámetro del tronco.

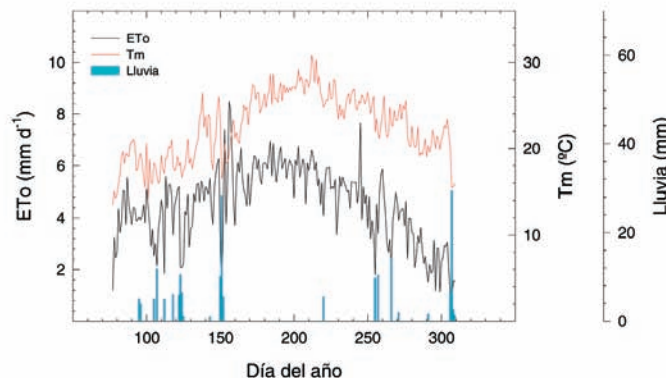
El efecto de los tratamientos de riego sobre el tamaño de los frutos se estudió evaluando la producción comercial y la no comercial (Foto 4), como la proporción de frutos con diámetro por encima y por debajo de 56 mm, respectivamente. De acuerdo con la directiva comunitaria 3596/90 (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación 1995), 56 mm es el diámetro mínimo para que un fruto sea considerado de categoría extra, la cual puede subdividirse en diferentes categorías: A, 73 mm > diámetro  $\geq$  67 mm; B, 67 mm > diámetro  $\geq$  61 mm y C, 61 mm > diámetro  $\geq$  56 mm.

Equipo para almacenamiento y análisis de datos



**Gráfico 1**

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>, línea negra), temperatura media diaria (T<sub>m</sub>, línea roja) y lluvia (barras verticales azules) durante el periodo experimental.



## Resultados

Los valores diarios de ETo incrementaron desde el inicio del ensayo, alcanzando valores máximos en julio y disminuyendo posteriormente (Gráfico 1). Durante el ensayo, ETo alcanzó un valor total de 1059 mm y la pluviometría registrada fue de 237,4 mm, aconteciendo principalmente en primavera y otoño (Gráfico 1). Las temperaturas medias máxima y mínima diaria fueron 30,9 y 7,7 °C, respectivamente, y la humedad relativa media fue del 61,1 % (datos no mostrados).

Las variaciones en los valores diarios de la MCD en ambos tratamientos de riego fueron pronunciadas, presentando una clara tendencia a aumentar hasta finales de julio y a disminuir posteriormente (datos no mostrados). Las diferencias entre los valores de la MCD en ambos tratamientos fueron muy escasas, y ocurrieron sólo al principio de la fase III de crecimiento del fruto (datos no mostrados).

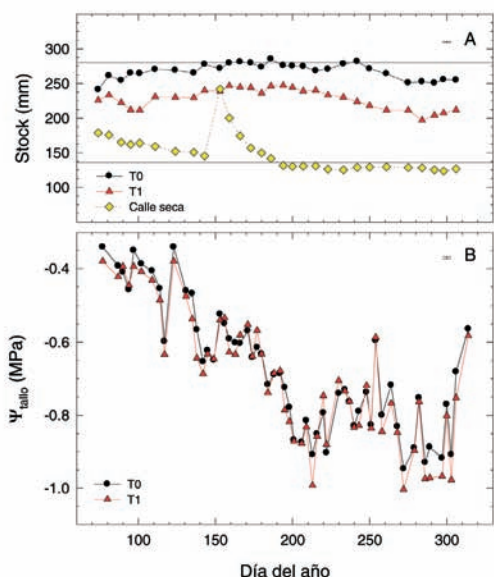
Los valores de  $\theta_v$  de 0 a 0,80 m de profundidad en el suelo del tratamiento T0 fueron casi constantes durante



Control de la producción de melocotón

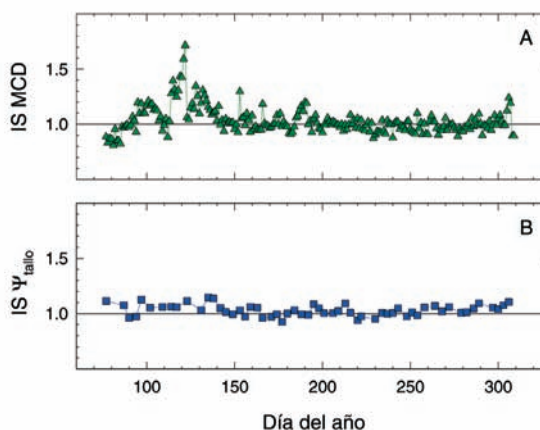
**Gráfico 2**

Contenido volumétrico de agua en el suelo hasta 0.80 m de profundidad (A), y potencial hídrico del tallo al mediodía ( $\Psi_{\text{tallo}}$ ) (B) en los tratamientos T0 (puntos negros) y T1 (puntos rojos) durante el periodo experimental. Los símbolos amarillos indican el contenido de humedad en el suelo de la calle seca. Las líneas horizontales, de arriba a abajo, indican los contenidos de agua en el suelo a capacidad de campo y punto de marchitez permanente, respectivamente. Las barras verticales indican el doble del ES de la media global.



**Gráfico 3**

Evolución de la intensidad de señal (IS) de la MCD (símbolos verdes, A) y del  $\Psi_{\text{tallo}}$  (símbolos azules, B) en los árboles del tratamiento T1 durante el periodo experimental.



portamiento de la intensidad de señal de la MCD durante los tres días precedentes (Gráfico 4). De esta manera, durante el periodo experimental, el riego total aplicado a los árboles del tratamiento T1 (654,5 mm) fue un 7% inferior al valor de la ETc (704,9 mm), y el agua aplicada a los árboles del tratamiento T0 alcanzó los 1089,7 mm. Las diferencias entre la ETc estimada y el riego total aplicado al tratamiento T1 se debieron fundamentalmente a los periodos comprendidos entre el inicio del ensayo y el DA 106 (fase I y primera mitad de la fase II de crecimiento del fruto), y entre los DA 193 y 268 (Gráfico 4).

No se detectaron diferencias entre tratamientos atendiendo al número de frutos por árbol, ni por unidad de sección del tronco (datos no mostrados). Además, los rendimientos de ambos tratamientos fueron similares, no detectándose diferencias significativas en la proporción de frutos correspondientes a las categorías extra A, B y C, ni en la de frutos no comercializables (datos no mostrados).

**Discusión**

El hecho de que las plantas de los tratamientos T1 y T0 presentasen niveles iguales de  $\Psi_{\text{tallo}}$  (Gráfico 2B), e intercambio gaseoso (datos no mostrados) durante todo el ensayo, así como que la producción de frutos y las características de estos fueran similares en ambos tratamientos (datos no mostrados) indicó que el estado hídrico de los árboles del tratamiento T1 no resultó afectado por el procedimiento de programación del riego.

Por otra parte, la sensiblemente inferior variabilidad de los niveles de intensidad de señal del  $\Psi_{\text{tallo}}$  en relación a la de la MCD (Gráfico 3), vino a confirmar la alta sensibilidad de la MCD para detectar cambios en el estado hídrico de las plantas (Ortuño *et al.*, 2005, 2006; Conejero *et al.*, 2007).

La baja variabilidad de los valores de intensidad de señal de la MCD tras la recolección y su proximidad al valor umbral seleccionado (Gráfico 3A) demuestra que el ajuste de las dosis de riego aplicado se realizó de forma adecuada

todo el periodo experimental, presentando niveles cercanos a los de capacidad de campo, y superiores a los encontrados en el suelo del tratamiento T1 (Gráfico 2A). Los niveles de humedad en el perfil del suelo del tratamiento T1 se caracterizaron por el hecho de que por debajo de los 600 mm fueron claramente inferiores a los correspondientes a capacidad de campo, indicando la inexistencia de drenaje (datos no mostrados).

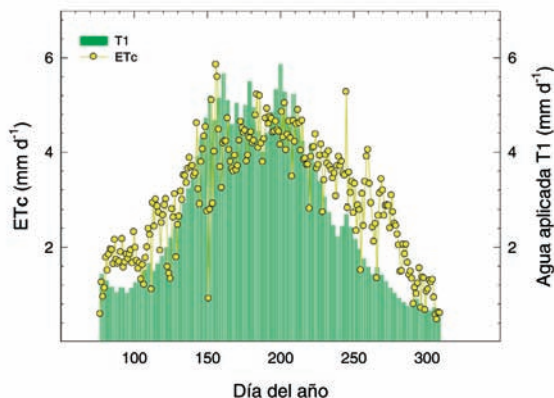
A excepción del DA 138, no se observaron diferencias significativas entre tratamientos en los valores de  $\Psi_{\text{tallo}}$  (Gráfico 2B). Además, los valores de conductancia foliar y fotosíntesis neta fueron iguales en ambos tratamientos (datos no mostrados).

Las evoluciones de los valores de las intensidades de señal de la MCD y del  $\Psi_{\text{tallo}}$ , definida la correspondiente a este último indicador de la misma manera que para el anterior, presentaron dos comportamientos diferenciados (Gráfico 3). Mientras que la intensidad de señal del  $\Psi_{\text{tallo}}$  fue prácticamente igual a la unidad durante todo el ensayo (Gráfico 3B), la intensidad de señal de la MCD presentó dos etapas diferentes (Gráfico 3A), una tras la recolección, en la cual la intensidad de señal de la MCD fue muy cercana a la unidad (coeficiente de variación (CV) = 0,083), mientras que la otra aconteció en el periodo previo a la recolección, en la cual la variación de la intensidad de señal de la MCD fue más pronunciada (CV = 0,168).

Las dosis de riego aplicadas a las plantas del tratamiento T1 durante cada período de tres días reflejaron el com-

**Gráfico 4**

Niveles diarios de la evapotranspiración del cultivo de referencia estimada (ETc) (símbolos amarillos) y dosis de riego aplicado a las plantas del tratamiento T1 (líneas verticales verdes) durante el periodo experimental.



(Gráfico 4). Esto confirma la capacidad de este parámetro para ajustar el programa de riego conforme se produce la información y, por tanto, que la programación del riego en melocotonero puede basarse exclusivamente en medidas de la MCD (Goldhamer y Fereres, 2004; García-Orellana *et al.*, 2007; Vélez *et al.*, 2007).

Por otra parte, el hecho de que las desviaciones de la MCD durante la fase III (DA 103-135) de crecimiento del fruto fuesen mayores de lo esperado (Gráfico 3A), evidenció una menor precisión de la programación del riego en ese período, posiblemente debido a que en esos momentos incrementos del 10% en las dosis de riego son insuficientes o que el riego debería programarse más frecuentemente.

Durante periodos en los cuales la intensidad de señal de un indicador del estado hídrico basado en medidas en la planta presenta valores muy cercanos a la unidad, es evidente que el estado hídrico no refleja ninguna situación de estrés asociada al riego. Por tanto, si no se produce drenaje, el riego aplicado podría ser considerado como una estima de la evapotranspiración actual y ser comparada con la ETc. En este sentido, teniendo en cuenta que durante el período posterior a la cosecha el coeficiente de variación de la MCD fue sólo de 0,083 (Gráfico 3A), los valores de la ETc estimada (584 mm) sobrealizaron menos del 5% la evapotranspiración de los melocotoneros estimada a partir de la dosis de riego aplicada (558,1 mm) (Gráfico 4). Por lo cual, y teniendo en cuenta las modificaciones en el protocolo de riego propuestas, la programación del riego basada en medidas de la intensidad de señal de la MCD puede considerarse un prometedor procedimiento para la estima de los requerimientos de riego de los cultivos.

## Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos, cabe concluir que la programación del riego basada en medidas de la MCD es capaz de no inducir situaciones de déficit hídrico del cultivo, no afecta ni la producción ni el tamaño de los frutos, y puede realizarse atendiendo exclusivamente a medidas de la MCD. No obstante, podrían introducirse algunas modifica-

ciones en el protocolo de riego ensayado a fin de disminuir en mayor medida las desviaciones de la intensidad de señal de la MCD por encima del valor umbral. Estas modificaciones podrían consistir en aumentos de la frecuencia de programación del riego y/o aumentos del porcentaje de incremento del agua aplicada. Además, la programación del riego manteniendo la intensidad de señal de la MCD en valores muy cercanos a la unidad podría ser utilizada cuando no se dispone de coeficientes de cultivo desarrollados a escala local.

## Agradecimientos

Este trabajo se encuadra dentro de las actividades financiadas por los proyectos CICYT/FEDER AGL2004-0794-C03-02, IRRIVAL (EC, FP6-FOOD-CT-2006-023120) y Consolider-Ingenio 2010 (CSD2006-0067).

## Bibliografía

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage 56, FAO, Roma.
- Conejero, W., Alarcón, J.J., García-Orellana, Y., Abrisqueta, J.M., Torrecillas, A. 2007. Daily sap flow and maximum daily trunk shrinkage measurements for diagnosing water stress in early maturing peach trees during the post-harvest period. Tree Physiol. 27:81-88.
- García-Orellana, Y., Ruiz-Sánchez, M.C., Alarcón, J.J., Conejero, W., Ortuño, M.F., Nicolás, E., Torrecillas, A. 2007. Preliminary assessment of the feasibility of using maximum daily trunk shrinkage for irrigation scheduling in lemon trees. Agr. Water Manage. 89: 167-171.
- Goldhamer, D.A., Fereres, E. 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. Irrig. Sci. 20:115-125.
- Goldhamer, D.A., Fereres, E. 2004. Irrigation scheduling of almond trees with trunk diameter sensors. Irrig. Sci. 23:11-19.
- Goldhamer, D.A., Fereres, E., Mata, M., Girona, J., Cohen, M. 1999. Sensitivity of continuous and discrete plant and soil water status monitoring in peach trees subjected to deficit irrigation. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 124:437-444.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1995. Normas de calidad para frutas y hortalizas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General de Alimentación. Madrid.
- Moreno, F., Fernández, J.E., Clothier, B.E., Green, S.R. 1996. Transpiration and root water uptake by olive trees. Plant Soil 184:85-96.
- Ortuño, M.F., Alarcón, J.J., Nicolás, E., Torrecillas, A. 2005. Sap flow and trunk diameter fluctuations of young lemon trees under water stress and rewatering. Environ. Exp. Bot. 54:155-162.
- 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.
- Remorini, D., Massai, R. 2003. Comparison of water status indicators for young peach trees. Irrig. Sci. 22:39-46.
- Vélez, J.E., Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. 2007. Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage. Agr. Water Manage. 90:197-204.