

Rendimiento de Ferragnés y Ferraduel con cuatro dosis diferentes de agua de riego

Productividad del agua en almendro con riego deficitario continuo

Durante las campañas comprendidas entre 2005 y 2008 se estudiaron los efectos de cuatro niveles de riego sobre la producción de almendros adultos, *Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb, de los cultivares Ferragnés y Ferraduel cultivados en condiciones de alta demanda evaporativa y en un clima semiárido en Albacete (España). En este trabajo se ha evaluado la utilización de cuatro dosis de riego y la eficiencia en el uso del agua de riego (EUA_R) en ambos cultivares.

F. Mañas Jiménez, R. López Urrea y P. López Fuster.

Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP).

La mecanización de la recolección, la implantación de nuevos cultivares de floración tardía (con un menor riesgo de heladas), y la extensión del riego localizado, han sido las bases tecnológicas sobre las que se ha sustentado la reconversión del almendro hacia explotaciones más rentables. La superficie cultivada de almendro a nivel mundial supera los 1,7 millones de ha, siendo España y EE.UU. los principales países cultivadores y productores. En efecto, Estados Unidos es el primer productor mundial de almendra con el 34% de la producción mundial y tan sólo el 12% de la superficie cultivada, mientras España que cultiva 620.000 ha (40% de la superficie), sólo produce el 19% de los 2 millones de toneladas que se producen anualmente a nivel mundial. Cabe destacar el bajo rendimiento del cultivo del almendro en España con 342 kg ha^{-1} frente a los 3.046 kg ha^{-1} de Estados Unidos (FAO, 2005). Estas diferencias de rendimiento están basadas en que el cultivo del almendro en España se lleva a cabo en zonas marginales de secano (sólo existen 32.426 ha en regadío), mientras que en EE.UU. todas las superficies destinadas al cultivo del almendro son plantaciones intensivas de regadío.

El almendro es una especie que se adapta a zonas donde se riega abundantemente, con suelos fértiles y profundos (Micke y Kester, 1978), así como a regiones áridas del litoral mediterráneo, en los que los almendros sólo reciben el agua de la lluvia y los suelos son

poco profundos y pobres (Grasselly y Crossa-Reynaud, 1984). A pesar de ser una especie capaz de convivir con el déficit hídrico (Castel y Fereres, 1982; Marsal *et al.*, 1997), Girona *et al.* (2005) indican que presenta una respuesta muy positiva al agua, produciéndose un aumento del crecimiento y de la producción en condiciones favorables.

En nuestro país, el almendro es un cultivo principalmente de secano, aunque la tendencia es que va colonizando terrenos más fértiles y de regadío. En nuestra zona de trabajo (La Mancha Oriental) con unos recursos hídricos limitados y en grave peligro de sobreexplotación (Martín de Santa Olalla *et al.*, 2003), no es posible llevar a cabo estrategias de riego que cubran la máxima demanda de agua del almendro, pero tampoco son aconsejables las plantaciones en secanos muy rigurosos, las cuales tienden a desaparecer debido a su baja rentabilidad (Girona, 2006).

Por todo lo comentado, es de gran importancia estudiar hasta dónde es posible establecer déficits hídricos sin producir pérdidas excesivas de cosecha. Este trabajo pretende analizar la respuesta productiva del almendro a cuatro tratamientos continuos de riego defici-





rio de alta frecuencia estudiando las funciones que relacionan la eficiencia en el uso del agua de riego (EUA_R) y la producción con el agua aplicada al cultivo.

Materiales y métodos

El trabajo experimental se realizó durante las campañas 2005 a 2008 ambas incluidas, en una plantación de almendros adultos, *Prunus dulcis* (Mill.) D.A. Webb cv. Ferragnés y Ferraduel, ubicada en la finca Payuelas, perteneciente al término municipal de Hellín (Albacete, España). Sus coordenadas geográficas son: 01° 44' 16" longitud oeste, 38° 32' 19" latitud norte, y la altitud sobre el nivel del mar es de 600 m.

El clima se caracteriza por una acusada variación estacional que se corresponde con su continentalidad. La pluviometría media de los cuatro años de estudio ha sido de 390 mm y la temperatura media anual de 17°C. En la **figura 1** se representa la evolución de estos parámetros a lo largo del periodo del ensayo. Los años 2006 y 2008 han sido especialmente lluviosos ya que la media histórica no supera los 350 mm; y las temperaturas medias anuales

también han sido algo superiores a las normales en los años 2006 y 2008, ya que la media histórica está en los 16,8°C.

La profundidad media del suelo de la parcela del experimento es de 0,7 m limitado por el desarrollo del horizonte petrocálcico que se encuentra más o menos fragmentado. La textura es franco-arenosa, pH básico, pobre en materia orgánica y con un alto contenido en caliza activa.

Para el cálculo de las necesidades hídricas del almendro se ha utilizado el método del balance hídrico (Doorenbos y Pruitt, 1975; Allen *et al.*, 1998), como se muestra en la **expresión 1**.

Expresión 1.

$$N_n = ET_c - P_e \pm \Delta w$$

donde N_n son las necesidades netas de riego (en mm); P_e la precipitación efectiva (en mm); ET_c la evapotranspiración del cultivo (en mm); Δw la variación de la reserva de agua en el suelo (en mm). La precipitación efectiva se ha obtenido siguiendo la metodología del Bureau of Reclamation de los Estados Unidos (Villalobos *et al.*, 2002). Para el cálculo de la ET_c diaria del almendro se utilizó la **expresión 2**.

Expresión 2.

$$ET_c = ET_0 * K_c * K_r$$

donde ET_0 es la evapotranspiración de referencia ($mm\ día^{-1}$), calculada por el método de Penman-Monteith FAO-56 (Allen *et al.*, 1998) por ser el que mejor se adapta a nuestra zona de trabajo (López-Urrea *et al.*, 2006); K_c es el coeficiente de cultivo (adimensional) propuesto por Orgaz y Ferreres (1996) cuyos valores se presentan en el **cuadro 1**.

K_r es el factor de cobertura (en tanto por uno), que relaciona el porcentaje de suelo sombreado y el porcentaje de gasto potencial de agua. El factor K_r se calculó aplicando la **expresión 3** (Orgaz y Ferreres, 1996).

Expresión 3.

$$K_r = -0,0194 SS^2 + 2,8119 SS - 1,0080$$

Esta ecuación se utiliza siempre que el porcentaje de superficie sombreada (SS) esté entre el 8 y 65%, a partir del 65% de SS el factor de cobertura será 1. La SS se calculó a partir de la **expresión 4**.

Expresión 4.

$$SS = \pi \cdot D^2 \cdot N / 400$$

donde N es el número de almendros por ha y D es el diámetro medio de copa en m.

La plantación ocupa 20 ha de superficie, con un marco de 8 x 6 metros cuadrados. Los cultivares plantados son Ferragnés y Ferraduel. La edad de la plantación es de veinte años. La poda es en la forma tradicional de vaso o en redondo de un solo pie acomodada para la recolección mecánica. El sistema de cultivo es en no laboreo.

El ensayo se ha realizado sobre cuatro filas de almendros para cada variedad y tratamiento, de doce árboles respectivamente, integradas en la plantación. Se utilizó un sistema de riego localizado con goteros integrados autocompensantes. Se modificó el número de emisores por pie y el caudal unitario de éstos para que cada fila se regase con una dosis agua determinada, es decir, las diferencias de riego se debieron a la

dosis de agua aportada por unidad de tiempo, sin variar la frecuencia ni la duración del riego entre tratamientos. Se han utilizado las técnicas de fertirrigación para el abonado del cultivo, por lo que a las dotaciones de agua de cada tratamiento le ha correspondido una fertilización distinta en proporción a la dosis de agua empleada en cada uno de ellos. Las dosis de abonado empleadas en el tratamiento testigo T2 para N-P-K han sido 180-40-60.

Se han realizado cuatro tratamientos hídricos lineales a lo largo del calendario de riegos (riego deficitario de alta frecuencia), que fueron los siguientes en todos y cada uno de los años de estudio:

- T1: 125% de la ET_c .
- T2: 100% de la ET_c .
- T3: 75% de la ET_c .
- T4: 50% de la ET_c .

Durante el ensayo se llevaron a cabo las técnicas culturales habituales en el cultivo del almendro, sin que se registraran plagas o enfermedades que afectarán al desarrollo de la cosecha.

CUADRO I.

Valores de K_c utilizados en la programación de riego.

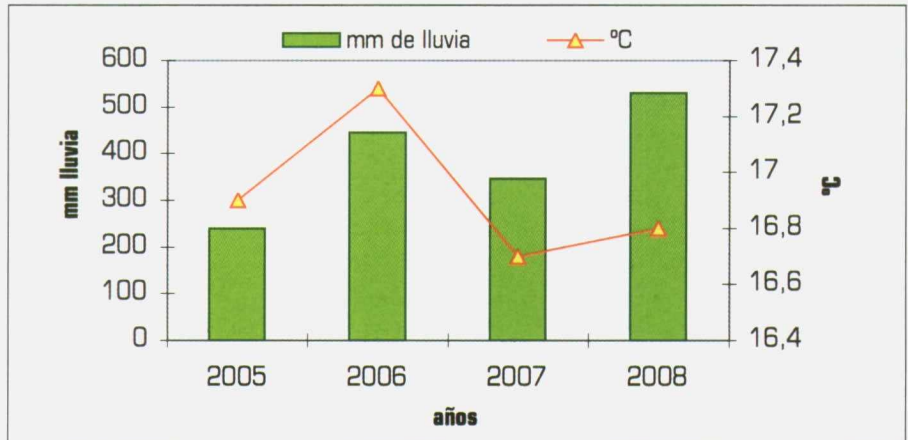
Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
0,42	0,52	0,56	0,61	0,61	0,61	0,54



La mecanización de la recolección, la implantación de nuevos cultivares de floración tardía y la extensión del riego localizado, han sido las bases tecnológicas sobre las que se ha sustentado la reconversión del almendro hacia explotaciones más rentables.

FIGURA 1

Pluviometría y temperatura media anual en la zona de estudio. Años 2005 a 2008.



Los resultados obtenidos han sido sometidos a la técnica de análisis de varianza por el método de diferencias de mínimo significativas (Box et al., 1989). El estudio de las correlaciones y regresiones se realizó con el paquete estadístico SPSS v. 10.0 (2000).

Resultados y discusión

Ferragnés

En el **cuadro II** se presenta para cada campaña (2005-2008) y para el cv. Ferragnés, la cantidad de agua aportada en cada tratamiento en $m^3 ha^{-1}$, y la producción de almendra grano ($kg ha^{-1}$) para cada uno de los tratamientos de acuerdo con el rendimiento en grano de cada uno de ellos. No se han encontrado diferencias significativas estadísticamente ($p < 0,05$) entre tratamientos de riego, para la producción de almendra en las campañas 2005 y 2007. En 2006 hay diferencias entre el tratamiento más regado y menos regado T1 y T4 y entre T1 y T2, y no las hay entre los dos menos regados, ni entre los tratamientos con el 100 y el 75% de la ET_c aportada. En 2008 se han separado claramente a nivel estadístico los dos tratamientos más regados (125 y 100% de la ET_c) de los dos con menor riego (75 y 50% de la ET_c), pero en ninguno de los dos casos hay diferencias significativas entre ellos mismos, es decir, no existen diferencias entre T1 y T2, ni tampoco entre T3 y T4. En cualquier caso parece evidente la respuesta de la producción de almendra a las dosis crecientes de agua como se desprende del conjunto de datos del **cuadro I**.

Los resultados del ensayo de cuatro años de duración se resumen en el **cuadro III** para el cultivar Ferragnés, con los valores promedios de los cuatro años en cuanto a la cantidad de riego aportada, el rendimiento de almendra grano, el índice productivo respecto de tratamiento T2 del 100% de la ET_c y la eficiencia en el uso del



En 2006 hay diferencias entre el tratamiento más regado y menos regado, y no las hay entre los dos menos regados.

CUADRO II.

Cantidad de riego aportada y producción de almendra grano. Periodo 2005-2008 cv. Ferragnés.

Variedad	2005		2006		2007		2008	
	Riego	Producción (grano)	Riego	Producción (grano)	Riego	Producción (grano)	Riego	Producción (grano)
Ferragnés	(m ³ ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹) *	(m ³ ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹) *	(m ³ ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹) *	(m ³ ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
Tratamientos								
T1 (125%)	3.249	2.066 a	5.506	1.688 a	4.076	1.122 a	3.407	1.738 a
T2 (100%)	2.600	1.618 a	4.405	1.274 b	3.261	719 a	2.726	1.417 a
T3 (75%)	1.950	1.505 a	3.304	1.003 bc	2.446	585 a	2.044	1.033 b
T4 (50%)	1.300	1.336 a	2.202	751 c	1.630	608 a	1.363	916 b
Media	2.275	1.631 ns	3.854	1.179 s	2.853	758 ns	2.385	1.276

(*) Diferentes letras dentro de la misma columna indica diferencias significativas (Test Duncan p<0,05)

CUADRO III.

Datos promedio de las cuatro campañas para dotaciones de riego. Índice productivo y productividad del agua del cv. Ferragnés.

Ferragnés	Valores promedio 4 años (2005-2008)					
	Riego (m ³ ha ⁻¹)	Producción grano (kg ha ⁻¹)	*	Índice (% s/T2)	EUA (kg m ³)	*
T1	4.060	1.653	a	132	0,41	b
T2	3.248	1.257	b	100	0,39	b
T3	2.436	1.032	bc	82	0,42	b
T4	1.624	903	c	72	0,56	a
Media	2.842	1.211			0,44	

(*) Diferentes letras dentro de la misma columna indica diferencias significativas (Test Duncan p<0,05).

CUADRO IV.

Cantidad de riego aportada y producción de almendra grano. Periodo 2005-2008 cv. Ferraduel.

Variedad	2005		2006		2007		2008	
	Riego	Producción (grano)	Riego	Producción (grano)	Riego	Producción (grano)	Riego	Producción (grano)
Ferraduel	(m ³ ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹) *	(m ³ ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹) *	(m ³ ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹) *	(m ³ ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)
Tratamientos								
T1 (125%)	3.249	1.827 a	5.506	1.498 a	4.076	1.260 a	3.407	1.684 a
T2 (100%)	2.600	1.557 ab	4.405	1.136 a	3.261	1.865 a	2.726	976 ab
T3 (75%)	1.950	1.329 ab	3.304	803 a	2.446	1.868 a	2.044	341 b
T4 (50%)	1.300	1.016 b	2.202	671 a	1.630	1.433 a	1.363	401 b
Media	2.275	1.432	3.854	1.027	2.853	1.606	2.385	851

(*) Diferentes letras dentro de la misma columna indica diferencias significativas (Test Duncan p<0,05)

agua (EUA) para la producción de almendra en m³ kg⁻¹.

Los resultados obtenidos indican una respuesta positiva del almendro al agua en cuanto a la producción de almendra. Se ha producido un incremento lineal de la producción al aumentar la dosis de riego con significación estadística entre tratamientos extremos, y sin que haya diferencias entre T2 (100% ET_c) y T3 (75%), ni entre los dos con menor riego T3 y T4 (50%). Los índices productivos oscilan entre el 132% para el más regado y el 72% para el de menor riego, perdiéndose cerca de la mitad de la cosecha entre ambos. Las eficiencias en el uso del agua de riego (EUA_R) no alcanzan diferencias entre los tres tratamientos más regados, separándose el conjunto de todos ellos del T4 que recibe la menor cantidad de agua de riego.

Ferraduel

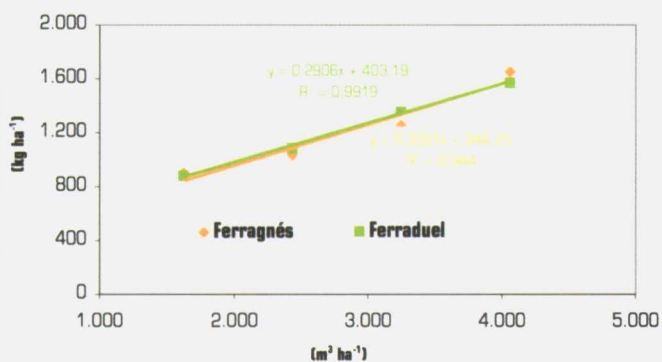
En el cuadro IV se presenta para cada campaña (2005 a 2008) y para la variedad Ferraduel, la cantidad de agua aportada en cada tratamiento en m³ ha⁻¹, y la producción de almendra grano kg ha⁻¹ para cada uno de los tratamientos de acuerdo con el rendimiento en grano de cada uno de ellos. No se han encontrado diferencias significativas estadísticamente (p<0,05) entre tratamientos de riego, para la producción de almendra en las campañas 2006 y 2007. En 2005 hay diferencias entre el tratamiento más regado y el menos regado (T1 y T4), y no las hay entre el resto de tratamientos. En 2008 se separan a nivel estadístico el tratamiento más regado (125% de la ET_c) de los tres con menor riego (100, 75 y 50% de la ET_c aportada), pero tampoco encontramos diferencias entre ellos para T1 y T2. Como en el caso del cv. Ferragnés también es evidente la respuesta a las dosis crecientes de agua del cv. Ferraduel.

Los resultados de los cuatro años de duración del estudio se resumen en el cuadro V para el cv. Ferraduel, con los valores promedios de los cuatro años para los mismos parámetros que en el caso anterior.

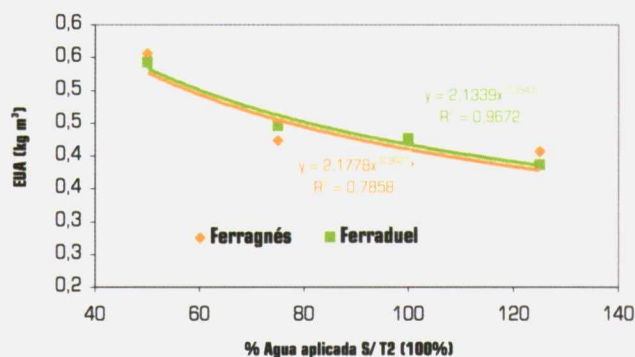
Los resultados obtenidos indican una respuesta positiva del cv. Ferraduel al agua en cuanto a la producción de almendra. Se ha producido un incremento lineal de la producción al aumentar la dosis de riego. Hay significación estadística para la diferencia entre los dos tratamientos extremos (T1 y T4), y entre T1 y T3 y no existen éstas para cada par de tratamientos más cercanos entre sí, es decir, no hay diferencias en-

FIGURA 2

a) Funciones de producción que relaciona el rendimiento de almendra (kg ha⁻¹) y el agua de riego recibida por el cultivo para el promedio de las cuatro campañas.



b) Relación entre la eficiencia en el uso del agua de riego y el porcentaje de agua aplicada sobre el tratamiento T2 (100% ET_c) para ambos cultivares.



CUADRO V.

Datos promedio de las cuatro campañas para dotaciones de riego. Índice productivo y productividad del agua en el cv. Ferraduel.

Ferraduel	Valores promedio 4 años (2005-2008)					
	Riego (m ³ ha ⁻¹)	Producción grano (kg ha ⁻¹)	*	Índice (% s/T2)	EUA (kg m ³)	*
T1	4.060	1.567	a	113	0,39	a
T2	3.248	1.384	ab	100	0,43	a
T3	2.436	1.085	bc	78	0,45	a
T4	1.624	880	c	64	0,54	a
Media	2.842	1.229			0,45	

(*) Diferentes letras dentro de la misma columna indica diferencias significativas (Test Duncan $p < 0,05$).

tratar T1 (100%) y T2 (75%) a pesar de que el primero alcanza una producción un 13% superior, ni entre T2 y T3 que difieren en un 22% de producción, y tampoco entre T3 y T4 que difieren en un 14%.

En cuanto a la eficiencia en el uso del agua de riego (EUA_R) en Ferraduel, no se encuentran diferencias significativas entre tratamientos aun que la mayor eficiencia se alcanza en el T4 menos regado.

En la figura 2a se representan gráficamente las funciones de producción que relacionan el agua aportada en riego con la producción de almendra grano para ambos cultivares estudiados, encontrando una relación lineal entre las variables comparadas con un alto coeficiente de determinación (cv. Ferragnés: R² = 0,94; cv. Ferraduel: R² = 0,99), lo que indica una respuesta muy directa al agua de riego en el almendro (a más agua, más producción). El aumento de la

productividad del agua a medida que disminuimos las aportaciones de agua de riego es la regla en ambos cultivares de manera exponencial y también con alta significación (figura 2b).

Conclusiones

Los resultados obtenidos indican una respuesta muy positiva de la producción de almendra al agua en ambos cultivares (Ferragnés y Ferraduel) estudiados durante un periodo de cuatro años. Se ha producido un incremento lineal de la producción al aumentar la dosis de riego en ambos cultivares. La mayor eficiencia en el uso del agua de riego se obtuvo para el tratamiento menos regado.

Sin embargo las mayores dosis de riego utilizadas en nuestro ensayo han sido del orden de los 4.000 m³ ha⁻¹, cuando en experiencias llevadas a cabo en EE. UU. se han aplicado cantida-

des mucho mayores de agua (Goldhamer *et al.*, 2006), lo que nos obliga a seguir estudiando la aplicación de mayores dosis para determinar las máximas producciones potenciales que se pueden alcanzar en nuestras condiciones edafoclimáticas.

Bibliografía

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, 300 p.
- Box, G.E.P., Hunter, W.G., Hunter, J.S. 1989. Estadística para investigadores. Reverte, Barcelona.
- Castel, J.R. and Fereres, E. 1982. Responses of young almond trees to drought perodes in the field. J. Hort. Sci., 57: 175-187.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. 1975. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 24, FAO, Rome, 179 p.
- FAO. 2005. Statistical database [on-line], <http://faostat.fao.org/site/5677/default.aspx> [consulta: 10 de diciembre de 2006].
- Girona, J. 2006. La respuesta del cultivo del almendro al riego. Vida Rural, 234: 12-16.
- Girona, J., Mata, M. and Marsal, J. 2005. Regulated deficit irrigation during the kernel-filling period and optimal irrigation rates in almond. Agric. Water Manage., 75: 152-167.
- Goldhamer, D.A., Viveros, M. and Salinas, M. 2006. Regulated deficit irrigation in almonds: effects of variations in applied water and stress timing on yield and yield components. Irrig. Sci., 24: 101-114.
- Grasselly, C. y Crossa-Reynaud, 1984. El Almendro. Ed. Mundi-Prensa. 465 p.
- López-Urrea, R., Martín de Santa Olalla, F., Fabeiro, C., Moratalla, A. 2006. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semi-arid climate. Agric. Water Manage., 85: 15-26.
- Marsal, J., Girona, J. and Mata, M. 1997. Leaf water relation parameters in almond compared to hazelnut trees during a deficit irrigation period. J. Am. Soc. Hort. Sci., 122(4): 582-587.
- Martín de Santa Olalla, F.J., Calera, A. and Domínguez, A. 2003. Monitoring irrigation water use by combining Irrigation Advisory Service, and remote sensed data with a geographic information system. Agric. Water Manage., 61: 111-124.
- Micke, W. and Kester, D. 1978. Almond Orchard Management. Division of Agricultural Science. University of California, Publication 4092
- Orgaz, F., Fereres, E., 1996. Riego. En: D. Barranco, R. Fernández-Escobar y L. Rallo. El Cultivo del Olivo, Mundi-Prensa y Junta de Andalucía
- Villalobos, F.J., Mateos, L., Orgaz, F., Fereres, E., 2002. Bases y Tecnologías de la Producción Agrícola. Mundi-Prensa, Madrid, 496 pp.
- SPSS, Inc., 2000. SPSS 10.0 Syntax Reference Guide. SPSS Inc., Chicago, 600 pp.