



En el presente artículo se describe un caso práctico de determinación de los requerimientos de agua de riego de una plantación de almendro, y se presentan los resultados de un ensayo de diferentes estrategias de riego en almendro, entre ellas una de Riego Deficitario Controlado, analizándose los aspectos más relevantes de su aplicación.

Joan Girona i Gomis.

Dr. Ingeniero agrónomo.
Institut de Recerca i
Tecnologia Agroalimentàries
(IRTA).

Estrategias de riego que permiten buenos rendimientos productivos con cantidades razonables de agua

El almendro es una especie que se adapta productivamente a un amplio rango de disponibilidades hídricas, de tal forma que se encuentran plantaciones productivas en situaciones tan opuestas como el Valle de San Joaquín (California, EE.UU.), donde los suelos son fértiles y profundos y los almendros reciben cantidades muy importantes de agua de riego (unos 1.200 mm/año) (Mickey y Kester, 1978), y secanos áridos del litoral mediterráneo, en que los almendros no reciben más agua que la de lluvia y los suelos son normalmente pobres y poco profundos (Grasselly y Crossa-Reynaud, 1984; Vargas, 1975).

La razón de esta adaptabilidad del almendro a diferentes condiciones de disponibilidades hídricas es su capacidad para convivir con el déficit hídrico (Castel y Fereres, 1982; Marsal *et al.*, 1997; Waringer *et al.*, 1990) e incluso con otro tipo de adversidades como la salinidad

(Franco *et al.*, 2000; Nightingale *et al.*, 1991), a la vez que, como cualquier vegetal, presenta una respuesta muy positiva de crecimiento y producción cuando se

cultiva en condiciones favorables y con suficiente agua (Girona *et al.*, 2005, Goldhamer *et al.*, 2006), mejorando incluso la calidad del fruto (Nanos *et al.*,



2002). Evidentemente, las producciones entre ambas situaciones también serán muy diferentes, con una ratio que puede llegar a ser de 1/10 favorable a las condiciones de riego (Girona, 1992).

Desde un aspecto productivo no hay duda de que el riego del almendro, cubriendo su máxima demanda de agua, presentaría incrementos productivos muy importantes; no obstante, en una situación socio-climática como la de las regiones mediterráneas, con una importante presión demográfica y limitadas disponibilidades de agua, será difícil abordar estas situaciones de cultivo. De lo contrario, las plantaciones de almendro que se cultivan en los secanos más rigurosos tienden a desaparecer debido a su baja rentabilidad.

En este contexto, el estudio de estrategias de riego que permitan buenos rendimientos productivos utilizando cantidades razonables de agua de riego es un objetivo del máximo interés, ya que de otra forma y en el contexto económico actual, difícilmente se podrán mantener muchas de las actuales plantaciones de almendro en secano, con una productividad media según las estadísti-

cas del Ministerio de Agricultura de menos de 291 kg de grano/ha (MAPA, 2004).

El uso de estrategias de riego deficitario controlado (RDC) presenta excelentes resultados productivos en almendro aplicando cantidades moderadas de agua de riego, tal y como demuestran los trabajos publicados por Girona *et al.*, 1994 y 2005; Romero *et al.*, 2004 a y b; Goldhamer y Viveiros, 2000, y Goldhamer *et al.*, 2006, siendo la programación de riego de estas estrategias incluso automatizables por medio de sensores (Goldhamer y Fereres, 2004).

Determinación de las necesidades de riego del almendro

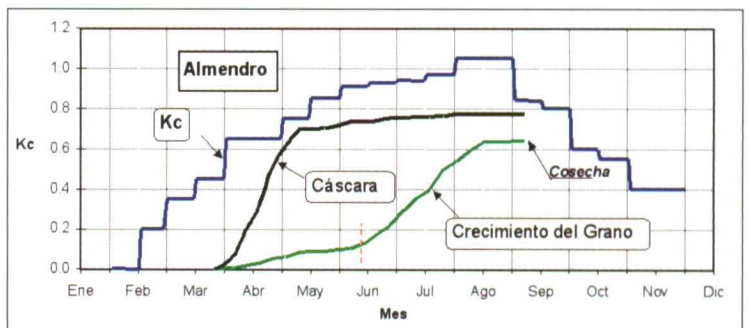
Descripción

Los requerimientos hídricos del almendro, o las necesidades de agua de este cultivo para mantenerse en un estrés hídrico mínimo, han sido ampliamente estudiadas y existe abundante documentación de cómo determinar su cuantía y de los procedimientos idóneos para su aplicación. De todos ellos, quizás, el método más ampliamente utilizado sea el del balance hídrico, que consiste en restituir al huerto aquellos volúmenes de agua que ha perdido por evapotranspiración (ET) (evaporación de agua directamente del suelo y transpiración a través de los tejidos verdes de la planta, principalmente a través de las hojas) (Allen *et al.*, 1998; Goldhamer y Snyder, 1989).

El método del balance hídrico determina de forma empírica qué volumen de agua puede evapotranspirar una plantación, en este caso de almendros, en un día y lo denomina "evapotranspiración del cultivo" (ETc). Esta determinación la hace a partir de la evapotranspiración de referencia (ETo) que nos proporcionan las estaciones agroclimáticas y de un coeficiente de cultivo (Kc) que adapta el valor obtenido de la ETo a la ETc de la parcela de almendros, utilizando la siguiente expresión:

CUADRO I.
COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc) PARA EL ALMENDRO (GIRONA, 1996).

Ficha: Kc-03			ALMENDRO
Cultivo:			Genérico
Variedad:			Observaciones
Del	Al	Kc	
01-febrero	15-febrero		
16-febrero	28-febrero	0,20	
01-marzo	15-marzo	0,35	primeros de marzo, inicio del crecimiento de la cáscara
16-marzo	31-marzo	0,45	
01-abril	15-abril	0,65	
16-abril	30-abril	0,65	
01-mayo	15-mayo	0,75	(= 10 de mayo) final del crecimiento exterior de la almendra
16-mayo	31-mayo	0,85	
01-junio	15-junio	0,91	(= 10 de junio) inicio del llenado del grano
16-junio	30-junio	0,93	
01-julio	15-julio	0,94	
16-julio	31-julio	0,97	
01-agosto	15-agosto	1,05	(= 10 de agosto) la almendra está prácticamente llena
16-agosto	31-agosto	1,05	
01-septiembre	15-septiembre	0,84	(= 15 de septiembre) cosecha
16-septiembre	30-septiembre	0,80	
01-octubre	15-octubre	0,60	
16-octubre	31-octubre	0,55	
01-noviembre	15-noviembre	0,40	
16-noviembre	30-noviembre	0,40	



Observaciones:

Cobertura completa, sistema de formación en vaso, marco de plantación 6 x 7 m. Producción media: 1.800 kg de grano/ha. Cobertura del suelo con hierba sin cuidar en verano

Referencias:

IRTA; Girona *et al.*, 1994; Girona i Marsal, 1995; Godhamer y Snyder, 1989.

$$ETc = ETo * Kc.$$

La unidad en que se expresa la ETc y la ETo es en mm/día, o lo que es lo mismo, en l/m² y día, mientras que Kc es un valor adimensional y variable a lo largo del año en función del desarrollo vegetativo del árbol (**cuadro I**). También puede determinarse el Kc como una función de la intercepción de radiación de la copa del

árbol, determinada al mediodía solar (Ayars *et al.*, 2001).

Los valores de Kc para árboles en pleno desarrollo que se presentan en el **cuadro I** deben utilizarse, al igual que todo el método del balance hídrico, como orientativos, y en cualquier caso sujetos a la evolución del ciclo anual del cultivo, como se indica en los comentarios que aparecen en el cuadro.

En el caso de que se tratase



de una parcela joven o con menos desarrollo vegetativo, donde el porcentaje de suelo sombreado al mediodía fuese menor del 65%, debería aplicarse la siguiente expresión:

$$ET_c = ETo * Kc * Kr.$$

El factor de cobertura K_r corrige el hecho de disponer de menor superficie foliar expuesta a la radiación solar, lo que significaría una reducción de la transpiración. K_r se determina con la relación obtenida por Fereres *et al.* (1981), que relaciona el porcentaje de suelo sombreado y el porcentaje de gasto potencial de agua (K_r) (figura 1).

El factor K_r , o porcentaje de demanda hídrica (ET_r/ET_m) (ET real / ET máxima teórica), se puede obtener de la figura 1 o bien aplicando la siguiente expresión, siempre que el porcentaje de superficie sombreada (SS) esté entre 8% y el 65%. A partir del 65% de SS el factor f será 1.

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

Una vez determinada la ET_c , debe calcularse el aporte de agua de riego necesario (NR) para cubrir el gasto previsto, que se determina sustrayendo de la ET_c la lluvia efectiva (P_{ef}) que haya podido suceder en el período de tiempo utilizado en la programación (normalmente una semana).

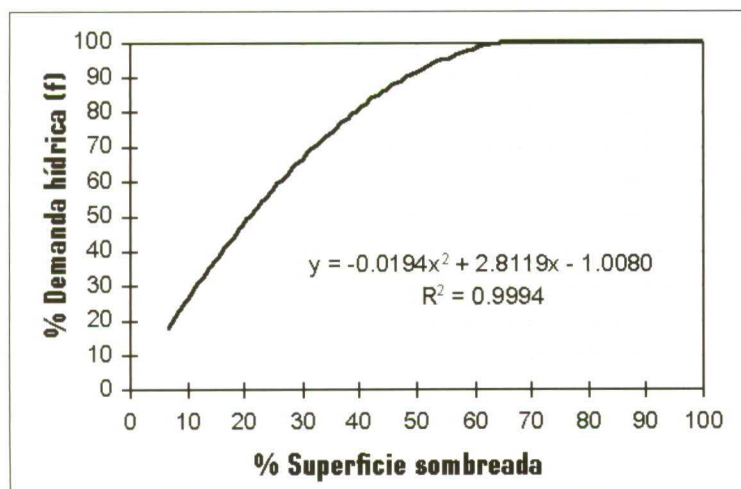
$$NR = ET_c P_{ef}$$

Se entiende por lluvia o precipitación efectiva (P_{ef}) aquella cantidad de agua de lluvia que ha quedado retenida en el suelo y a disposición de la planta. Por lo tanto, se trata de una fracción de la lluvia real.

Finalmente, la cantidad de agua a aplicar por un sistema de riego (NRR) será el valor de las necesidades de riego (NR) divididas por la eficiencia del sistema de riego ($E_{f_{sr}}$), debido a que no existe ningún sistema que sea capaz de situar el 100% del agua que aplica a disposición de la planta. Por ejemplo, un sistema de riego localizado que funcione muy bien puede situar del 90 al 95% del agua aplicada a disposición de la planta. En este caso se asume que la $E_{f_{sr}}$ de este sistema de riego es de 0,90 ó 0,95.

FIGURA 1.

RELACIÓN ENTRE EL % DE DEMANDA HÍDRICA ($K_r = (ET_r/ET_m) * 100$) Y EL % DE SUPERFICIE DE SUELO SOMBRADA (Fereres *et al.*, 1981), SIENDO ET_r : ET REAL Y ET_m : ET MÁXIMA TEÓRICA.



$$NRR = NR / E_{f_{sr}}$$

En el cuadro II se presentan algunos valores estimativos de las eficiencias de riego de diferentes sistemas, entendiendo que en función del manejo que se haga de los mismos, estos valores pueden variar de forma muy considerable. En realidad se ha podido constatar la existencia de instalaciones de riego localizado (gota a gota) con eficiencias en la aplicación de agua inferiores a 0,35.

Tan solo en el caso de que existan problemas de salinidad motivados por el agua de riego o por el propio suelo, deberían aplicarse unas fracciones de lavado que aumentasen el volumen final de agua de riego con el fin de disponer de un exceso de agua que se utilizaría para lavar las sales e impedir que se acumulen cerca de las raíces.

CUADRO II.

EFICIENCIA DE APLICACIÓN DE AGUA ($E_{f_{sr}}$) DE LOS DIFERENTES GRUPOS DE RIEGO.

Sistema de Riego	Eficiencia de aplicación
Localizado	90 – 95 %
Aspersión	75 – 85 %
Gravedad	50 – 65%

Ejemplo práctico

Supongamos que nos encontramos en la zona productora de Lleida y pretendemos evaluar los requerimientos hídricos y el tiempo de riego de una plantación que se define así:

- Especie: almendro.
- Variedad: cualquiera.
- Marco de plantación: 5 x 4 m.
- % de área sombreada: 85%.
- Sistema de riego: localizado (goteo).
- Eficiencia del sistema de riego: 0,92 (suponemos que funciona muy bien).
- Nº de emisores/árbol: 4.
- Caudal de los emisores: 4 l/h.

También suponemos que nos encontramos en la segunda semana del mes de agosto y hemos obtenido los datos semanales de la estación climática más cercana (ETo y P) y el Kc del cuadro I.

$$ETo = 42,3 \text{ mm/semana} \Rightarrow ETo = 6,04 \text{ mm/día}$$

$$P = 0,0 \text{ mm/semana} \Rightarrow P = 0,00 \text{ mm/día} \Rightarrow Pe = 0,00 \text{ mm/día}$$

$$Kc = 1,05$$

En algunos casos, las páginas web de las redes de estaciones climáticas ofrecen ya como dato para la programación del riego la lluvia efectiva (Pe), que directamente se puede utilizar en el cálculo sin tener que determinar qué porcentaje de toda la lluvia caída es realmente efectiva.

Dado que el porcentaje de área sombreada de la explotación es superior al 65%, pasamos directamente a la expresión:

$$ET_c = ETo * Kc. \quad ET_c = 6,04 * 1,05 = 6,34 \text{ mm/día}$$

$$NR = ET_c - Pe \quad NR = 6,34 - 0,00 = 6,34 \text{ mm/día}$$

$$NRR = NR / E_{f_{sr}} \quad NRR = 6,34 / 0,92 = 6,89 \text{ mm/día.}$$

En definitiva, debemos aportar 6,89 mm/día de agua de riego. Ahora debemos determinar el tiempo de riego de nuestra instalación para

aplicar esta cantidad de agua, y para ello utilizaremos las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \text{AR} &= \text{NRR (mm/día)} \times \text{IR (días)} = \text{(mm)} \\ \text{SOA} &= \text{MP (m}^2\text{)} \text{ (espacio entre filas * distancia entre árboles)} \\ \text{QA} &= \text{NEA} \times \text{Qi (l/h)} \\ \text{PR} &= \text{QA (l/h)} / \text{SOA (m}^2\text{)} = \text{(mm/h)} \\ \text{TR} &= \text{AR (mm)} / \text{PR (mm/h)} = \text{(horas)} \Rightarrow \text{(horas: minutos)} \end{aligned}$$

AR = Agua a aplicar en cada riego (mm); **IR** = Intervalo entre riegos (días); **SOA** = Superficie ocupada por un árbol, o sea, el marco de plantación (**MP**); **QA** = Caudal por árbol (l/h); **NEA** = Número de emisores por árbol; **Qi** = Caudal del emisor (gotero, aspersor, etc.) (l/h); **PR** = Precipitación del sistema de riego (mm/h); **TR** = Tiempo de riego (horas). Este valor puede transformarse fácilmente a horas y minutos.

Partiendo de que en julio regaremos con una frecuencia diaria, tenemos:

$$\begin{aligned} \text{AR} &= 6,89 \text{ mm/día} \times 1 \text{ día} = 6,89 \text{ mm} \\ \text{SOA} &= 5 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 20 \text{ m}^2 \text{ y árbol} \\ \text{QA} &= 4 \times 4 \text{ l/h} = 16 \text{ l/h y árbol} \\ \text{PR} &= \text{QA} / \text{SOA} = 16 \text{ (l/h y árbol)} / 20 \text{ (m}^2 \text{ y árbol)} = 0,8 \text{ l/m}^2 \text{ y hora} \\ &= 0,8 \text{ mm/h} \\ \text{TR} &= \text{AR} / \text{PR} = 6,89 \text{ mm} / 0,8 \text{ mm/h} = \mathbf{8,61 \text{ h}} \\ &\text{Y si lo transformamos en horas y minutos, obtenemos: } \mathbf{8 \text{ h } 36 \text{ m.}} \end{aligned}$$

Algunas consideraciones

El resultado de esta metodología nos permite determinar qué volumen de agua es capaz de evapotranspirar una plantación de almendro en condiciones normalizadas; no obstante, es evidente que hay muchos factores locales o micro-locales que no se han tenido en cuenta en esta aproximación a la realidad. Podríamos citar, por ejemplo, que no se han tenido en cuenta el sistema de formación de los árboles, la carga de frutos, la orientación de la parcela y la de las hileras de árboles en la plantación, el método de laboreo, etc. Es por ello por lo que denominamos a la metodología expuesta como una aproximación a la realidad, que es muy útil para no cometer grandes errores con el riego.

Las aportaciones de riego que hasta este momento se han analizado pretenden reducir al máximo el estrés hídrico de la planta, de tal forma que el crecimiento de la misma sea el máximo. No obstante, en árboles frutales, especialmente cuando éstos ya son adultos, el crecimiento vegetativo no es el factor más buscado y no siempre el máximo crecimiento equivale a máxima producción de frutos o a la máxima calidad de los mismos.

El Riego Deficitario Controlado en almendro

La introducción del riego deficitario controlado (RDC) al inicio de los ochenta en cultivo de peral y melocotonero (Chalmers *et al.*, 1981; Mitchell *et al.*, 1984) supuso un nuevo estímulo para la investigación y la determinación de los requerimientos hídricos de los árboles frutales, especialmente cuando se pretendía a través del manejo del riego y de las situaciones de estrés hídrico controlar el crecimiento vegetativo excesivo o, como en el caso del almendro, producir más con menos agua.

Sensibilidad estacional del almendro al déficit hídrico

Como en la mayoría de cultivos que son capaces de producir en situaciones hídricas muy deficitarias (olivo, viña, pistacho, etc.) el almendro presenta su máxima sensibilidad al déficit hídrico en primavera, sien-



Rotocultivadores y Trituradoras



Trituradoras autoalimentadas



Trituradoras profesionales



Rotocultivadoras para alta potencia

CUADRO III.

DEFINICIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE RIEGO APLICADOS EN EL TRABAJO EXPERIMENTAL DE RDC EN ALMENDRO (Girona *et al.*, 2005).

Tratamiento	% Etc aplicados en riego		
	Fase I	Fase II	Fase III
Control (T-100)	100	100	100
T-130	130	130	130
T-70	70	70	70
RDC	100	20	100

Fase I: de inicio de la vegetación a mediados/ finales de junio.

Fase II: de finales de junio a cosecha.

Fase III: de cosecha a caída de hojas.

CUADRO IV.

RESPUESTA PRODUCTIVA DE DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO EN ALMENDRO (Girona *et al.*, 2005).

Tratamientos de riego	Producción de grano (kg/ha)	Nº frutos / árbol	Peso seco grano (g)	Peso seco cáscara (g)	Agua de riego (mm/ha)	Productividad del agua de riego (kg/m³ agua)
T-100	1.756 a	3.436 a	1,49	2,22	537	0,33
T-130	1.555 ab	3.058 ab	1,48	2,23	666	0,23
T-70	1.479 ab	2.947 b	1,46	2,10	355	0,42
RDC	1.408 b	2.864 b	1,45	2,13	217	0,65

do altamente resistente en el período de verano. Esto se debe a que en primavera esta especie tiene concentrados la mayoría de procesos de crecimiento vegetativo (procesos sensibles al déficit hídrico), mientras que en verano casi únicamente se realiza el transporte de asimilados de las hojas y los almacenes de reservas al fruto (proceso poco sensible al déficit hídrico).

Algunos resultados de RDC en almendro

En un ensayo recientemente publicado (Girona *et al.*, 2005), realizado durante cuatro años (1990-1993) en el Centre de Mas Bové del IRTA en Tarragona, se evaluó la capacidad productiva del almendro sometido a tres niveles de riego: T-100, (100% de la demanda hídrica, determinada según el método del balance hídrico); T-130, como un 30% más de agua que en T-100; y T-70, como un 30% lineal menos de agua que T-100, y una estrategia de RDC, que consistía en aplicar T-100 hasta finales de junio (justo cuando se inicia el crecimiento de la almendra) y un 20% de T-100 desde este momento hasta la cosecha, para seguir aplicando T-100 después de la cosecha (**cuadro III**).

Los resultados productivos del **cuadro IV** ponen de manifiesto tanto el enorme interés que tiene productivamente regar con dotaciones totales de riego (T-100) para obtener producciones de casi un promedio de 1.800 kg de almendra grano por ha y año, como la aplicación de estrategias de RDC que permiten obtener buenas producciones (1.400 kg de grano por ha y año) utilizando tan sólo una tercera parte del consumo de T-100, y en la que evidentemente la productividad del agua de riego es la mayor (0,65 kg de grano de almendra por m³ de agua aplicada en riego).

Estos resultados concuerdan con los obtenidos en otros trabajos experimentales en que las estrategias de RDC en almendro, aplicadas en los términos aquí definidos, dan siempre muy buenos resultados productivos utilizando limitadas cantidades de agua de riego (Girona *et al.*, 1994 y 2005; Romero *et al.*, 2004 a y b; Goldhamer y Viveros, 2000, y Goldhamer *et al.*, 2006) y con resultados económicos positivos (Romero *et al.*, 2006).

Aunque los resultados del **cuadro IV** corresponden a la media de producción de cuatro años, las cosechas de los dos últimos años fueron netamente superiores, debido a que los almendros entraban en el sexto y séptimo año, y en consecuencia éstas se incrementaron considerablemente tal y como indica la **figura 2**.

Consideraciones sobre el RDC

La introducción del riego deficitario controlado (RDC) a principios de los ochenta (Chalmers *et al.*, 1981; Mitchell *et al.*, 1984) sirvió para entender que es posible jugar con ciertos niveles de déficit hídrico para mejorar la productividad en algunas especies leñosas, lo que ha inducido a que se estudie la respuesta de otras especies (olivo, manzano, limoneros, cítricos, etc.) al RDC (Alegre *et al.*, 2002; Caspari *et al.*, 1994; Domingo *et al.*, 1996; Goldhamer, 1999; Gonzalez-Altozano y Castel, 1999). Aunque el RDC fue ori-

ginariamente orientado a reducir crecimiento vegetativo y mejorar el crecimiento del fruto (Chalmers *et al.*, 1981, Li *et al.*, 1989), se han descrito otras ventajas como la tendencia general a mejorar aspectos cualitativos (Feres *et al.*, 1990, Gelly *et al.*, 2003) y una mejor conservación en post-cosecha (Crisosto *et al.*, 1994). Asimismo, se ha observado que el RDC puede cambiar conductas de la floración en los años siguientes a su aplicación, tanto en *Prunus* (Girona *et al.*, 1997; Goldhamer y Viveros, 2000; Johnson *et al.*, 1992; Lampinen *et al.*, 1995; Li *et al.*, 1989) como en *Pyrus* (Caspari *et al.*, 1994; Marsal *et al.*, 2002).

Conclusión

El almendro, como todos los vegetales, tiene una respuesta positiva a los aportes de agua de riego. Las estrategias de RDC se pueden aplicar para mejorar la productividad del almendro en zonas con recursos limitados de agua. No obstante, cuando los árboles están en fase juvenil (primeros años después de la plantación), se debe aplicar todo el agua disponible para el riego del almendro, es decir, se debe regar con el 100% de los requerimientos, mientras dispongamos de esta agua. Es importante en esta fase hacer árboles grandes, a los cuales aplicar más tarde estrategias de RDC. Un problema que presentó el ensayo estudiado es que los tratamientos de RDC se aplicaron desde los primeros años de vida del almendro, lo que redujo su crecimiento vegetativo (los árboles de RDC eran más pequeños), y en consecuencia su productividad potencial. Es importante regar los árboles en su fase juvenil y aplicar estrategias de RDC a medida que los árboles sean más voluminosos y las disponibilidades de agua ya no cubran la demanda total del cultivo. ■

Bibliografía

Existe una amplia bibliografía a disposición de nuestros lectores en redaccion@eumedia.es

FIGURA 2.

RESPUESTA PRODUCTIVA DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS DE RIEGO APLICADOS AL ALMENDRO (Girona *et al.*, 2005).