

# Programación del riego deficitario en almendro con dendrómetros. Optimización del uso del agua

Pagán Rubio, E. (P)<sup>1</sup>, Pérez Pastor, A.<sup>1,2</sup>, Nortes Tortosa, P.A.<sup>3</sup>, Egea Cegarra, G. <sup>1</sup>, Domingo Miguel, R.<sup>1,2</sup>

## RESUMEN

Se presentan los primeros resultados, a nivel de relaciones hídricas y respuesta agronómica, de almendros regados en base a la máxima contracción diaria de diámetro de tronco (MCD). El objetivo del trabajo fue evaluar la utilidad y funcionalidad de la MCD en el establecimiento de estrategias de riego deficitario controlado (RDC). El ensayo se llevó a cabo durante la campaña de riego 2006, en almendros (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb cv. 'Marta') de 7 años de edad y en riego por goteo. Se ensayaron tres tratamientos: i) control (CTL), regado al 120% de la evapotranspiración máxima estimada del cultivo (ETc), ii) riego deficitario controlado tradicional (RDC<sub>t</sub>) con riego al 100% de ETc, excepto durante la fase de llenado del grano (Fase IV, junio-agosto) en la que se regó al 30% de ETc y, iii) riego deficitario controlado en base a dendrómetros (RDC<sub>d</sub>), programado para mantener la intensidad de señal ( $MCD_{RDCd}/MCD_{CTL}$ ) en torno a 1,1, excepto durante la fase IV que fue de 1,4. El volumen de riego aplicado al control fue de 7400 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, y el ahorro de agua de los tratamientos de RDC<sub>t</sub> y RDC<sub>d</sub> respecto al control, del 48 y 54%, respectivamente. El nivel de déficit hídrico alcanzado fue muy similar en ambos tratamientos deficitarios, a excepción de mediados de verano, en el que la intensidad de estrés fue superior en RDC<sub>d</sub>. Durante la fase IV, diferencias medias de potencial de tallo entre 0.33 y 1.48 MPa, respecto al control, cesaron el crecimiento del tronco. La eficiencia productiva fue muy superior en los tratamientos de riego deficitario controlado. En consecuencia, aunque son conocidas las ventajas del RDC en almendro y la posibilidad de ser programado a partir de sensores en planta, es necesario implementar el sistema de programación con los algoritmos necesarios para que pueda ser más práctico y utilizado a nivel comercial.

## Abstract

First results related to plant water relation and agronomical response of almond trees irrigated using maximum daily shrinkage (MDS) is presented. The aim of the study was to evaluate the usefulness and functionality of MDS when establishing regulated deficit irrigation (RDI) strategies. The experiment was carried out during the irrigation season of 2006, with 7 years-old drip irrigated almonds (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb cv. 'Marta'). Three irrigation treatments were: i) control (CTL), irrigated with 120% of ETc, ii) traditional RDI (RDI<sub>t</sub>) receiving 100% ETc, except during the kernel-filling stage (stage IV, June-August) where 30% ETc was supplied, iii) dendrometry-based RDI (RDI<sub>d</sub>), programmed to maintain the signal intensity ( $MCD_{RDI d}/MCD_{CTL}$ ) over 1.1, except during stage IV which was 1.4. The amount of water applied to the control was 7400 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> and the water saving in RDI treatments was 48 and 54%, respectively, respect to control. Water stress levels reached were very similar in both RDI treatments, with the exception of the middle of the summer where RDC<sub>d</sub> level stress

<sup>1</sup> Dpto. Producción Vegetal. ETSIA. Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT) Paseo Alfonso XIII, 52, E-30203. Cartagena, España.

<sup>2</sup> Unidad Asociada al CSIC de Horticultura Sostenible de Zonas Áridas. (UPCT-CEBAS).

<sup>3</sup> Dpto. de Ingeniería de los Alimentos y del Equipamiento Agrícola. Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT).

(P). Tel.: +34-968-327094; Fax: +34-968-325433 e-mail: elisa.pagan@upct.es

showed a higher intensity. Consequently, although RDI advantages in almond trees and the possibility of being programmed with plants-based sensors are known, implement the programming system with proper algorithms in order to use it on commercial orchard is needed.

## INTRODUCCIÓN

La cuenca mediterránea es un área en la que tradicionalmente el almendro se ha cultivado en seco. Sin embargo y a pesar de su rusticidad y buena adaptación a la sequía, su producción no suele superar los 150 kg de pepita ha<sup>-1</sup>. Producción, actualmente insuficiente en términos de competitividad y rentabilidad. Torrecillas *et al.*, (1989), Hutmacher *et al.* (1994), Goldhamer y Shackel (1989), entre otros, pusieron de manifiesto la excelente respuesta del almendro al riego. Otros como, Girona y Marsal (1995), Nortes *et al.*, (2002), Romero *et al.*, (2004), Girona *et al.*, (2005), indican que bajo riego deficitario controlado se pueden obtener producciones muy similares a las de árboles en los que se satisfacen sus máximas necesidades, con ahorros de agua superiores al 50%.

La programación del riego en estos últimos trabajos se realizó en base a la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), aplicando un porcentaje de las máximas necesidades del cultivo (ET<sub>c</sub>) de acuerdo con su estado fenológico. Independientemente de los buenos resultados obtenidos, existe la necesidad de desarrollar nuevos métodos de programación que puedan minimizar las incertidumbres en cuanto a la determinación exacta de las exigencias hídricas en cada período (Federes y Soriano, 2007). Los métodos que más interés están suscitando en los últimos años son los basados en el estado hídrico del árbol, al integrar éste las condiciones de su entorno, clima y suelo. Dentro de esta línea se encuentran los parámetros derivados de las fluctuaciones de diámetro de tronco (FDT), que presentan, frente al potencial de tallo ( $\Psi_t$ ), la ventaja de su posible automatización. Distintos grupos de investigación han elaborado líneas base o de referencia, en las que se relaciona la MCD de árboles bien regados con el déficit de presión de vapor (MCD vs. DPV), con fines de programación del riego y algunos de ellos las han puesto en práctica (Ortuño *et al.*, 2006). En ciruelo japonés cv. 'Black-Gold', Castel (comunicación personal) programaron, durante 3 años, un tratamiento de RDC con dendrómetros a partir de una intensidad de señal, MCD/MCDref, 1,5/1/1,7 (mayo/junio-cosecha/poscosecha). El ahorro de agua conseguido fue del 42% respecto a árboles bien regados, y aunque la producción no se vio afectada, el crecimiento relativo del tronco fue sensiblemente menor. Una de las ventajas de este método de programación es que una vez hayan sido fijados los umbrales de riego o intensidades de señal para cada estado fenológico, éstos pueden ser más fácilmente reproducibles en lugares distintos a los del ensayo. En esencia el método consiste en partir de una dosis de riego determinada por el método tradicional e ir corrigiéndola en un porcentaje al alza o a la baja de modo que el ratio MCD/MCDref (línea base) o MCD/MCDcontrol (MCD de árboles control) medido se situé lo más próximo posible al valor fijado.

Por todo ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar la utilidad y funcionalidad de la MCD en el establecimiento de estrategias de riego deficitario controlado (RDC) en almendros.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### *Características de la parcela experimental*

El ensayo se llevó a cabo durante el año 2006, en una plantación de almendros de 7 años de edad (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb) cv. 'Marta' injertados sobre patrón Mayor (*Prunus dulcis* vs. *Prunus persica*), de aproximadamente 1,25 ha y perteneciente a la Estación Experimental Agroalimentaria (ESEA). Tomás Ferro, ubicada en La Palma, Cartagena (37° 41' N, 0° 57' E, 45 m de altitud). La parcela de ensayo fue de 0,5 ha.

El suelo de textura franco-arcillo-limosa, con un contenido de agua útil de 0,18 m<sup>-1</sup> y densidad aparente de 1,4 g cm<sup>-3</sup>, es pobre en materia orgánica, rico en fósforo y no presenta problemas de salinidad (CE<sub>e</sub> = 1,4 dS m<sup>-1</sup>). El agua de riego procedente del trasvase Tajo-Segura tuvo una CE<sub>25°C</sub> de 1,20 dS m<sup>-1</sup>. Todos los árboles recibieron idénticos cuidados agrícolas.

El clima fue típicamente mediterráneo con una evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub> Penman-Monteith) de 1418 mm y 377 mm de pluviometría anual. Los árboles se regaron por goteo a partir de un lateral de riego por hilera de árboles, con seis emisores autocompensantes de 4 l h<sup>-1</sup> por árbol.

### *Tratamientos de riego*

Se ensayaron 3 tratamientos de riego, según un diseño estadístico de bloques al azar con tres repeticiones de 12 árboles por tratamiento:

CTL, regado al 120 % ET<sub>c</sub> (Evapotranspiración máxima del cultivo) al objeto de evitar condiciones limitantes de agua en el suelo. La ET<sub>c</sub> se determinó a partir de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub> de Penman-Monteith), y los coeficientes de cultivo obtenidos en los dos últimos años en árboles de porte similar cultivados en lisímetros de drenaje y en la misma plantación.

RDC<sub>t</sub>, similar al CTL, excepto durante el periodo de rápida acumulación de materia seca del grano (Fase IV, junio - mediados de agosto), que se regó al 30% ET<sub>c</sub>.

RDC<sub>d</sub>, riego programado semanalmente, para mantener la intensidad de señal (MCD<sub>RDCd</sub>/MCD<sub>CTL</sub>) en torno a 1,1, excepto durante la fase IV que fue de 1,4.

### *Medidas*

Se midió el potencial hídrico de tallo a mediodía ( $\Psi_t$ ) en hojas adultas, sanas y próximas al tronco (5 por tratamiento), con cámara de presión (Soil Moisture Equip. Corp., modelo 3000), según las indicaciones de Hsiao (1990). Se utilizó la integral de estrés (Gonzalez-Altozano y Castel, 1999) a partir de los datos de  $\Psi_t$ , para cuantificar los efectos del estrés hídrico sobre el crecimiento vegetativo, a través de la ecuación:

$$S_{\Psi} = \left| \sum_{i=0}^{i=t} (\bar{\Psi}_{i,i+1} - \Psi_c) n \right| \quad (\text{MPa} \cdot \text{día})$$

donde:  $\bar{\Psi}_{i,i+1}$ , es la media de las medidas de potencial hídrico de tallo para el intervalo  $i, i+1$ ; y  $\Psi_c$ , el máximo potencial hídrico de tallo medido durante el periodo estudiado (-0,56 MPa), y  $n$  el número de días en el intervalo.

Para la determinación de la conductancia estomática ( $g_s$ ) se empleó un sistema portátil de medida de fotosíntesis (CIRAS-2, PP-system), en un número de hojas similar al de

$\Psi_t$  y situadas en el tercio medio de ramas soleadas. Las medidas se tomaron en condiciones de saturación de luz, con un valor de radiación fotosintéticamente activa (PAR) de  $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

La fluctuación de diámetro de tronco se obtuvo a partir de sensores LVDT, cinco por tratamiento, cada 15 minutos en un datalogger CR23X (Campbel Sci., Inc.). La MCD se obtuvo de acuerdo a Goldhamer y Fereres (2001), y la evolución del crecimiento del tronco, a partir de los valores máximos diarios (MXDT).

A final de año se controló la poda de todos los árboles. Las ramas de poda de cada árbol fueron inmediatamente pesadas en campo con balanza Scaltec Mod. SSH91, capacidad 150 kg, resolución  $\pm 5$  g. Se estimó el peso seco de la madera eliminada durante la poda, a partir de la relación obtenida en la misma parcela (Peso Seco (kg) =  $0,61\text{Peso Fresco} + 0,1$ ,  $R^2 = 0,99^{***}$ ).

La producción y calidad de la cosecha se determinó a partir de cinco árboles por tratamiento y repetición, en los que se pesó la producción total y se determinó el número de frutos por árbol. Así mismo, se determinó el peso medio del grano y rendimiento al descascarado.

La eficiencia de uso del agua se expresó como el cociente entre la producción almendra grano y la cantidad de agua aplicada (riego + lluvia).

El análisis de varianza (ANOVA) se realizó con el programa SPSS versión 13.0 para Windows, así como la prueba de comparación múltiple de Tukey, al nivel de confianza del 95%.

#### *Agua aplicada*

La tabla 1 recoge los aportes de agua aplicados a cada uno de los tratamientos. Las estrategias de RDC supusieron ahorros de agua en torno al 50%, siendo ligeramente superior en el tratamiento cuya programación se basó en el uso de dendrómetros ( $\text{RDC}_d$ ).

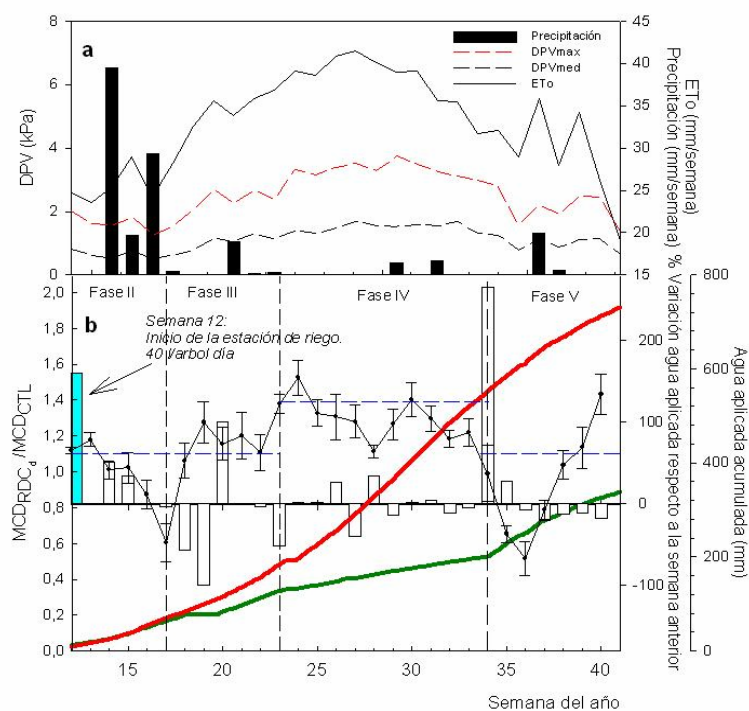
**Tabla 1.** Volúmenes de riego aplicados por tratamiento y porcentaje de ahorro en relación al control.

Tratamiento	Agua aplicada ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ )	Ahorro de agua (%)
CTL	7403	-
$\text{RDC}_t$	3860	48
$\text{RDC}_d$	3415	54

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante las fases II y III del cultivo la intensidad de señal ( $\text{MCD}_{\text{RDC}_d} / \text{MCD}_{\text{CTL}}$ ) se mantuvo en torno a 1,1, excepto al final de la fase II, donde las precipitaciones acaecidas situaron esta relación por debajo de 1 (Figura 1.b). Este hecho motivo la suspensión del riego hasta situar el valor por encima del umbral establecido. Durante la fase IV la intensidad señal se situó en torno a 1,4, al ser ésta poco sensible al déficit hídrico. Durante la semana 28, un error en la programación del riego disminuyó de forma importante la intensidad de señal, la que fue corregida la semana siguiente.

Al finalizar la fase IV e inmediatamente después de la recolección, se aplicaron aportes hídricos idénticos al tratamiento CTL, al objeto de ajustar la nueva intensidad de señal, lo que provocó una caída de ésta, incluso por debajo del umbral establecido. Cuatro semanas después se alcanzó el nivel deseado (Figura 1.b). Este hecho indica que en almendro, la restitución del riego tras un período de déficit hídrico severo, se debe ser realizada de forma más gradual.



**Figura 1.** Evolución del déficit de presión de vapor (DPV) medio y máximo, evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ) y precipitación (a). Valores medios de intensidad de señal ( $MCD_{RDC_d} / MCD_{CTL}$ ) ( $\bullet$ ), variación de agua aplicada en  $RDC_d$  ( $\square$ ) y volumen acumulado de riego en los tratamientos  $RDC_d$  ( $\text{---}$ ) y CTL ( $\text{---}$ ), según fase fenológica (b). La barra azul representa la dosis inicial de riego. La intensidad de señal corresponde a la media de 5 medidas  $\pm$  ES.

El crecimiento del diámetro de tronco durante 2006 en  $RDC_d$  fue un 38,4% inferior al del CTL (Figura 3), a pesar del crecimiento compensatorio experimentado durante la fase V, tras el ajuste de la intensidad de señal a 1,1. El tratamiento CTL mantuvo su crecimiento durante todo el ciclo, si bien su tasa de crecimiento disminuyó con el inicio de la fase IV.

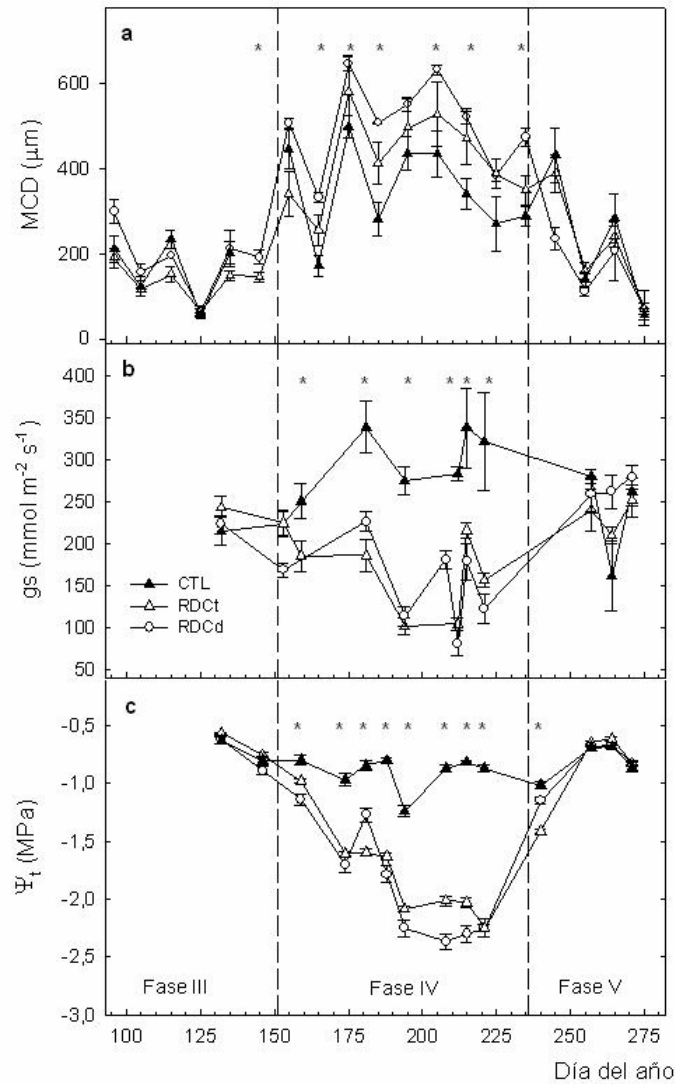
#### Indicadores del estado hídrico de la planta

El valor medio del potencial de tallo ( $\Psi_t$ ), en el tratamiento control, fue -0,86 MPa, con valores relativamente constantes y por encima de -1,00 MPa a excepción del día 194 que fue altamente demandante (Figura 2c). Estos valores son típicos de árboles bajo condiciones no limitantes de agua en el suelo (Shackel *et al.*, 1997).

Los tratamientos de RDC mantuvieron valores de  $\Psi_t$  próximos a CTL durante las fases III y V, en las que se aplicaron dosis de riego muy parecidas al CTL. Los valores mínimos alcanzados durante la fase IV fueron -2,30 y -2,45 MPa para  $RDC_t$  y  $RDC_d$ , respectivamente, niveles similares a los obtenidos por Romero *et al.*, (2004) en

almendros adultos en RDC. Durante la fase poscosecha (Fase V) no se dieron situaciones de déficit hídrico en ningún tratamiento (Shackel *et al.*, 1997).

Los niveles de conductancia estomática en CTL fueron iguales o superiores a  $250 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Figura 2 b). Estos valores fueron superiores a los obtenidos por Romero *et al.*, (2004) bajo condiciones edafoclimáticas similares. En los tratamientos de RDC, gs fue inferior al control durante toda la fase IV, con reducciones medias del orden del 45%. En RDC los valores mínimos de gs coincidieron con los niveles de  $\Psi_t$  más bajos. (Figura 2 b y c). De acuerdo con los resultados obtenidos tanto el potencial hídrico como la conductancia estomática fueron indicadores sensibles y consistentes con el regimen hídrico aplicado tal y como fue observado por Hutmacher *et al.* (1994).



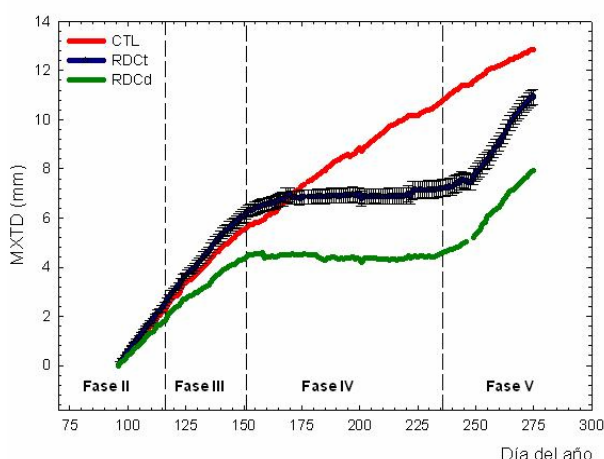
**Figura 2.** Evolución de la máxima contracción diaria (MCD) (b), conductancia estomática (gs) (c) y potencial hídrico de tallo ( $\Psi_t$ ) (d) durante el período experimental, para los tres tratamientos de riego. Cada símbolo representa la media de 5 medidas  $\pm$  ES. \* indica diferencias significativas entre tratamientos según el test de Tukey ( $p < 0,05$ ).

MCD aumentó a medida que lo hizo la demanda evaporativa. Durante la fase IV los valores fueron superiores en los tratamientos de RDC, consecuencia de la reducción de los volúmenes de riego (Figura 2a).

El aumento de la dosis de riego en RDC (Fase V), igualó, al día siguiente, la MCD de éstos a la del CTL. Sin embargo,  $\Psi_t$  necesitó un tiempo superior a los 4 días (Figura 1b y 2a).

### Crecimiento vegetativo

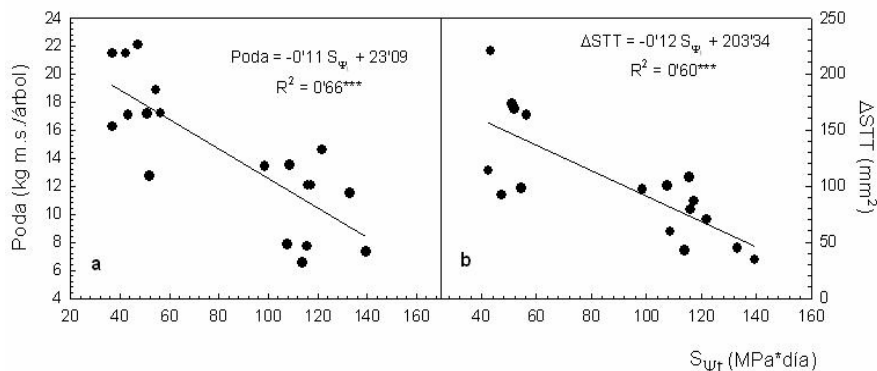
La evolución continua del diámetro de tronco, medida con sensores LVDT, durante el periodo experimental, se muestra en la figura 3, donde se recoge la influencia del régimen de riego sobre el crecimiento del tronco. Los tratamientos de RDC mostraron una función doble sigmoide, debido a la parada del crecimiento durante los meses de verano (Fase IV), como consecuencia de la reducción del riego. Al final del ciclo de crecimiento el incremento de la sección trasversal del tronco disminuyó respecto a CTL, un 23 y 59 % en RDC<sub>t</sub> y RDC<sub>d</sub>, respectivamente; si bien esta reducción sólo fue significativa en RDC<sub>d</sub> (Figura 3 y Tabla 2). Romero *et al.*, (2004) y Hutmacher *et al.* (1994), en almendro, encontraron igualmente, reducciones importantes en la tasa de crecimiento del tronco motivadas por el déficit hídrico. Aunque en CTL no cesó el crecimiento (Figura 3), se observó una ralentización de éste al inicio de la fase IV, lo que a su vez puede ser coincidente con una mayor actividad radical en este período (Abrisqueta *et al.*, 1994).



**Figura 3.** Evolución estacional del diámetro máximo de tronco (MXDT) en los tres tratamientos de riego. Los valores corresponden a la media de 5 sensores  $\pm$  ES.

El incremento de la sección transversal de tronco durante 2006 correlacionó bien con la integral de estrés, determinada a partir del potencial de tallo a mediodía (Figura 4). Similar correlación fue obtenida entre el peso seco de la poda con dicho parámetro lo que demuestra el carácter integrador del crecimiento vegetativo por este parámetro (Tabla 2 y Figura 4).

El peso seco de la poda fue en los tratamientos de RDC, un 46 % menor que en control, siendo el peso medio de éste último de 19,67 kg árbol<sup>-1</sup>. Este hecho ha sido descrito como una importante ventaja de las estrategias de RDC (Mitchel *et al.*, 1989).



**Figura 4.** Relación entre el peso seco de las ramas eliminadas con la poda (a) y el incremento de la sección transversal del tronco ( $\Delta$ STT) (b) con la integral de estrés ( $S_{\Psi_t}$ ).

**Tabla 2.** Valores medios de la madera eliminada en la poda, incremento de la sección del tronco ( $\Delta$ STT) y la integral de estrés para los tres tratamientos de riego ensayados.

Tratamiento	Poda kg arb <sup>-1</sup>	$\Delta$ STT (mm <sup>2</sup> )	$S_{\Psi_t}$ (MPa día)
CTL	19,67 a	122,90 a	43,99 b
RDC <sub>t</sub>	10,61 b	94,05 a	111,10 a
RDC <sub>d</sub>	10,68 b	50,20 b	123,42 a

Las letras distintas indican diferencias significativas según el test de Tukey ( $p < 0,05$ )

### Producción

La producción de almendra-grano del tratamiento RDC<sub>t</sub> fue menor que la del CTL (22,2 %), mientras que la de RDC<sub>d</sub> fue similar (Tabla 3).

El peso medio del grano fue inferior en RDC<sub>d</sub> que en el RDC<sub>t</sub> y CTL posiblemente debido al mayor estrés hídrico alcanzado (Figura 2c) y al mayor número de frutos cosechados. Merms de peso del grano similares han sido descritas por Goldhamer y Shackel (1989) y Goldhamer *et al.* (2006). achacando estas pérdidas a la ocurrencia de déficit hídrico previo a la cosecha. Sin embargo estos resultados muestran que incluso bajo estrés hídrico severo ( $\Psi_t \leq -2,2$  MPa), la acumulación de fotoasimilados en la semilla es poco afectada.

La eficiencia en el uso del agua fue 1,5 y 2 veces superior a CTL en los tratamientos de RDC<sub>t</sub> y RDC<sub>d</sub>, respectivamente.

**Tabla 3.** Componentes de la producción y eficiencia productiva del agua

Tratamiento	Producción grano (kg ha <sup>-1</sup> )	Rendimiento (%)	Peso del grano (g)	E.U.A. (kg m <sup>-3</sup> )
CTL	1712,83 a	29,68 a	1,49 a	0,23
RDC <sub>t</sub>	1332,60 b	29,89 a	1,44 a	0,34
RDC <sub>d</sub>	1589,78 ab	30,58 a	1,29 b	0,46

El rendimiento viene expresado como el porcentaje del ratio: (producción almendra-grano)/(producción almendra cáscara). Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas según el test de Tukey ( $P < 0,05$ ).

## CONCLUSIONES

Los resultados derivados de este estudio muestran al tratamiento RDC<sub>d</sub> como el más eficiente en términos productivos. La eficiencia de uso del agua en RDC fue 1,5 - 2



veces superiores a las del control. Sin embargo, los tratamientos de RDC redujeron el crecimiento vegetativo del árbol y el programado con dendrómetros el peso del grano, el que es considerado un factor de calidad. Si bien hay que tener en cuenta que estos resultados corresponden al primer año de ensayos, y que por tanto los efectos de la reducción del riego pueden tener mayor influencia en la siguiente campaña que en la actual. Volúmenes de riego en torno a  $3.500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  permiten obtener altas producciones en el cultivo del almendro, situándolo en una posición competitiva frente a otros frutales en los que tradicionalmente se han satisfecho sus necesidades hídricas.

El trabajo realizado muestra que es posible realizar una programación en base a la máxima contracción diaria de tronco, si bien nuestros resultados a nivel agua-planta aconsejan una mayor frecuencia en la modificación de los programas al objeto de ajustar la intensidad de señal medida al umbral previamente fijado.

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó al amparo del proyecto financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (AGL2004-07940-C03-03/AGR). E. Pagán recibió una beca del Programa Séneca 2006 con cargo a la convocatoria de “Becas asociadas a la realización de proyectos de I+D, Innovación y Transferencia de Tecnología” de la Fundación Séneca, Agencia Regional de Ciencia y Tecnología.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abrisqueta, J.M., Hernansáez, A., Franco, J.A. 1994. Root dynamics of young almond trees under different drip-irrigation rates. *J. Hort. Sci.* **69**: 237-242.
- Castel, J.R. Utilización de dendrómetros para la programación del riego en ciruelo japonés. (Comunicación personal). Jornadas sobre nuevas tecnologías para la programación del riego en cultivos leñosos. Febrero de 2007. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Fereres, E., Soriano, M. A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, **58**: 147–159.
- Girona, J. y Marsal, J. 1995. Estrategias de RDC en almendro. En: Riego Deficitario Controlado. (M. Zapata y P. Segura, eds). Mundi Prensa. p. 98-118.
- Girona, J., Mata, M. y Marsal, J. 2005. Regulated deficit irrigation during the kernel-filling period and optimal irrigation rates in almond. *Agricultural Water Management*. **75** (2): 152-167.
- Goldhamer, D.A.; Shackel, K. 1989. Irrigation cutoff and drought irrigation strategy effects on almond. 17th Annual Almond Research Conference. Modesto. 35-37.
- Goldhamer, D.A. y Fereres, E. 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrigation Science*, **20** (3): 115-125.
- Goldhamer, D.A., Viveros, M. y Salinas, M. 2006. Regulated deficit irrigation in almonds: effects of variations in applied water and stress timing on yield and yield components. *Irrigation Science*, **24** (2): 101-114.

- González-Altozano, P., Castel, J.R. 1999. Regulated deficit irrigation in 'Clementina de Nules' citrus trees. I: Yield and fruit quality effects. *J. Horticultural Science and Biotechnology* 74 (6): 706-713.
- Hsiao, T.C. 1990. Measurements of plants water status. En: *Irrigation of Agricultural Crops*. (Stewart, B.A., Nielsen, D.R., Eds.), Agronomy Monograph no. 30. Published by ASA, CSSA y SSSA, Madison. Wisconsin. USA. p. 243-279.
- Hutmacher, R.B., Nightingale, H.I., Rolston, D.E., Biggar, J.W., Dale, F., Vail, S.S., Peters, D., 1994. Growth and yield responses of almond (*Prunus amygdalus*) to trickle irrigation. *Irrig. Sci.* 14: 117–126.
- Mitchell, P.D., Van Den Ende, B., Jerie, P.H., Chalmers, D.J. 1989. Responses of "Bartlett" pears to withholding irrigation, regulated deficit irrigation and tree spacing. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114: 15-19.
- Nortes, P.A., Pérez-Pastor, A., Méndez, J. y Domingo, R. 2002. Relaciones hídricas y producción de almendros regados con agua salina. XX Congreso Nacional de Riegos (Ciudad Real). A07 pp. 8.
- Romero, P., Botía, P., García, F. 2004. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on water relations of mature almond trees. *Plant soil.* 260: 155-168.
- Romero, P., Botía, P., García, F. 2004. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on vegetative development and yield of mature almond trees. *Plant soil.* 260: 169-181.
- Shackel, K.A., Ahmadi, H., Biasi, W., Buchner, R., Goldhamer, D., Gurusinghe, S., Hasey, J., Kester, D., Krueger, B. Y Lampinen, B. 1997. Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *HortTech.* 7: 23-29.
- Torrecillas, A., Ruiz-Sánchez, M.C., León, A. y Del Amor, F. 1989. The response on young almond trees to different drip-irrigated conditions. Development and yield. *Journal Horticultural Science*, 64(1): 1-7.