

Estudio comparativo de las relaciones hídricas y producción de almendros bajo riego deficitario controlado y por desecación parcial del sistema radicular

Egea Cegarra, G. (P)¹, Baille, A.³, Domingo Miguel, R.^{1,2}, González Real, M.M.³, Nortes Tortosa, P.A.³, Pagán Rubio, E.¹, Pérez Pastor, A.^{1,2}

Resumen

Con objeto de estudiar la hipótesis de una regulación estomática no hidráulica atribuida a señales de tipo hormonal en plantas sometidas a restricción hídrica mediante la técnica de desecación parcial del sistema radicular (DPR), se realizó un ensayo cuyo objetivo principal fue comparar los efectos del DPR y del riego deficitario controlado (RDC) en las relaciones hídricas y producción del almendro. Para ello, se midió el contenido volumétrico de humedad en el suelo (θ_v), el potencial hídrico de tallo ($\Psi_{t,md}$) y la conductancia estomática (g_s) a mediodía, las contracciones diarias del diámetro de tronco (MCD), el crecimiento vegetativo, generativo y la producción. Se aplicaron tres tratamientos de riego: (i) Control, regado al 120% ETc durante todo el año, (ii) RDC, regado al 100% ETc salvo en la fase de llenado del grano (junio-agosto) donde se regó al 50 % ETc, (iii) DPR, regado al 50% ETc durante toda la estación de riego. El momento de alternancia del riego en DPR se determinó a partir de la monitorización del θ_v con sondas FDR. Durante el período al 50% ETc en RDC, el potencial hídrico de tallo fue similar en ambos tratamientos deficitarios e inferior al de los árboles Control. Sin embargo, el crecimiento vegetativo fue menor en DPR que en RDC, posiblemente debido al hecho de que la fase de rápido crecimiento vegetativo ocurra durante el periodo de riego al 100% ETc. Las medidas de g_s no soportan la hipótesis de un mecanismo diferente de regulación estomática entre ambas estrategias de riego. Sin embargo, las diferencias de MCD sugieren que pueda ocurrir un cierto control estomático no hidráulico asociado a la estrategia de riego, confirmando que MCD es un indicador apropiado del estado hídrico de los árboles. El peso seco del grano no se vio afectado por el régimen hídrico, mientras que la eficiencia productiva, después de dos años de ensayo, fue 47% y 22% superior en DPR respecto al Control y RDC respectivamente.

Abstract

In order to study the hypothesis of a non-hydraulic stomatal regulation due to hormonal signals in water-restricted plants by means of applying the partial root-zone drying (PRD) technique, an experience was carried out to compare water relations and yield effects between PRD and regulated deficit irrigation (RDI) in field-grown almond trees. To this aim volumetric soil water content (θ_v), midday stem water potential ($\Psi_{t,md}$), midday stomatal conductance (g_s), daily trunk diameter shrinkage (MDS), vegetative growth, fruit growth and yield were measured through a whole growing season. Three drip irrigation treatments were applied: (i) Control, irrigated with 120% ETc during the whole season, (ii) RDI, irrigated with 100% ETc, except during the kernel-filling stage (June-August), when 50% ETc was applied, (iii) PRD, irrigated with 50% ETc during the whole season. The switching time in PRD was determined from the information supplied by soil moisture FDR probes. $\Psi_{t,md}$ was found similar in the deficit treatments and lower than in Control trees throughout the period with

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

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

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

(P). Tel.: +34-968-325445; Fax: +34-968-325435 e-mail: gregorio.egea@upct.es

50% ETc in RDI. However, vegetative growth was noticeably lower in PRD in comparison to RDI as a likely consequence of a higher water supply (100% ETc) in RDI during the rapidly vegetative growth period. The measurements of g_s do not support the hypothesis of a different stomatal control mechanism between irrigation strategies. Conversely, differences found in MDS suggest the involvement of some non-hydraulic stomatal control mechanism linked to the irrigation strategy, and confirm that MDS is a reliable trees water status indicator. Almond kernel dry weight was unaffected by water regime, while yield efficiency, after two years of trials, was found 47% and 22% higher in PRD than in both Control and RDI respectively.

1.- Introducción. Objetivos.

La respuesta agronómica del almendro al riego deficitario ha sido ampliamente estudiada, y sus resultados ponen de manifiesto los importantes incrementos de producción experimentados en respuesta al riego. Inicialmente, Goldhamer y Smith (1995) y Torrecillas *et al.* (1989) evaluaron los efectos del riego localizado deficitario. Posteriormente, Girona *et al.* (2005); Goldhamer *et al.* (2006); Nortes *et al.* (2002); Romero *et al.* (2004c), estudiaron el comportamiento del almendro, a lo que Chalmers *et al.* (1986) denominaron RDC (Riego Deficitario Controlado), obteniendo excelentes resultados. De todos estos trabajos queda claro que para una adecuada implantación de este tipo de estrategias se requiere un conocimiento de la fenología del cultivo y de la sensibilidad de cada una de las fases al déficit hídrico.

Otra técnica de riego deficitario a la que en los últimos años distintos grupos de investigación están dedicando especial atención es la denominada riego por Desección Parcial del Sistema Radicular, DPR (Dry *et al.*, 1996). Con esta técnica la mitad del sistema radicular se mantiene en proceso de desecación mediante la alternancia del riego entre las dos mitades del sistema radicular. En muchas especies se ha podido comprobar que cuando la mitad del sistema radicular se expone a desecación se pone en marcha un mecanismo de señales raíz-brote con capacidad para provocar un cierre parcial estomático y consecuentemente un incremento en la eficiencia del uso del agua.

Los primeros y la mayor parte de los trabajos realizados de DPR han sido en vid (Dry *et al.*, 1996), al ser ésta una especie que responde muy bien a este tipo de estrategias. Más adelante, se estudió la idoneidad de distintas especies leñosas para ser manejadas en DPR (Centritto *et al.*, 2005; Wahbi *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2006, en olivo; Kang *et al.*, 2003, en peral; Goldhamer *et al.*, 2002, en melocotonero). Sin embargo, son muy pocos los que comparan los resultados obtenidos con ambas estrategias, es decir, DPR vs RDC. Este hecho es importante de cara a la aplicabilidad de la técnica ya que si no existen claras ventajas frente a RDC su viabilidad se reduce, al ser una técnica más costosa de implantar y de manejar.

Por todo ello, el objetivo de este trabajo fue estudiar y comparar las respuestas agronómicas y fisiológicas de almendros cv. 'Marta' bajo riego deficitario controlado y por desecación parcial del sistema radicular. Se dispuso de un tratamiento Control con aportes hídricos ligeramente superiores a las necesidades máximas estimadas.

2.- Materiales y métodos.

Características de la parcela experimental.

El ensayo se llevó a cabo durante el período 2005-2006 en la Estación Experimental Agroalimentaria (ESEA) "Tomás Ferro" perteneciente a la Universidad Politécnica de Cartagena, situada en el paraje de La Palma, Cartagena (37° 41' N, 0° 57' E). El clima es Mediterráneo con una evapotranspiración de referencia (ET_0) y pluviometría media anual de

1375 mm y 350 mm. El material vegetal utilizado fue almendros (*Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb.) cv. 'Marta' injertados sobre portainjertos 'Mayor' (*Prunus dulcis* vs *Prunus persica*). Los árboles, de 5 años de edad al comienzo de la experimentación y marco de plantación de 7 m x 6 m, se regaron por goteo a partir de uno o dos laterales de riego por hilera de árboles en función del manejo del riego: convencional o por desecación parcial del sistema radicular. Las dosis de riego calculadas se aplicaron a partir de 6 goteros autocompensantes de 4 l h⁻¹ por árbol. El suelo de textura franco-arcillo-limosa, con un contenido de agua útil de 0,18 m m⁻¹ y densidad aparente de 1,4 g/cm³, es pobre en materia orgánica, rico en fósforo y no presenta problemas de salinidad (CE del extracto de saturación de 1.4 dS/m). El agua de riego utilizada presentó una conductividad eléctrica (CE_{25°C}) de 1.20 dS/m. Todos los árboles recibieron idénticos cuidados agrícolas.

Tratamientos de riego

Se aplicaron tres tratamientos de riego: un control regado al 120% ET_c durante toda la estación de riego y dos deficitarios, uno de riego deficitario controlado (RDC) con riego al 100% ET_c, a excepción de la fase de llenado del grano (fase IV, junio – finales de agosto) cuando se aplicó el 50 % ET_c, y otro de desecación parcial del sistema radicular (DPR) con aportes hídricos equivalentes al 50% ET_c. La alternancia de riego entre ambas partes del sistema radicular de los árboles DPR se realizó a partir del seguimiento del contenido de humedad del suelo de la zona en desecación (perfil de 0 a 50 cm de profundidad) con sensores FDR. El diseño estadístico fue de bloques al azar, con tres bloques. Cada bloque constó de 36 árboles, 3 hileras de 4 árboles por repetición y tratamiento. Las necesidades hídricas del cultivo (ET_c) se determinaron mediante balance hídrico a partir de 6 lisímetros de drenaje, ubicados en el centro de la parcela experimental. Los volúmenes medios de riego aplicados durante las campañas 2005-2006 fueron: 6984, 3875 y 2820 m³ ha⁻¹ en el Control, RDC y DPR, respectivamente; y las cantidades de elementos fertilizantes: 45 UF N, 34 UF P₂O₅ y 56.5 UF K₂O/ha y año.

Medidas

El contenido volumétrico de agua en el suelo (θ_v) se registró, cada 30 minutos, mediante sondas de capacitancia (EnviroSCAN[®], Sentek PTY LTD, Australia). El potencial hídrico de tallo a mediodía ($\Psi_{t,md}$) se midió con cámara de presión (Soil Moisture Equip. Corp., modelo 3000), siguiendo las indicaciones propuestas por Hsiao (1990), en 9 hojas por tratamiento, adultas, sanas y próximas al tronco. Se utilizó un sistema portátil de medida de fotosíntesis (CIRAS-2, PPsystem) para la determinación de la conductancia estomática (g_s) a escala foliar. Las hojas, en número similar al utilizado para la determinación de $\Psi_{t,md}$, fueron seleccionadas del tercio medio de ramas soleadas y las medidas fueron realizadas a saturación de luz (radiación fotosintéticamente activa, PAR \approx 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). De forma continua, se midieron las fluctuaciones de diámetro de tronco mediante sensores LVDT (6 por tratamiento), ubicados en la cara norte de los troncos y a 40 cm de la superficie del suelo. Las lecturas se registraron cada 10 minutos en dataloggers (MicroIosis[®], Progres S.A.). La máxima contracción diaria de diámetro de tronco (MCD) se determinó por diferencia entre el diámetro máximo diario registrado a primeras horas de la mañana y el diámetro mínimo registrado durante la tarde (Goldhamer y Fereres, 2001). El crecimiento en materia seca del grano se determinó semanalmente a partir de muestreos de 30 frutos por tratamiento. La dinámica de crecimiento en longitud de los brotes se evaluó en 12 ramos seleccionados (3 árboles por tratamiento y 4 brotes por árbol) de diámetro similar. Para el registro de los datos de las variables climáticas reinantes se utilizó una estación agroclimática automática Campbell, ubicada en la misma finca experimental.

El análisis estadístico de los datos se realizó con el programa SPSS versión 13.0, a partir del análisis de la varianza (ANOVA) y pruebas de comparación múltiples a un nivel de confianza del 95%.

3.- Resultados y discusión.

En la Tabla 1 se muestran los volúmenes de agua de riego aplicados por tratamiento y año. Las evapotranspiración real máxima (ET_M), determinadas mediante lisímetros de drenaje en el Control, fue 540 mm en 2005 y 578 mm en 2006. Estas cantidades se encuentran dentro del mismo orden de magnitud a las propuestas por Torrecillas *et al.* (1989), Ruiz-Sánchez *et al.* (1988) y Romero *et al.* (2004b) para almendros en similares condiciones edafoclimáticas.

Las estrategias de riego deficitario, RDC y DPR, ensayadas supusieron un ahorro de agua, respecto a las necesidades máximas de agua del cultivo (100% ETC), del 31% y 50%, respectivamente.

Tabla 1.- Lámina de riego aplicada, porcentaje de ahorro de agua, precipitación y evapotranspiración de referencia (ET_o) calculada con la ecuación de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998).

Año	Riego (mm)			Ahorro respecto a Control (%)		Lluvia mm año ⁻¹	ET _o mm año ⁻¹
	Control (120% ET _M)	RDC	DPR	RDC	DPR		
2005	674	373	269	45	60	392	1389
2006	723	402	295	44	59	377	1518
Promedio	699	388	282	44.5	59.5	384	1454

La figura 1 presenta la evolución del valor medio de θ_v en los primeros 50 cm de profundidad del perfil del suelo (sensores a 10, 30 y 50 cm) durante el año 2005 en los tres tratamientos. Ensayos previos, llevados a cabo en la misma parcela (datos no mostrados) indican que la zona radicular activa de almendros en riego localizado desde el momento de su implantación se ubica principalmente en los primeros 50 cm de suelo. En la figura 1, el tratamiento DPR queda claramente identificado por los ciclos de alternancia del riego entre ambas mitades del sistema radicular. Dry *et al.* (2000) indicaron una pérdida de los beneficios fisiológicos del manejo bajo DPR una vez que el proceso de desecación había finalizado. Por esta razón se decidió alternar el riego en DPR una vez que la contribución de la parte en desecación al flujo de transpiración total dejaba de ser importante (7-10 días), identificada por la estabilización de θ_v .

La dinámica de crecimiento del diámetro del tronco (Figura 2) reveló patrones de crecimiento diferentes entre tratamientos. El crecimiento fue mayor en el Control que en los deficitarios ($P < 0.05$), y no se encontraron diferencias significativas entre RDC y DPR. Romero *et al.* (2004a) y Girona *et al.* (2005) también encontraron una relación entre la tasa de crecimiento media anual del tronco y el volumen de agua de riego aplicado. Durante la fase de llenado del grano (junio-cosecha) tanto RDC como DPR experimentaron, en ambos años de estudio, una parada del crecimiento del tronco. Este hecho no ocurrió en el Control, aunque en la primera etapa de la fase de llenado del grano (junio 2005) este tratamiento exhibió una fuerte reducción del crecimiento que desapareció poco después. Esta fase coincide con dos procesos relacionados con la competencia por los fotoasimilados: (i) acumulación de materia elaborada en el grano y (ii) un segundo período de intensa actividad radicular (Franco *et al.*, 1995). Esto pone de manifiesto una limitación de origen hídrico en los tratamientos deficitarios, ya que el crecimiento del tronco del Control no cesó en un período de alta competencia por fotoasimilados.

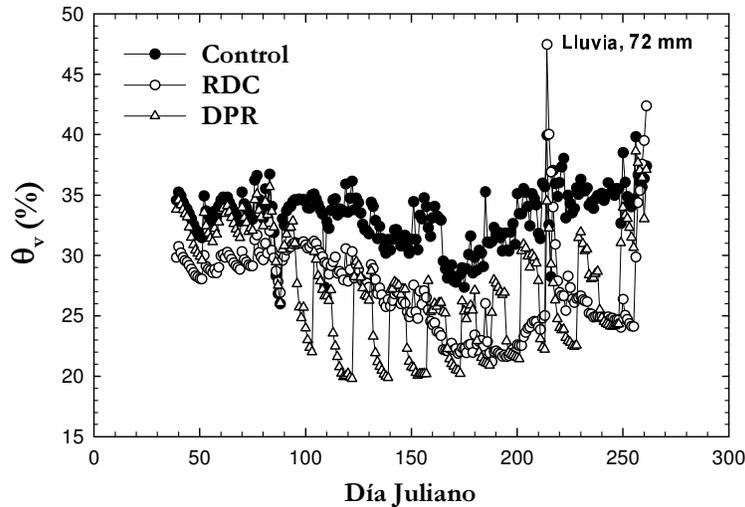


Figura 1.- Evolución del contenido volumétrico de agua en el suelo (θ_v) durante 2005. Los valores representan el θ_v medio en el perfil 0-50 cm medido a las 12:00 UT.

El crecimiento en longitud de los brotes tuvo lugar durante el período de activo crecimiento vegetativo (marzo-mayo). El tratamiento DPR disminuyó el crecimiento en longitud de los brotes respecto a RDC (Figura 3.a). En este sentido, son varios los trabajos (Dry *et al.*, 2001; Loveys *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2005) que han puesto de manifiesto la eficacia de la técnica DPR en el control del crecimiento vegetativo (sin reducción de la producción) frente a otras estrategias de riego con las que se aportaron idénticas cantidades de agua. Este hecho sugiere la existencia de una regulación química (señales raíz-brote) que se superpone a los mecanismos de regulación hidráulica. Los resultados obtenidos muestran que el DPR indujo una reducción en la longitud de brotes en torno a un 25% y 30% respecto al Control y RDC, respectivamente. Sin embargo, no se puede concluir si existe o no una regulación química del crecimiento vegetativo en almendro, ya que no se dispuso de un tratamiento deficitario con el mismo aporte de agua que DPR durante el período de crecimiento activo de los brotes.

Los valores de $\Psi_{t,md}$ (Figura 4.a) y g_s (Figura 4.b), durante el período en el que ambos tratamientos deficitarios recibieron la misma cantidad de agua en 2005 (Días 155-250), no mostraron diferencias entre tratamientos, lo que no permite concluir sobre una ventaja de la técnica DPR frente al RDC en el funcionamiento hídrico del almendro. Los valores de $\Psi_{t,md}$ y g_s fueron similares en RDC y Control durante el período de rápido crecimiento vegetativo (1/2 marzo-mayo), donde ambos se regaron para satisfacer la ET_c , mientras que DPR mostró valores de $\Psi_{t,md}$ inferiores a los del Control y RDC, y un nivel leve de estrés hídrico debido a la baja demanda evaporante durante este período.

El aumento en materia seca (MS) del grano durante 2005 (Figura 3.b) está caracterizado por una curva de crecimiento a doble sigmoide. Al final del ciclo (cosecha), los tres tratamientos presentaron valores similares de materia seca del grano, lo que difiere de lo observado en almendro por Goldhamer *et al.* (2006), en California. Éstos autores comprobaron que la intensidad del estrés hídrico aplicado en precosecha estaba estrechamente relacionada con el peso final del grano y, por tanto, con la producción. La explicación a esta respuesta diferente, posiblemente, se encuentre en la baja capacidad de retención hídrica del suelo californiano, causando, en RDC, caídas de potencial hídrico foliar al alba muy importantes (-4 MPa) y en períodos de tiempo muy cortos. En nuestro ensayo, con valores mínimos de $\Psi_{t,md} \approx -2,0$ MPa (Figura 4.a), es presumible que no se haya alcanzado un valor umbral a partir del cuál el peso del grano se vea afectado.

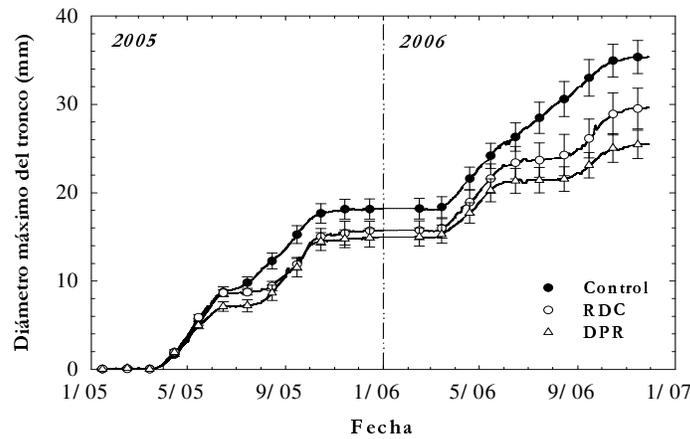


Figura 2.- Crecimiento del tronco en diámetro durante 2005 y 2006. Cada punto representa la media de 6 árboles \pm ES. El resto de valores para mayor claridad aparecen sin símbolo.

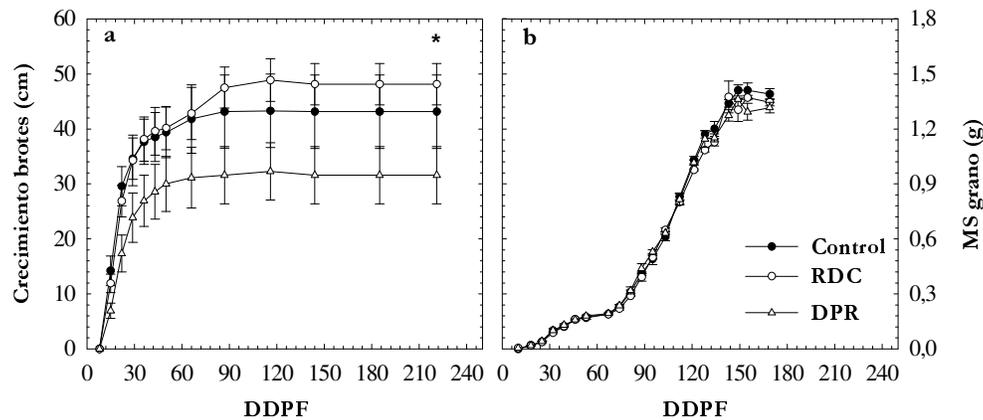


Figura 3.- Evolución del crecimiento longitudinal de brotes (3.a) y de la acumulación de materia seca (MS) en el grano (3.b) durante 2005. Cada punto representa la media de 12 brotes (izquierda) y 30 frutos (derecha) por tratamiento \pm ES. * Indica diferencias significativas ($P < 0.05$) entre tratamientos. DDPF: días después de plena floración.

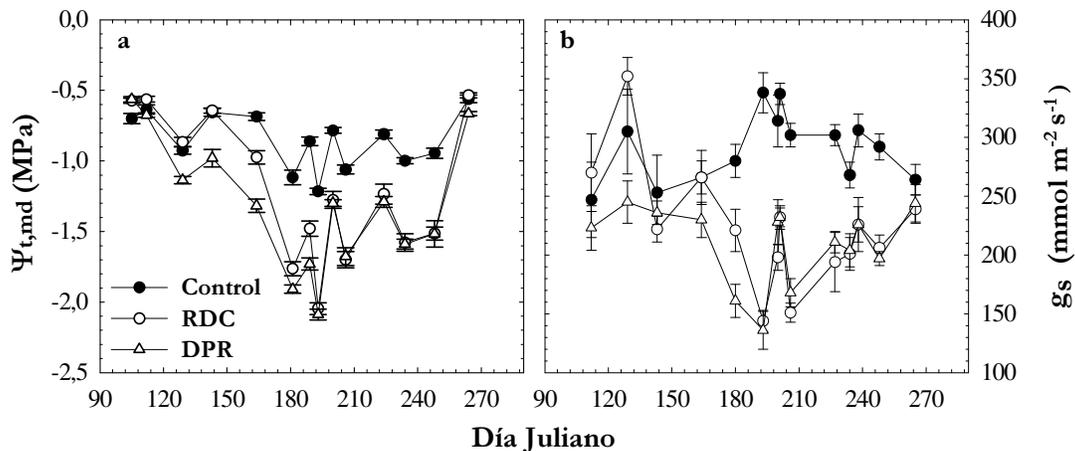


Figura 4.- Evolución anual del potencial hídrico de tallo a mediodía ($\Psi_{t,md}$) (4.a) y de la conductancia estomática (g_s) (4.b) durante 2005. Cada punto representa la media de 9 hojas por tratamiento \pm ES.

En la Figura 5 se muestran las relaciones entre la MCD de los dos tratamientos deficitarios y la del Control, correspondientes al período de riego al 50% ET_c en RDC y para ambos años de estudio. Las rectas de regresión presentan pendientes similares y ordenadas en el origen significativamente diferentes ($P < 0.01$) al 99% de nivel de confianza, siendo un 24% más alta en RDC. Estas diferencias pueden tener su origen en varios factores, entre otros: (i) diferencias en superficie foliar total entre tratamientos, (ii) diferencias en carga productiva (Intrigliolo y Castel, 2007), (iii) diferencias en el diámetro medio del tronco y por ende en el espesor de corteza (Genard *et al.*, 2001), (iv) influencia de la estrategia de riego en el funcionamiento hídrico del árbol. En nuestro caso no pueden ser atribuidas a los aspectos (i), (ii) y (iii) ya que las medias de los valores de superficie foliar total (SF) y sección transversal de tronco (STT) (datos no mostrados), así como las cargas productivas correspondientes a 2005 y 2006 (Tabla 2) no fueron significativamente diferentes para RDC y DPR. Sin embargo, y dado que MCD es un buen indicador de la intensidad de transpiración (Huguet *et al.*, 1992; Ortuño *et al.*, 2005; Cohen *et al.*, 2001), algún mecanismo no hidráulico asociado a la estrategia de riego podría estar interviniendo en la gestión hídrica de la planta incluso en horas alejadas del periodo de máxima demanda (mediodía), momento en el que se hicieron las medidas de $\Psi_{t,md}$ y g_s . En este sentido, Goldhamer *et al.* (2002) encontraron valores de Ψ_t superiores en árboles bajo DPR a primeras horas de la mañana al final de la fase II en melocotonero. Independientemente de lo anterior, MCD confirmó ser un indicador muy sensible para detectar y cuantificar el estrés hídrico en almendro tal y como ya indicaron Goldhamer y Fereres (2004) y Nortes *et al.* (2005).

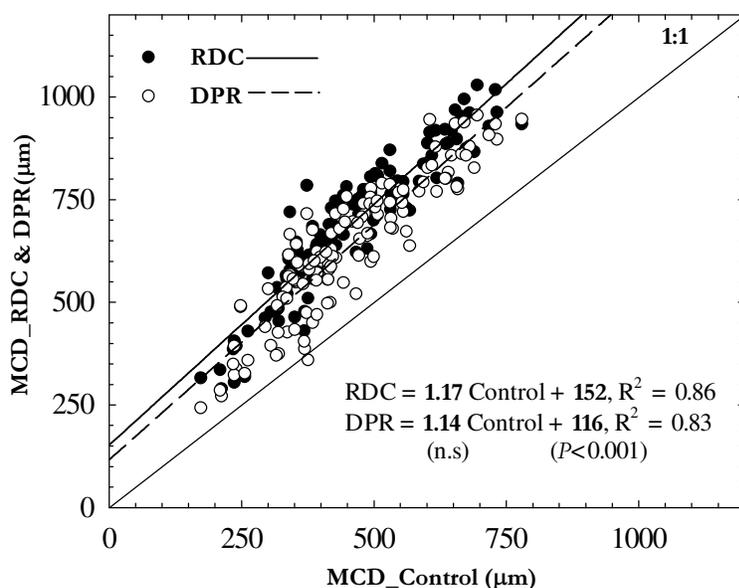


Figura 5.- Relación entre la máxima contracción diaria (MCD) de los tratamientos deficitarios y la del control durante la fase de llenado del grano (junio-cosecha) de 2005 y 2006. Cada punto es la media de 6 árboles por tratamiento.

La producción total de almendra-grano fue inferior en los tratamientos deficitarios que en el Control (Tabla 2). Sin embargo, cabe destacar la ausencia de diferencias en la cosecha de 2006, lo que pone de manifiesto el potencial de ambas estrategias de riego a medio-largo plazo para mejorar la eficiencia de uso del agua en almendro. La eficiencia productiva media del período 2005-2006, evaluada como el cociente entre la producción de almendra-grano y el agua recibida (riego + lluvia), reveló una mejora de la eficiencia productiva en DPR del 47% y del 22% respecto al Control y RDC respectivamente. El hecho de que la producción en DPR no se haya visto mermada tras dos años de experimentación respecto a RDC a

pesar de haber recibido el 50% ET_c durante todo el ciclo de cultivo, lo convierte en el tratamiento más eficiente en el uso del recurso hídrico.

Tabla 2.- Producción anual y acumulada para los tres tratamientos ensayados y eficiencia productiva media.

Tratamiento	Producción Kg (almendra-grano) ha ⁻¹			Eficiencia Productiva Kg (almendra-grano) m ⁻³
	2005	2006	Total	Total
Control	1854a	1874a	3728a	0.253
RDC	1461b	1693a	3154b	0.370
DPR	1357b	1691a	3048b	0.476

Valores de la misma columna seguidos de letras distintas indican diferencias significativas según el test de Duncan ($P < 0.05$).

4.- Conclusiones

Los resultados derivados de este estudio revelaron al tratamiento menos regado (DPR) como el más eficiente en términos productivos, con una eficiencia de uso del agua de un 47% y 22% superior a la del Control y RDC respectivamente. Las diferencias de crecimiento vegetativo observadas en DPR no se tradujeron en una reducción de la producción respecto a RDC tras dos años de aplicación de los tratamientos.

Los indicadores del estado hídrico evaluados a escala foliar durante el período de déficit en RDC no mostraron diferencias entre los tratamientos deficitarios. Sin embargo, la respuesta observada con MCD (parámetro integrador del estado hídrico de toda la copa) fue diferente entre ambos tratamientos deficitarios cuando recibían idéntica cantidad de agua.

A pesar de los resultados agronómicos obtenidos con DPR, el mayor coste de implantación y la dificultad de manejo de la técnica obligan a continuar evaluando los efectos a largo plazo de los tratamientos ensayados, así como cuantificar la idoneidad de su aplicación en plantaciones comerciales desde un punto de vista económico.

5.- Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCYT) y FEDER. Proyecto AGL2002-04048-C03-02. Gregorio Egea recibió una beca PNFPU del MECD/SEUI/DGU.

6.- Bibliografía.

Allen RG, Pereira LS, Raes D, and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO, Rome: FAO - irrigation and drainage paper 56.

Centritto, M., Wahbi, S., Serraj, R. y Chaves, M.M. 2005. Effects of partial rootzone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea*) in field conditions under arid climate II. Photosynthetic responses. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 106 (2-3): 303-311.

- Chalmers, D.J., Burge, G., Jerie, P.H. y Mitchell, P.D. 1986. The mechanism of regulation of Bartlett pear fruit and vegetative growth by irrigation withholding and regulated deficit irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 111: 904-907.
- Cohen, M., Goldhamer, D.A., Fereres, E., Girona, J. y Mata, M. 2001. Assessment of peach tree responses to irrigation water deficits by continuous monitoring of trunk diameter changes. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 76 (1): 55-60.
- Dry, P.R., Loveys, B.R. y Düring, H. 2000. Partial drying of the rootzone of grape. I. Transient changes in shoot growth and gas exchange. *Vitis*, 39 (1): 3-7.
- Dry, P.R., Loveys, B.R., Düring, H. y Botting, D.G. 1996. Effects of partial rootzone drying on grapevine vigour, yield compositions of fruit and use of water. En: Stockley, C.S., Sas, A.N., Johnstone, R.S. y Lee, T.H. (eds). *Proc. 9th Aust. Wine Ind. Techn. Conf. Winetitles*, Adelaide, Adelaide, Australia, 128-131.
- Dry, P.R., Loveys, B.R., McCarthy, M.G. y Stoll, M. 2001. Strategic irrigation management in Australian vineyards. *Journal international des sciences de la vigne et du vin*, 35 (3): 129-139.
- Fernández, J.E., Díaz-Espejo, A., Infante, J.M., Duran, P., Palomo, M.J., Chamorro, V., Giron, I.F. y Villagarcía, L. 2006. Water relations and gas exchange in olive trees under regulated deficit irrigation and partial rootzone drying. *Plant and Soil*, 284 (1-2): 273-291.
- Franco, J.A., Abrisqueta, J.M. y Hernansaez, A. 1995. Root Development of Almond Rootstocks in A Young Almond Orchard Under Trickle Irrigation As Affected by Almond Scion Cultivar. *Journal of Horticultural Science*, 70 (4): 597-607.
- Genard, M., Fishman, S., Vercambre, G., Hugué, J.G., Bussi, C., Besset, J. y Habib, R. 2001. A biophysical analysis of stem and root diameter variations in woody plants. *Plant Physiology*, 126 (1): 188-202.
- 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. y Fereres, E. 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrigation Science*, 20 (3): 115-125.
- Goldhamer, D.A. y Fereres, E. 2004. Irrigation scheduling of almond trees with trunk diameter sensors. *Irrigation Science*, 23 (1): 11-19.
- Goldhamer, D.A., Salinas, M., Crisosto, C., Day, K.R., Soler, M. y Moriana, A. 2002. Effects of regulated deficit irrigation and partial root zone drying on late harvest peach tree performance. *Acta Horticulturae*, 592: 343-350.
- Goldhamer, D.A. y Smith, T.E. 1995. Single-season drought irrigation strategies influence almond production. *California Agriculture*, 49: 19-22.
- 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.
- Hsiao, T.C. 1990. Measurements of plant water status. En: Steward B. A. y Nielsen D. R. (eds). *Irrigation of Agricultural Crops. Agronomy Monograph No 30*. American Society of Agronomy. Madison, Wis., p 243-279.

Huguet, J.G., Li, S.H., Lorendeau, J.Y. y Pelloux, G. 1992. Specific Micromorphometric Reactions of Fruit-Trees to Water-Stress and Irrigation Scheduling Automation. *Journal of Horticultural Science*, 67 (5): 631-640.

Intrigliolo, D.S. y Castel, J.R. 2007. Crop load affects maximum daily trunk shrinkage of plum trees. *Tree Physiology*, 27: 89-96.

Kang, S.Z., Hu, X., Jerie, P. y Zhang, J.H. 2003. The effects of partial rootzone drying on root, trunk sap flow and water balance in an irrigated pear (*Pyrus communis* L.) orchard. *Journal of Hydrology*, 280 (1-4): 192-206.

Loveys, B.R., Dry P.R., Stoll, M. y McCarthy, M.G. 2000. Using plant physiology to improve the water efficiency of horticultural crops. *Acta Horticulturae*, 537: 187-197.

Nortes, P.A., Pérez-Pastor, A., Egea, G., Conejero, W. y Domingo, R. 2005. Comparison of changes in stem diameter and water potential values for detecting water stress in young almond trees. *Agricultural Water Management*, 77 (1-3): 296-307.

Ortuño, M.F., Alarcón, J.J., Nicolás, E. y Torrecillas, A. 2005. Sap flow and trunk diameter fluctuations of young lemon trees under water stress and rewatering. *Environmental and Experimental Botany*, 54 (2): 155-162.

Romero, P., Botia, P. y Garcia, F. 2004a. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on vegetative development and yield of mature almond trees. *Plant and Soil*, 260 (1-2): 169-181.

Romero, P., Botia, P. y Garcia, F. 2004b. Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on water relations of mature almond trees. *Plant and Soil*, 260 (1-2): 155-168.

Ruiz-Sanchez, M.C., Torrecillas, A., Delamor, F., Leon, A. y Abrisqueta, J.M. 1988. Leaf Water Potential and Leaf Conductance During the Growing-Season in Almond Trees Under Different Irrigation Regimes. *Biologia Plantarum*, 30 (5): 327-332.

Santos, T.P., Lopes, C.M., Rodrigues, M.L., de Souza, C.R., Ricardo-da-Silva, J.M., Maroco, J.P., Pereira, J.S. y Chaves, M.M. 2005. Effects of partial root-zone drying irrigation on cluster microclimate and fruit composition of field-grown Castelao grapevines. *Vitis*, 44 (3): 117-125.

Torrecillas, A., Ruiz Sánchez, M.C., Leon, A. y Del Amor, F. 1989. The Response of Young Almond Trees to Different Drip-Irrigated Conditions - Development and Yield. *Journal of Horticultural Science*, 64 (1): 1-7.

Wahbi, S., Wakrim, R., Aganchich, B., Tahi, H. y Serraj, R. 2005. Effects of partial rootzone drying (PRD) on adult olive tree (*Olea europaea*) in field conditions under and climate - I. Physiological and agronomic responses. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 106 (2-3): 289-301.