

EN BUSCA DE UN RIEGO EFICAZ



Panorámica olivar regado de la comarca de La Loma. Entre Villacarrillo y Torreperogil.

TECNOLOGÍA DE PROGRAMACIÓN DE LOS RIEGOS EN SITUACIONES DE BAJA DISPONIBILIDAD DE AGUA

Por: Miguel Pastor Muñoz-Cobo* y Lourdes Soria**

INTRODUCCIÓN

La provincia de Jaén es una de las provincias económicamente más deprimidas de España. La razón, una alta proporción de su población depende del olivar, cultivo de secano cuya producción y rentabilidad están unidas a las precipitaciones de agua de lluvia. Ante la falta de otras expectativas económicas, y como consecuencia de la gran

*Dpto.Suelos y Riego. CIFA 'Alameda del Obispo' - Córdoba. Consejería de Agricultura y Pesca
**Universidad Internacional de Andalucía. Sede Antonio Machado. Baeza (Jaén)

sequía que asoló estas tierras en los primeros años de la década de los noventa, los olivares se plantearon la transformación en regadío de sus olivares como posible salida de su estancamiento económico. En la actualidad ya existen en Jaén más de 150.000 ha de olivar regadas por goteo.

En esta provincia el olivar es el cultivo que proporciona una máxima rentabilidad social y económica por cada metro cúbico de agua empleada. Cuando el olivareño comienza a realizar sus instalaciones de riego el agua estaba ya comprometida para otros usos. La cuenca del Guadalquivir sufre un

importante déficit estructural comprendido entre los 500 y 700 hm³ al año, déficit que parece debido, fundamentalmente, al poco eficiente uso del agua en muchos de los cultivos e instalaciones de regadío existentes, y probablemente también a la falta de embalses de regulación y almacenamiento, ya que en los años de lluvias abundantes grandes volúmenes de agua van al océano Atlántico.

Teniendo en cuenta la importancia social del agua en el riego del olivar de Jaén, por razones diversas el organismo regulador de la cuenca, Confederación Hidrográfica del



El almacenamiento de agua en grandes balsas permite asegurar los riegos otoñales, de vital importancia en olivar. Balsa de la C.C.R.R. Mendoza en el t.m. de Baeza.



El riego por goteo es el sistema más empleado en la actualidad en olivar.

Guadalquivir (C.H.G.), ha propuesto una serie de condiciones a los regantes de olivar en sus autorizaciones, cuya finalidad podría ser aumentar y racionalizar el empleo de los recursos hídricos de la cuenca en el momento actual. Entre ellos cabe destacar:

- riego del olivar cuando se producen escorrentías no reguladas, precisamente cuando el agua no se demanda por otros cultivos o aprovechamientos, asignándose al olivar una dotación anual de 1.500 m³/ha, con captación únicamente en el período septiembre-abril, más un riego de socorro en verano.

- construcción de grandes balsas privadas, para almacenamiento de aguas invernales, que permitan dar riegos de socorro o mantenimiento en épocas críticas para el cultivo, en las que existe restricciones en la captación de agua de los cursos superficiales.

Se ha documentado experimentalmente que los regadíos en estas condiciones permiten obtener una mejora sustancial de las producciones del olivar de las campiñas de Jaén, en especial si comparamos dichas producciones con las obtenidas en secano. Pero hay que decir que la modalidad de riego propuesta por la C.H.G. no puede generalizarse a todas las situaciones agronómicas.

La mayoría del olivar regado de Jaén tiene una reducida densidad (70-100 olivos/ha), vegeta sobre suelos profundos y con una gran capacidad de almacenamiento de agua. En el año medio la lluvia podría llegar a cubrir el 70% de las necesidades de este tipo de olivar, ya que tradicionalmente se aplican técnicas de cultivo, y en especial

la poda, que mantienen olivos con pequeño volumen de copa por hectárea, similar a los de secano, lo que permite regar en los primeros años con reducidas dotaciones de agua. Sin embargo, en situaciones de suelos poco profundos o con limitada capacidad de retención, olivares con mayor densidad de plantación o cuando se realizan podas que mantienen árboles con mayor volumen de copa, lo que es deseable en regadío, o se riegan zonas con una demanda evaporativa del ambiente (E_{To}) superior a la de las zonas altas de Jaén, es imposible regar el olivar con una dotación de 1.500 m³/ha, y menos aún cuando por imperativos concesionales hubiera que aplicar los riegos únicamente en el período septiembre-abril con las actuales instalaciones.

Ante el aumento progresivo de la superficie de olivar transformado en regadío en Andalucía, investigadores del CIFA de Córdoba y del Instituto de Agricultura Sostenible (C.S.I.C.) con el apoyo de Caja Rural de Jaén comenzamos en 1992 una serie de trabajos tratando de generar los conocimientos necesarios para que en un futuro próximo se pudiese crear un **Servicio de Asesoramiento a los Regantes de Olivar** cuyo objetivo fuese optimizar el uso de las escasas cantidades de agua disponibles. Las líneas de investigación han sido las siguientes:

- Conocimiento de las necesidades reales de riego del olivar y puesta a punto de la metodología de cálculo de las mismas.
- Cálculo de las necesidades de riego en olivares con cobertura incompleta.
- Establecimiento de los momentos de máxima sensibilidad al déficit hídrico.

- Indicadores de estrés hídrico en olivar
- Programación de riego en situaciones de baja disponibilidad de agua. Riego deficitario controlado. Eficiencia en el uso del agua de riego.

NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO DEL OLIVAR

El agua perdida por transpiración de las plantas es el coste que estas deben pagar para producir biomasa (ramas, tallos, hojas, frutos), agua que debe ser repuesta a los tejidos mediante extracción del suelo por el sistema radical. Para alcanzar la máxima producción, el contenido de agua en el suelo debe ser el suficiente como para que el cultivo pueda extraer toda el agua que le demanda el ambiente en cada momento de su ciclo de cultivo. Esa cantidad de agua, unida a la que se pierde por evaporación desde la superficie del suelo, constituye lo que se conoce como **evapotranspiración máxima del cultivo (E_{Tc})**, y debe ser satisfecha mediante la lluvia y/o el riego para que la producción y crecimiento no se reduzca como consecuencia de un déficit hídrico.

Para el cálculo de las necesidades de agua de riego de un olivar adulto puede emplearse la metodología FAO del **balance de agua** en el que la E_{Tc} se calcula como el producto de tres términos:

$$E_{Tc} = E_{To} \times K_c \times K_r$$

La evapotranspiración de referencia (E_{To}) es el parámetro que cuantifica la demanda evaporativa de la atmósfera y corresponde a la evapotranspiración de una pradera de gramíneas segada, con una altura entre 8 a 10 cm, que crece sin limita-

ciones de agua y nutrientes en el suelo y sin incidencia de plagas y/o enfermedades. Puede estimarse utilizando fórmulas empíricas. La expresión de Penman – Monteith es la que proporciona las mejores estimaciones, aunque para los olivares del Valle del Guadalquivir la expresión de Hargreaves, que solo necesita datos de temperaturas máximas y mínimas diarias, proporciona estimaciones suficientemente precisas para el riego del olivar siempre que se realicen los cálculos para períodos decenales o quincenales.

Los coeficientes **Kc** y **Kr** cuantifican el efecto propio del cultivo y de su estado de desarrollo en la **ETc**. El **coeficiente de cultivo (kc)** expresa la relación existente entre la evapotranspiración de un cultivo de olivos que cubre completamente el suelo

Mes	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
Kc	0.50	0.50	0.65	0.65	0.65	0.60	0.60	0.60	0.60	0.65	0.65	0.50

y la **ETo**, y ha sido determinado experimentalmente:

El coeficiente **Kr** depende de la cobertura real del suelo por el olivar que vamos a regar, dependiendo su valor de la superficie de suelo cubierta por la copa de los olivos y de la densidad de plantación.

Tratando de hacer una estimación de las necesidades medias de agua de riego para el olivar de Jaén, hemos trabajado con valores medios de 20 estaciones meteorológicas (pluviometría = 520 mm y **ETo** = 1.300 mm). Hemos considerado también un suelo arcilloso (limo fino + arcilla > 60 %) y una profundidad útil de 100 cm, lo que en el año de pluviometría media permitiría disponer de una reserva útil de agua en el suelo a principio de la primavera de unos 145 mm, como complemento del agua de riego.

Las necesidades de riego mensuales se han calculado en base a ir agotando poco a poco la reserva invernal de agua del suelo, hasta un total del 75 % de su capacidad, de modo que lleguemos a final del verano disponiéndose todavía del 25 % de la reserva, dejando esta fracción como colchón de seguridad (en previsión de averías, olas de calor en verano, etc.). Igualmente se ha considerado el 70 % de la lluvia (precipitación efectiva), y se desprecian, por ineficaces, las posibles lluvias de los meses de verano. El empleo de esta estrategia permite reducir los caudales punta demandados en verano (**ETo** máxima) y abaratar considerablemente las instalaciones. Con esta estrategia, aplicable a olivares adultos, se asume

que aunque la producción media normalmente no se afectaría, si que cabría esperar una reducción del crecimiento vegetativo, lo cual en ocasiones podría ser conveniente para el control del vigor de los árboles.

Con estos condicionantes hemos calculado las necesidades mensuales de agua para olivares con densidades de 100 - 150 - 200 y 300 olivos por hectárea, y para volúmenes de copa de la plantación 6.000 - 8.000 - 10.000 y 12.000 m³/ha.

En la **Figura 1** vemos como la demanda de agua de riego varía de forma muy sensible en función de la densidad de plantación y del tamaño de los olivos, con valores extremos comprendidos entre unos 700 m³/ha y año para un olivar plantado con 100 olivos/ha y con un volumen de copa de 6.000 m³/ha, y unos 4.200 m³/ha para un

olivar con 300 olivos/ha y un volumen de copa de 12.000 m³/ha. Podemos observar igualmente en dicha figura que un olivar con 100 olivos por hectárea y volumen de copa de 6.000 m³/ha demandaría en el año de climatología media unos 700 m³/ha, mientras que si como consecuencia de la poda aplicada se le dejase alcanzar los 12.000 m³/ha, las necesidades de agua de

riego se establecerían en 2.500 m³/ha. De estos datos se deduce el importante papel de la **poda** sobre la demanda de agua por el cultivo. Así una **poda severa** que reduzca el tamaño de la copa permite adaptar el cultivo a la disponibilidad de agua de riego en la explotación, aunque igualmente habría que asumir una reducción en la producción, valores que en una plantación con 100 olivos/ha serían del siguiente orden (datos simulados empleando el modelo de intercep-

Volumen de copa (m ³ /ha)	Producción aceituna con 20% rendimiento (Kg/ha)
6.000	4.555
7.000	5.154
8.000	5.727
9.000	6.276
10.000	6.802

tación de radiación propuesto por Mariscal en 1999):

La capacidad de retención de agua del suelo, determinada esta por la proporción de elementos finos (limo y arcilla) y por la profundidad del suelo, influye sobre las necesidades anuales de agua de riego de un determinado olivar. Así, para una **profundidad** de 1 metro, las necesidades anuales de agua de un olivar con una densidad de

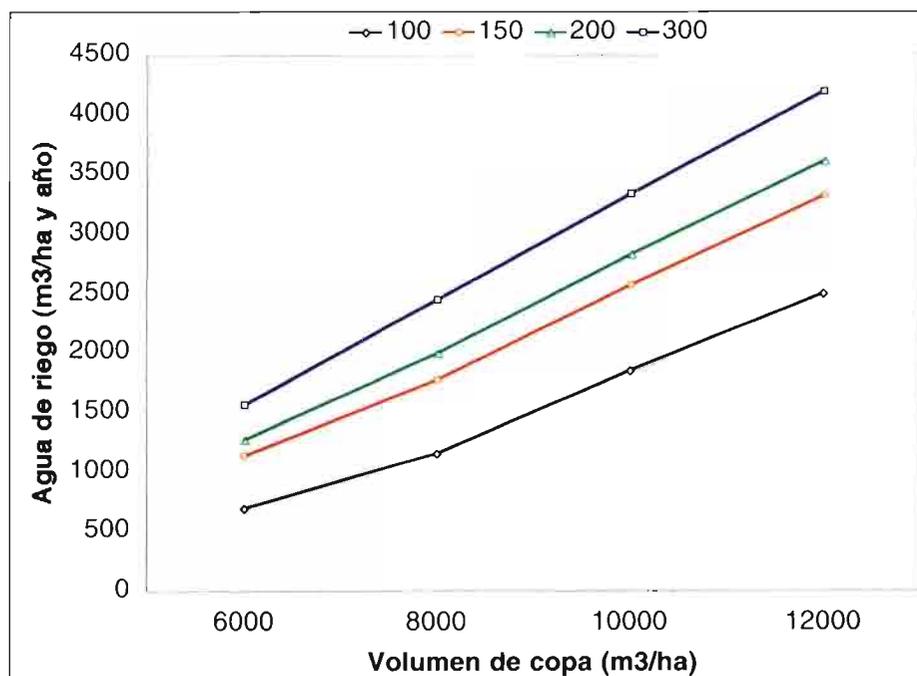


Figura 1: Necesidades anuales de agua del olivar en el año medio en la provincia de Jaén, cultivado en suelos arcillosos (limo fino + arcilla = 60 %) y profundos (100 cm), en función la densidad de plantación y del volumen de copa por hectárea.

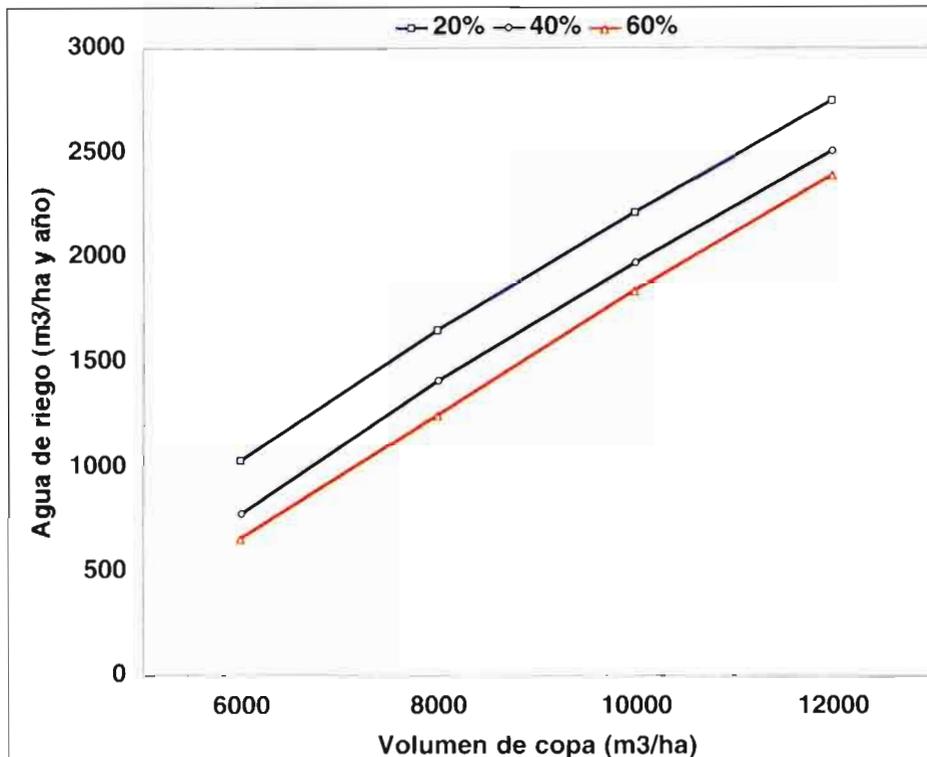


Figura 2: Necesidades anuales de agua de un olivar con 100 árboles/ha y diferentes volúmenes de copa, en el año medio en la provincia de Jaén, en suelos con diferente capacidad de retención de agua (fracción cultivado limo fino + arcilla = 20 - 40 y 60 %), para una profundidad de suelo explorada por las raíces de 100 cm.

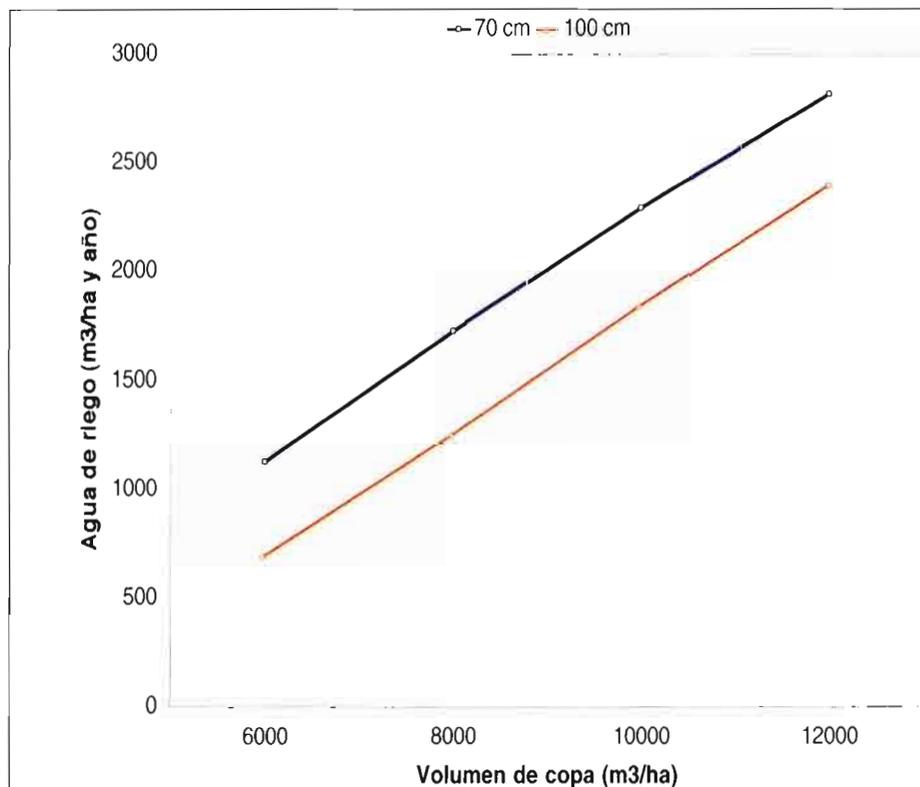


Figura 3: Necesidades anuales de agua del olivar en el año medio en la provincia de Jaén, para un olivar con 100 olivos/ha y diferentes volúmenes de copa, cultivado en un suelo con un contenido en elementos finos (limo fino + arcilla = 60 %), y en suelos con diferentes profundidades (70 cm y 100 cm)

¿ES SUFICIENTE LA CONCESIÓN DE 1.500 M³/HA?

¿CUAL ES LA MEJOR ESTRATEGIA DE RIEGO EN CADA CASO?

100 olivos/ha y con un volumen de copa de 10.000 m³/ha (Figura 2) podrían variar entre 2.200 m³/ha en un suelo franco-arenoso y 1.850 m³/ha en un suelo franco arcilloso.

De igual modo, la **profundidad del suelo** influye igualmente sobre las necesidades anuales de agua. Para el mencionado olivar tipo, y para un suelo franco-arcilloso, las necesidades de agua variarían entre 1.850 m³/ha, para un suelo con una profundidad de 100 cm, y 2.300 m³/ha si la profundidad útil solo fuese de 70 cm (Figura 3).

La razón por la que no es posible dar una cifra sobre las necesidades de agua de un determinado olivar tipo es que tanto la capacidad de retención del suelo como la profundidad del mismo influyen sobre la cantidad de agua de lluvia almacenada en el perfil durante la estación lluviosa, agua que será empleada por el olivo durante la estación seca como complemento al riego, de modo que si se redujera la cantidad almacenada (reserva), habría que suplir el déficit con importantes cantidades de agua de riego. Por esta razón en **los años con pluvio-metría inferior a la media** sería necesario aumentar la dotación de riego para no someter al olivar a un déficit hídrico, déficit que ocasionaría una cierta pérdida de producción, mayor en la medida que el olivar tenga una mayor demanda (mayor volumen de copa, mayor densidad de plantación). Estos datos apuntan la necesidad de la regulación interanual de la reserva almacenada en los embalses de regulación de la cuenca hidrográfica.

SENSIBILIDAD ESTACIONAL AL DÉFICIT HÍDRICO

Para poder programar los riegos en las situaciones en las que no se dispone de cantidades ilimitadas de agua, hecho frecuente en Andalucía, es necesario tener en cuenta la sensibilidad estacional de este cultivo al



Olivo de secano del ensayo de riego de Pichilín en el t.m. de Ubeda.



Olivo que recibe una dosis de agua de 2.500 m³/ha.año en cantidades mensuales constantes desde Marzo a Octubre. Finca Pichilín t.m. de Ubeda.

déficit hídrico, sensibilidad que no es igual en todas las épocas del año, existiendo períodos en los que esta es mucho menor, lo que obliga a idear estrategias de riego deficitario, a partir de las cuales se podrían reducir las aportaciones totales de agua, obteniendo, a pesar de ello, buenas producciones y una máxima eficiencia por cada metro cúbico de agua aplicada.

En el periodo **febrero-mayo** (según las zonas), acontecen la diferenciación de las yemas de flor, el desarrollo de las yemas (flor y madera), la floración, el cuajado de los frutos y el crecimiento de los brotes. Durante este periodo es importante que no falte agua, ya que ello afectaría negativamente a diferentes procesos vitales :

- a la aparición de inflorescencias sobre brotes del año anterior (déficit invernal),
- al número de flores por inflorescencia y a la calidad de flores (pistilos abortados) y en definitiva al número de flores fértiles por olivo,
- al número de frutos cuajados por olivo
- al crecimiento de los brotes, portadores de la cosecha al año siguiente
- a la masa foliar, con lo que se reduciría la producción de asimilados y con ello a la capacidad productiva presente y futura.

En los meses de **junio-julio** tiene lugar la caída fisiológica de frutos cuajados hasta fijarse, a final del periodo, la población final de frutos. Para prevenir caídas excesivas, especialmente las relacionadas con el nivel de reservas del olivo, es necesario que el árbol llegue a este periodo en el mejor estado hídrico y nutricional posible. Muchos autores describen este periodo como de máxima

EL IMPORTANTE PAPEL DE LA PODA

LA INFLUENCIA DEL SUELO

LAS ÉPOCAS CRÍTICAS

NUEVOS MÉTODOS DE MEDIDA

sensibilidad al déficit hídrico, que afectaría además a la inducción floral, lo que podría afectar a la floración y a la producción del año siguiente. Realmente en esta época es muy importante regar, aportando las cantidades de agua que aseguren que no se produzca un déficit hídrico severo, aunque moderados estreses, una vez estabilizada la población frutos del árbol, no parecen afectar negativamente al tamaño del fruto y por tanto a la producción del árbol.

Durante los meses más calurosos del **verano**, época con máxima demanda evaporativa de la atmósfera, sí que es posible realizar un recorte significativo en la aportación de agua en olivar de almazara, debiéndose mantener al olivo con un mínimo de funcionalidad en las hojas, para que pueda haber la fotosíntesis suficiente como para que no se vea disminuido el potencial de

crecimiento de la aceituna durante el periodo. Además, y con independencia del contenido de agua en el suelo, en esta época del año se produce un cierre de los estomas a primeras horas de la mañana como consecuencia del déficit de presión de vapor (baja humedad relativa del aire), una vez alcanzados determinados valores umbral, por lo que el propio cultivo contribuye a economizar agua.

En el periodo **fin de verano-noviembre** se produce el máximo crecimiento de los frutos, así como la mayor formación y acumulación de aceite en las aceitunas. Por esta razón la cosecha de aceite del árbol y el rendimiento graso de la de la aceituna va a depender, en gran medida, de la disponibilidad de agua en este periodo. Por otra parte, en esta época del año el árbol acumula reservas y nutrientes para el año siguiente, dependiendo de la disponibilidad de agua la floración del año siguiente.

Aunque en cada explotación las cantidades de agua y los momentos en que se dispone de este agua son diferentes, habría que tener los medios estructurales suficientes (balsas de almacenamiento) que permitiesen aportar el agua en los momentos críticos, especialmente en el otoño (por razones de incertidumbre climatológica) de acuerdo con los criterios expuestos anteriormente.

MONITORIZACION PARA LA PROGRAMACION DE RIEGOS

El conocimiento del consumo de agua por los cultivos es fundamental para la programación de riegos. Aunque la medida del



Olivo regado cubriendo las necesidades óptimas del cultivo. Finca Pichilín t.m. de Ubeda.

contenido de agua en el suelo ha sido uno de los métodos más extendidos como ayuda a la toma de decisiones en programación de riegos. Los métodos basados en la utilización de variables meteorológicas, así como la monitorización del estado hídrico de la planta representan una alternativa válida, aunque estas técnicas han sido hasta ahora poco difundidas.

El método del **balance de agua** supone un control de las **entradas** (lluvia efectiva y riego) y de las **salidas** (evaporación desde el suelo y transpiración del cultivo). La dificultad de cálculo o estimación de los parámetros que alimentan el modelo es el mayor inconveniente del método, en especial si se dispone de agua con restricciones en cantidad y momento de aplicación.

Otra posibilidad es la medida del **contenido de agua en el suelo**, y en base a ello tomar decisiones sobre el momento y cantidad de agua a aplicar. Existen diferentes métodos de estimación: gravimetría (muestreo con barrenas a diferentes profundidades y desecación en estufa hasta peso constante), instalación de tensiómetros, electro-tensiómetros, bloques de yeso, sonda de neutrones, sondas TDR y FDR, medida de la capacitancia, etc. Todos estos métodos exigen calibración local. Además la variabilidad espacial de las propias medidas aconseja que, además de realizar multitud de observaciones, su utilización en la programación del riego deba hacerse con mucha cautela, considerando dichas mediciones como parcialmente inciertas, por lo que este tipo de datos deben ser complementados con otras observaciones.

Los métodos de estimación de la **evapotranspiración del cultivo** son valiosos

siempre que se disponga de datos climáticos fiables a tiempo real que proporcionen estaciones meteorológicas bien calibradas. Por otro lado las expresiones empíricas que permiten calcular la ET_c deben ser siempre calibradas a nivel local, para que puedan ser empleadas con garantías.

Recientemente han aparecido nuevos equipos de control y análisis, como el método de la **covarianza de torbellinos** que permiten el cálculo de la ET del cultivo a tiempo real. La utilización de este método requiere suficiente extensión de cultivo homogéneo y el manejo del equipo por un técnico muy bien entrenado.

Otra posibilidad es la programación de los riegos en base a medida del **estado hídrico de la planta**. Uno de los parámetros utilizados es el **potencial hídrico** de la hoja, que representa la medida de la fuerza con la que el agua está retenida por la hoja. **Su medición justo antes de la salida del sol está muy relacionada con la cantidad de agua que existe en el suelo**, mientras que los valores tomados al mediodía dependen además de la demanda evaporativa del ambiente. La medida del potencial antes del amanecer, junto con evaluaciones directas del contenido de agua en el suelo pueden ser los parámetros más útiles a la hora de la toma de decisiones sobre el riego en situaciones de baja disponi-

bilidad de agua. Esta metodología está bastante puesta a punto en la provincia de Jaén, y su calibración en experimentos de riego ha proporcionado resultados muy satisfactorios cuando posteriormente se ha aplicado en la programación del riego en una comunidad de regantes de 1.700 hectáreas.

RESPUESTA DEL OLIVAR A RIEGOS DEFICITARIOS EN LA PROVINCIA DE JAÉN

Desde el año 1.995 se mantienen dos experimentos de campo (Villacarrillo y Jódar) en olivar intensivo (200 olivos/ha) y tradicional (65 olivos/ha) en los que se aplican diferentes estrategias de riego: a) cultivo en **secano**; b) **riego FAO** aplicando la metodología de cálculo de la ET_c propuesta por FAO, utilizando un coeficiente de cultivo $K_c = 0,6$ (0,7 a partir de 1999) y una lluvia eficaz del 70% de la lluvia realmente producida, despreciando las lluvias de los meses junio, julio, agosto y septiembre, tratamiento que denominaremos **FAO**. Los valores de ET_c así obtenidos se han minorado anualmente aplicando un coeficiente reductor K_r calculado en función de la superficie cubierta (S_c) por la copa de los olivos; c) **riego denominado de invierno (1.500 L o 2.500 L)** en el que se aplica un total de 1.500 m^3/ha (2.500 m^3/ha en el olivar intensivo), en el periodo 15 septiembre-15 abril, en cantidades de 90 m^3/ha y quincena, con riego de apoyo de unos 2.000 litros/olivo en endurecimiento del hueso (junio-julio), de acuerdo con las autorizaciones del Organismo Regulador de la Cuenca; d) riego con aplicación de una cantidad constante semanal durante el periodo 1 marzo a 31 octubre (**1.500 L o 2.500 L**), con una dotación anual de 1.500 m^3/ha en olivar tradicional (2.500 m^3/ha en el intensivo), aportándose en la plantación tradicional 187,5 m^3/ha y mes, con independencia de las condiciones climáticas; y e) **riego deficitario (750 o 1.250)**, aplicando 750 m^3/ha en el olivar tradicional (1.250 m^3/ha en el intensivo), en los momentos de máxima sensibilidad al déficit hídrico prefloración, cuajado del fruto, endurecimiento del hueso y finalmente en oto-

Tabla 1: Cantidades de agua de riego aportadas (m^3/ha) en el tratamiento de riego FAO en cada finca y año.

Finca	Tratamiento	1996	1997	1998	1999	2000
Pichilín (200 ol/ha)	F.A.O.	3.242	3.383	2.489	5.239	5.907
La Loma (65 ol/ha)	F.A.O.	2.203	2.650	1.839	3.690	4.356

ño) A continuación se muestra el agua de riego aportada realmente al tratamiento FAO en cada ensayo.

La **ET_o** media anual observada en ambas localidades se cifra en unos 1.200 mm en Villacarrillo y 1.300 mm en Jódar. La pluviometría (Tabla 2) fue bastante alta en los años 1.996, 1.997 y 1.998, mientras que 1.999 fue muy seco y el 2.000 bastante seco, lo que ha condicionado la respuesta productiva del olivar a los diferentes programas de riego.

condiciones edafoclimáticas de la zona estudiada está condicionada por dos factores: a) la **pluviometría**, que en el año medio cubre un porcentaje importante de las necesidades máximas del cultivo, además de una gran incertidumbre sobre la pluviometría total anual, aconteciendo con cierta frecuencia años secos que hacen peligrar la producción del olivar; y b) por la **capacidad de almacenamiento de agua de los suelos**, que en las parcelas en las que se realizaron los ensayos, y en general en la zona,

sidades anuales del cultivo.

La respuesta al riego se fundamenta en un aumento del volumen de la copa de los olivos (mayor número de frutos cuajados), y en una mayor capacidad de llenado de las aceitunas durante la estación seca. Los datos presentados confirman que manejando adecuadamente el volumen de copa de los árboles podría regularse el consumo de agua del olivo.

Las dotaciones de riego propuestas por el organismo regulador de la cuenca para las

Tabla 2. Pluviometría (mm) mensual observada en cada uno de los ensayos en el periodo 1995-2000.

Finca	Año	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Total
Pichilín (Villacarrillo)	95-96	37.0	48.0	183.0	121.0	38.0	16.7	40.4	77.5	6.2	0	8.5	88.2	664.5
	96-97	24.5	113.6	152.2	119.7	3.2	0	46.4	49.5	41.4	0	53.6	75.8	679.9
	97-98	33.8	184.4	128.1	37.8	34.8	20.5	29.5	76.3	22.7	0	5.9	31.5	605.3
	98-99	9.3	12.6	30.6	26.3	22.7	38.1	8.5	3.8	29.3	0	3.3	45.5	230.0
	99-00	99.7	49.7	51.2	10.6	0	9.7	91.4	33.1	1.4	2	2.1	5.9	356.8
La Loma (Jódar)	95-96	23.5	105.0	88.5	115.2	46.4	28.7	46.6	80.6	16.1	0	4.0	91.0	645.1
	96-97	24.2	101.7	109.2	153.0	3.8	0	51.2	41.6	30.3	0	26.1	58.0	599.1
	97-98	22.2	109.2	121.4	27.4	21.5	25.7	47.3	77.3	27.1	0	5.5	36.9	577.1
	98-99	1.6	153.0	20.0	28.5	17.0	9.7	2.6	2.6	23.8	0	0.9	54.0	193.6
	99-00	99.2	30.2	50.8	1.1	0	13.6	81.7	28.4	0	0	0.4	16.4	321.8

Tabla 3: Producciones de aceituna con el 20 % de rendimiento graso y eficiencia del agua de riego obtenidas en los ensayos de las fincas La Loma (Jódar) y Pichilín (Villacarrillo) en los años 1996--2000.

Finca	Programa de riego	Producción 20 % Rto (kg / olivo)			Eficiencia agua de riego (kg aceite / m ³)		
		1996-1998	1999-2000	1996-2000	1996-1998	1999-2000	1996-2000
La Loma 65 ol / ha	FAO	134	149	140	0.240	0.430	0.344
	1.500 - I	132	99	119	0.334	0.728	0.491
	1.500 - L	131	92	115	0.324	0.666	0.461
	750	117	81	103	0.420	1.142	0.709
	Secano	93	15	62			
Pichilín 200 ol / ha	FAO	86	102	90	0.608	0.635	0.463
	2.500 - I	67	70	75	0.437	0.914	0.519
	2.500 - L	69	71	74	0.464	0.923	0.496
	1.250	54	49	59	0.474	1.142	0.526
	Secano	40	13	43			

La Tabla 3 muestra las producciones de aceitunas referidas al 20 % de rendimiento graso y la eficiencia en el uso del agua de riego (Kg aceite / m³) obtenidas en los mencionados campos de ensayo durante los últimos cinco años, mientras que la Tabla 4 recoge la evolución a lo largo de los años de duración del ensayo de los volúmenes de copa de los olivos.

La respuesta al riego del olivar en las con-

es elevada (gran capacidad de retención y profundidad), lo que permite almacenar las lluvias de invierno para su consumo en verano.

En esta situación, en los años secos existe una respuesta espectacular al riego, incluso a las dosis más bajas; mientras que en años lluviosos, y especialmente cuando la pluviometría está bien repartida, con menores dotaciones de riego podrían cubrirse las nece-

concesiones de agua (1500 m³/ha) parecen adecuadas en años de pluviometría media, pero parecen totalmente insuficientes para los años secos, donde se afecta claramente la producción con respecto al tratamiento con mayor dotación de agua (FAO), lo que se hace especialmente grave en el caso de las plantaciones intensivas, en las que los 1500 m³/ha resulta insuficiente incluso en años húmedos.

Teniendo en cuenta la buena retención de agua de los suelos, no parece ser un inconveniente el hecho de aplicar una gran proporción de la dotación anual durante el invierno, época en la que en la cuenca del Guadalquivir hay excedentes de agua, con respecto a la alternativa del riego a lo largo del período marzo-octubre en aportaciones mensuales constantes. En los suelos con problemas de encharcamiento hay que tratar de evitar grandes aportaciones de agua de riego invernales, lo que ocasionaría problemas de asfixia radical, que afectaría negativamente a la producción, cuestión que ha sido demostrada en un experimento de campo.

En situaciones de baja disponibilidad de agua, lo normal en la cuenca, parece más eficaz regar una mayor superficie aplicando programas de riego deficitario, como lo demuestra el hecho (Tabla 3) de que los programas de riego con menor dotación anual de agua proporcionen una mayor cantidad de aceite por cada metro cúbico de agua aplicada.

Dosis excesivas de agua pueden afectar negativamente al rendimiento graso de la aceituna. Sin embargo la producción de aceite por árbol es siempre mayor en el olivar regado con la mayor dotación.

La medida del potencial de agua en hoja antes del amanecer puede ser un parámetro interesante para conocer indirectamente la disponibilidad de agua en el suelo, y en base a ello programar el riego durante la estación seca en situaciones de baja disponibilidad de agua. La evolución anual de este parámetros explica bastante bien la res-

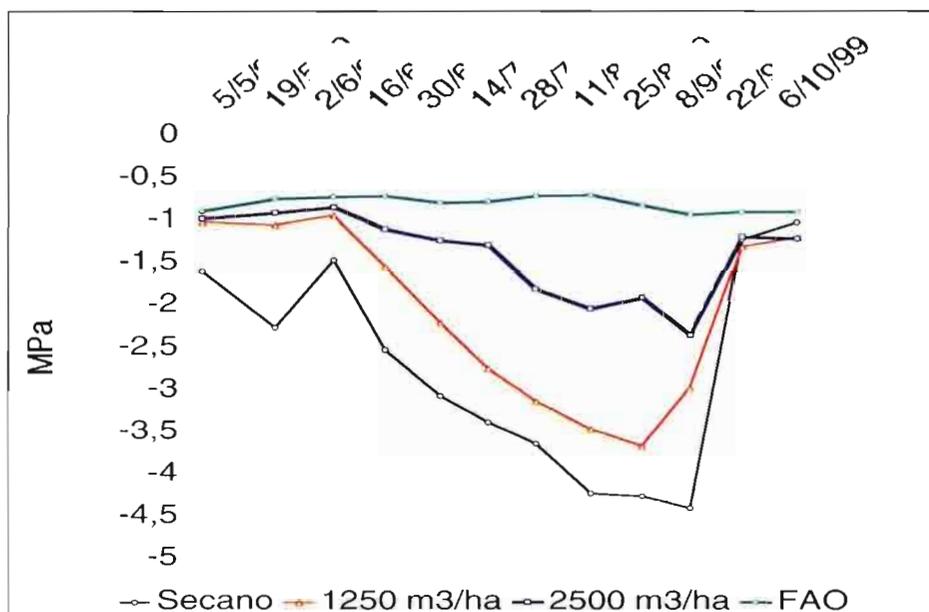


Figura 4: Evolución anual del potencial de agua en hoja antes del amanecer en los diferentes tratamientos de riego en la finca Pichilín (Villacarrillo), año 1999. El riego denominado FAO aporta agua para máxima evapotranspiración, intentando que el potencial no descienda nunca de $-1,0$ MPa. La recuperación del potencial hídrico a partir de 8/09/99 en todos los programas es consecuencia de las lluvias de principio de septiembre.

puesta productiva del olivo al riego. En la Figura 4 presentamos la evolución en el tiempo de los valores de potencial antes del amanecer, mientras que la Figura 5 muestra las producciones en Pichilín 1999. La congruencia de estos datos es absoluta. El déficit hídrico ocasionado con la aplicación de riegos deficitarios a lo largo del verano, han determinado la reducción de la producción en el olivar con respecto al control bien regado, pero la medida de estos parámetros

parece bastante interesante para la programación de los riegos deficitarios.

ASESORAMIENTO A OLIVAREROS EN LA PROGRAMACIÓN DEL RIEGO

La aplicación de la serie de conocimientos que hemos expuesto anteriormente por parte de un **Servicio de Asesoramiento al Regante** podría ser no demasiado complicado, siempre que se disponga de un personal técnico debidamente entrenado. Además es necesario un mínimo equipamiento:

- red de estaciones meteorológicas automáticas equipadas con el correspondiente equipo de sensores (al menos pluviómetro y registros de temperaturas),
- cámara de presión para la medida del potencial hídrico en hoja,
- equipo de medida del contenido de agua en el suelo con el correspondiente equipo de tubos de acceso a sondas FDR instalados en el campo.

Las estaciones meteorológicas automáticas pueden proporcionar a tiempo real los parámetros climáticos necesarios para estimar la evapotranspiración de referencia (**ET_o**) y la lluvia efectiva (**P_{ef}**).

A partir de la red de estaciones meteorológicas, el Servicio de Asesoramiento puede proporcionar a quién lo solicite el valor diario, semanal o quinquenal de **ET_o**, con lo que ya se podría realizar de forma persona-

Tabla 4. Volúmenes de copa (m³/ha) para los diferentes tratamientos en las dos parcelas de ensayo. Período 1996-1999.

Finca	Tratamiento	1996	1997	1998	1999
PICHILIN	FAO	7325	9707	10589	14032
	2500 I	6864	7372	9122	11354
	2500 L	7618	8878	10272	13090
	1250	7760	8835	10778	13051
	Secano	6963	6235	8229	9292
LA LOMA	FAO	6450	6824	7069	10191
	1500 I	6353	6544	6450	8072
	1500 L	6210	6525	6700	9040
	750	6305	6497	6723	8737
	Secano	6004	5549	5857	7904

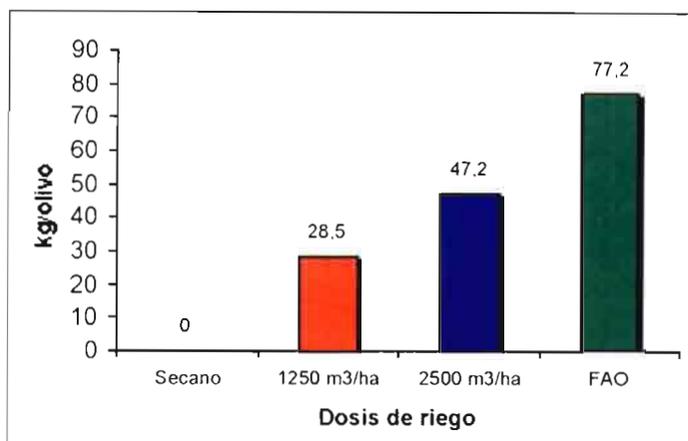


Figura 5: Producciones de los distintos tratamientos de riego en la finca Pichilín. Año 1999. El riego FAO aporta agua para cubrir las necesidades para máxima producción.



Frutos de los tratamientos de riego con máxima cantidad de agua y secano en el ensayo de Pichilín t.m. de úbeda. Fecha Septiembre 2001.



lizada la programación del riego, conocida la lluvia del periodo anterior, el tamaño de los olivos a regar, así como el marco de plantación.

Para la provincia de Jaén tenemos una red de estaciones meteorológicas en la zona regada, que nos han permitido observar la homogeneidad de los valores de **ET_o** dentro de las comarcas olivereras naturales, así como una reducida variabilidad interanual para los valores medios mensuales, lo que permitiría emplear valores medios interanuales para la programación del riego en ausencia de estaciones muy cercanas. En las Hojas Técnicas que viene publicando periódicamente el Servicio de Asesoramiento al Regante de Olivar damos siempre los valores medios mensuales de **ET_o** para diferentes estaciones ubicadas en Jaén.

El mayor grado de incertidumbre para la programación del riego en esta zona es la **pluviometría**, con marcada irregularidad interanual y espacial, lo que obligaría a realizar programas anuales y su revisión mensual, si se quiere realizar una correcta aproximación al cálculo del programa a aplicar a lo largo del año.

En el caso de los riegos de árboles adultos y cuando existan restricciones en las cantidades de agua a utilizar, lo que es normal en esta zona en este cultivo, es necesario, en primer lugar, mantener un **volumen de copa** que se adapte a esta disponibilidad de agua; segundo, hacer una evaluación, lo más aproximada posible, de la cantidad de **agua almacenada en el suelo** a final de invierno, para posteriormente programar su consumo; y finalmente programar el **consumo de la reserva + la dotación asignada agua de riego**, asegurando siempre el suministro en los momentos de máxima sensibilidad, como son la floración, desarrollo del fruto hasta endurecimiento del hueso, y por último el periodo de maduración, que es cuando se produce la formación de la mayor cantidad de aceite en las aceitunas.

El periodo más idóneo para economizar agua en el olivar de almazara es en verano, época con valores máximos de **ET_o**, siendo posible aplicar las restricciones desde el endurecimiento del hueso hasta el comienzo de la maduración, época de casi dos meses de duración en la que las condiciones climá-

ticas (altas temperaturas y baja humedad relativa) imponen al árbol un cierto reposo vegetativo, con un marcado cierre de sus estomas. Un suministro de agua de un 50% de las necesidades máximas podría permitir un gran ahorro de agua, y mantener el árbol con una cierta funcionalidad, de modo que su recuperación vegetativa en otoño tras las lluvias y/o los riegos sea rápida, permitiendo una adecuada maduración de los frutos, afectando poco a la futura producción.

Si el grado de estrés al que hemos sometido al olivar es grande, la recuperación de la actividad fotosintética y producción de asimilados tras la hidratación otoñal del suelo puede verse muy afectada, y por tanto la futura producción, al retrasarse bastante en el tiempo la apertura de los estomas. Con la ayuda de la cámara de presión podemos hacer el seguimiento del potencial hídrico de la hoja antes del amanecer, procurando aportar únicamente la cantidad de agua que permita llegar a final de agosto con valores medios no inferiores a $-2,5$ MPa. Situándonos en esta fecha en este valor umbral, bien mediante riego o gracias a las lluvias otoñales, así podríamos tener de nuevo operativo el árbol en un corto periodo de tiempo.

Por estas razones, mantener una cierta reserva de agua almacenada en una balsa para su empleo a final de campaña (15 agosto-15 septiembre), nos parece fundamental, ya que el grado de incertidumbre sobre la lluvia de principio de otoño es grande, lo que además compromete muchos años la posibilidad de captación de agua en esa fecha, tanto en el caso de caudales regulados como no regulados.