

EL RIEGO DEL OLIVAR EN LA PROVINCIA DE JAÉN (II): PROGRAMACIÓN DE RIEGOS

Rosalía Rojas¹, José Roldán¹, Rafael López Luque²,
Miguel Alcaide¹ y Emilio Camacho¹

¹Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba

²Departamento de Física Aplicada. Universidad de Córdoba

RESUMEN: Tradicionalmente, el olivo ha sido un cultivo de secano en Andalucía, al Sur de España. Sin embargo, la respuesta del olivo a aplicaciones adicionales de agua es espectacular. Han sido calculados mapas anuales de ET para la provincia de Jaén, el área en la que el riego de esta cosecha crece con mayor velocidad. Se ha utilizado la ecuación de Hargreave para dicho cálculo de ET. Se presenta una estimación regional del mismo utilizando el método de la distancia cuadrática recíproca para la interpolación. Se propone un esquema de riego que permite una estimación de los meses exactos para regar y se propone asimismo una estimación de la cantidad constante de agua a aplicar diariamente por árbol utilizando riego por goteo. Un análisis de sensibilidad demuestra que pequeños cambios en las variables de diseño puede resultar en una gran variación de la estimación de requerimientos de agua.

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, el olivo ha sido un cultivo de secano en Andalucía muy bien adaptado a condiciones de sequía. Sin embargo, en zonas de baja pluviometría su respuesta a aplicaciones adicionales de agua mediante riego ha redundado en incrementos notables de producción.

En situaciones de sequía como la presente el agua aplicada al cultivo del olivar, aún en muy pequeña cantidad, puede significar el límite entre que haya o no producción lo que en cierto modo justifica el interés desmesurado hacia el riego bajo cualquier circunstancia. En cualquier caso, las necesidades de agua del olivar para alcanzar resultados aceptables (entre 1.000 y 2.000 m³/ha) están muy por debajo de lo que requiere cualquier otro cultivo, lo que resulta especialmente interesante en estos momentos.

Dado que el riego del olivo no ha sido una práctica cultural frecuente, se adolece de investigaciones encaminadas a evaluar sus demandas hídricas así como a programar adecuadamente los riegos. En lo que respecta

a las necesidades, se han realizado en los últimos años ensayos que han permitido estimar valores del coeficiente de cultivo (García Fernández y Berengena, 1993; Pastor y Orgaz, 1994). Sin embargo, quizás lo más notable ha consistido en el establecimiento de programas de riego algunas veces denominados deficitarios, o con recorte, en los que las cantidades de riego aplicadas han sido inferiores a la demanda durante algunos meses de la campaña y algo superiores en el resto. De este modo, el cultivo se ve obligado a utilizar la reserva de agua almacenada en el perfil del suelo explorado por las raíces durante el período lluvioso.

Lo esencial de la programación de riegos propuesta es el desarrollo de una metodología de trabajo que permite estimar los meses en los que hay que regar y la dosis constante a aplicar por olivo en todos y cada uno de los días del período de riegos, usando riego localizado, sin que la planta sufra estrés hídrico. Esto, además, permite un ahorro en el sistema de distribución de agua para riego por cuanto no hay necesidad de diseñar para el período punta, siendo los caudales circulantes mucho menores al repartirse uniformemente durante un tiempo más largo.

Artículo recibido el **12 de noviembre de 1995** y aceptado para su publicación el **5 de diciembre de 1995**. Pueden ser remitidas discusiones sobre el artículo hasta seis meses después de la publicación del mismo. En el caso de ser aceptadas, las discusiones serán publicadas conjuntamente con la respuesta de los autores en el primer número de la revista que aparezca una vez transcurrido el plazo indicado.

BALANCE HÍDRICO

Para calcular las necesidades de agua del olivo es preciso establecer el siguiente balance hídrico:

$$P_{ef} + R_i = ET + E + F + \Delta R \quad (1)$$

donde las entradas son la precipitación efectiva, P_{ef} , y el riego, R_i , y las salidas la evapotranspiración, ET , la escorrentía, E , y la filtración profunda, F . ΔR muestra la variación en la reserva de suelo en el período de tiempo considerado.

Las características del riego localizado, con aplicaciones de cantidades de agua relativamente pequeñas, hacen que sean despreciables tanto E como F , de modo que las necesidades de agua para riego resultan de la diferencia entre ET y P_{ef} junto con la variación de la reserva si ésta se estima como significativa.

El cálculo de la ET se va a tratar en el apartado siguiente. Por lo que respecta a la precipitación, en dicha ecuación aparece el porcentaje de la misma que se utiliza para satisfacer las necesidades de riego. A tal efecto, se define como precipitación efectiva (P_{ef}) la porción de lluvia total que es directa o indirectamente útil para los objetivos de producción de los cultivos.

La efectividad real de la lluvia depende de un gran número de variables como son: cantidad, intensidad y frecuencia de la misma; demanda evaporativa; características del terreno, suelo y cultivo; situación del agua subterránea; prácticas de manejo; etc. (Kopeck y col., 1984). Ante la complejidad de su medición directa se utilizan fórmulas empíricas (p.e., USDA, 1970) que ofrecen resultados parcialmente correctos debido a la no consideración de algunas variables que la condicionan. De cualquier forma, ante la escasez de datos fiables puede ser suficiente considerar P_{ef} como un porcentaje de P . Así, Smith (1993) recomienda un valor del 80% cuando las cantidades de lluvia son inferiores a 100 mm/mes, como es nuestro caso. Los valores de P_{ef} anuales correspondientes a cada estación y calculados de esta última forma se muestran en la Tabla 2.

EVAPOTRANSPIRACIÓN

Siendo conscientes de las dificultades existentes para la estimación de la ET , se han definido en las últimas décadas conceptos simplificados de la misma donde la influencia de determinados factores era obviada al mantenerlos constantes. Lo más frecuente ha sido elegir un llamado cultivo de referencia (habitualmente una pradera de gramíneas cubriendo completamente la superficie del suelo, uniforme de altura y sin limitación de agua, Doorenbos y Pruitt, 1977) cuyo consumo, exclusivamente debido a la

demanda evaporativa de la atmósfera, se denomina evapotranspiración de referencia (ET_0). Al aplicar sobre la ET_0 un coeficiente empírico (K_c) dependiente del cultivo en cuestión se obtiene la ET de dicho cultivo:

$$ET = K_c ET_0 \quad (2)$$

La disponibilidad de datos meteorológicos va a condicionar notablemente la elección de un método u otro para calcular la ET_0 , siendo preferible ceñirse a procedimientos para los que existan datos locales antes que usar valores climáticos de estaciones muy alejadas en ecuaciones físicamente más correctas.

En este caso se dispone de 23 estaciones termoplumiométricas con datos medios mensuales cuya situación se muestra en la Figura 1. En concreto, los registros termométricos tienen longitudes que oscilan entre los 10 y 37 años. Por el contrario, los registros habituales de precipitaciones disponibles son de 30 años. Dado que la temperatura es una variable climática más estable con escasa variabilidad anual, pueden aceptarse las menores longitudes de sus registros.

Teniendo en cuenta los datos disponibles, y dado que en la provincia de Jaén no hay ninguna estación meteorológica completa con series de más de dos años, se hace necesario recurrir a expresiones que sólo necesiten de la temperatura para estimar la ET_0 . En este sentido, y aparte de las conclusiones de Mantovani (1993) para el valle de Guadalquivir, los trabajos de Pastor y Orgaz (1994) en olivo y de Hargreaves (1994) recomiendan el uso de la ecuación de Hargreaves (Hargreaves y col., 1985):

$$ET_0 = 0.00023 R_A (T + 17.8) d^{0.5} \quad [J/m^2] \quad (3)$$

donde:

R_A = radiación diaria extraterrestre (J/m^2).

$T = (T_M + T_m)^2$ ($^{\circ}C$).

T_M = temperatura media de las máximas ($^{\circ}C$).

T_m = temperatura media de las mínimas ($^{\circ}C$).

$d = T_M - T_m$ ($^{\circ}C$).

En la mayoría de los cultivos, K_c es independiente de las condiciones ambientales y sólo depende de la superficie cubierta (índice de área foliar del cultivo). En el olivo, sus estomas se cierran cuando la humedad relativa es muy baja y, por tanto, K_c depende también de las características físicas del medio ambiente.

Así, aun cuando la superficie cubierta por un olivo adulto no varía apreciablemente durante el año, el valor de K_c sí que resulta variable a lo largo de los distintos meses del año dado el control estomático de la planta. En los meses de verano, el déficit de presión

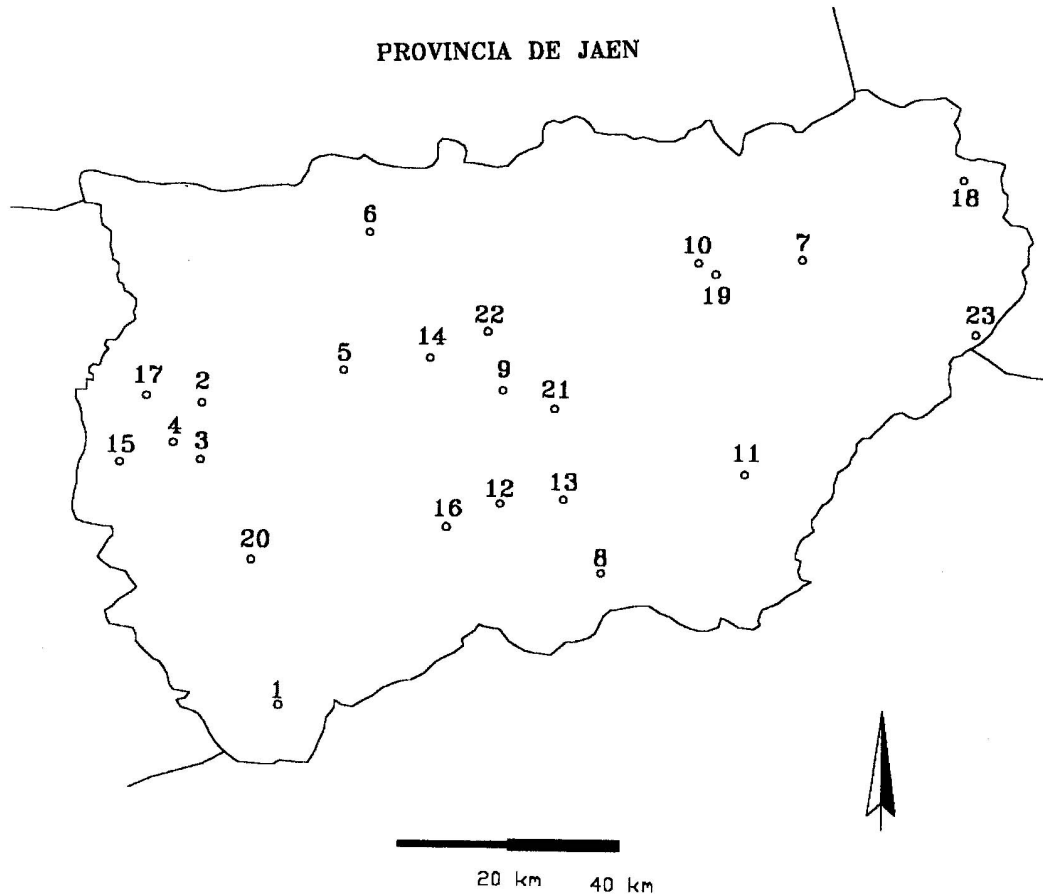


Figura 1. Situación de las estaciones meteorológicas disponibles.

de vapor (DPV) es alto y, por tanto, los estomas cierran, lo que da lugar a valores bajos de K_c , dentro de un intervalo de 0'4-0'5. En cambio, en primavera y otoño el DPV es menor, por lo que los valores de K_c observados son más elevados, del orden de 0'6-0'7. Durante el invierno, las bajas temperaturas del suelo parecen ser las determinantes del cierre de estomas, con el consiguiente bajo consumo de agua. Los valores mensuales recomendados por Pastor y Orgaz (1994) se muestran en la tabla 1. Estos valores de K_c corresponden a un olivar adulto de 15 años, variedad picual. Si el porcentaje de cobertura del suelo por el olivo no supera un valor aproximado del 65%, hay que minorar K_c con un coeficiente K_r cuyo valor, en función de dicho

porcentaje de cobertura, se da en la figura 2 (Feres y Castll, 1981). De este modo, la ecuación (2) pasa a ser:

$$ET = K_r K_c ET_0 \quad (2')$$

En nuestro caso, y dado que el número de árboles por ha es de 100, se ha considerado un porcentaje de cobertura del suelo del 35% (Pastor, 1994), lo que supone, de acuerdo con la Figura 2, un $K_r = 0'71$. De cualquier forma, la elección de este valor no altera la metodología propuesta y una análoga programación de riegos puede derivarse para diferentes densidades de plantación (Rojas, 1995).

Tabla I Valores mensuales de K_c en olivo.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0'50	0'50	0'65	0'60	0'55	0'50	0'45	0'45	0'55	0'60	0'65	0'50

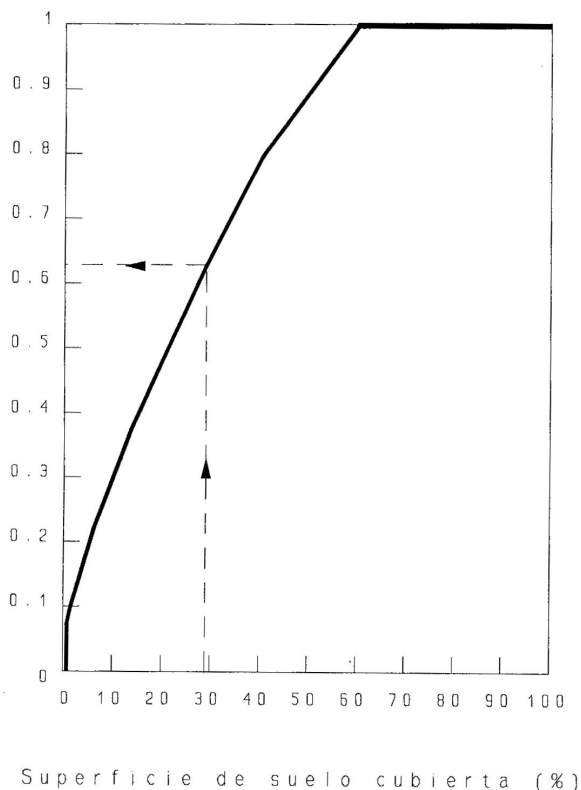


Figura 2. Coficiente K_r en función del porcentaje de cobertura.

Los valores de ET_0 medios mensuales correspondientes a cada estación son determinados a partir de sus registros termométricos según la ecuación de Hargreaves. Calculado este término y aplicando los coeficientes correspondientes se obtiene la ET mensual. La ET anual correspondiente a cada estación viene recogida en la Tabla 2.

Al objeto de extrapolar las estimaciones de ET a un ámbito regional, se ha realizado la interpolación de sus valores mediante el método del inverso de las distancias al cuadrado (Dean y Snyder, 1977). En la Figura 3 se muestran los valores anuales de ET según nueve bandas de intervalos. Análogamente, se han obtenido representaciones en bandas de los valores mensuales de ET (Rojas, 1995). Al combinar el valor estimado mediante interpolación de ET en cualquier punto de la geografía provincial, con el valor de precipitación derivado de un mapa de isoyetas, se puede acometer el cálculo de necesidades de agua y el establecimiento de un calendario de riegos de acuerdo a lo que se comenta en el siguiente apartado.

PROGRAMACIÓN DE RIEGOS

Las variables de entrada en la ecuación de balance hídrico, al objeto de programar los riegos, son: la evapotranspiración, obtenida a partir de los datos de temperatura mediante la ecuación de Hargreaves (ver apartado anterior) y considerando $K_r = 0.71$; la precipitación efectiva, obtenida como un porcentaje de la mensual (el 80% de la precipitación media de ese mes, Smith, 1993), y la reserva del suelo, que depende de las características hidrofísicas del mismo.

Para la determinación de la reserva de agua en el suelo se han usado los valores de capacidad de campo (C_c) y punto de marchitamiento (P_m) que se obtienen a partir de las características texturales de los suelos dominantes en cada término municipal. Para ello, se ha usado el Mapa de Suelos de la Provincia de Jaén, elaborado por el Departamento de Edafología de la Universidad de Granada (1987). La mayoría de los suelos presentan una textura franco-arcillosa, exceptuando Baños de la Encina (arcillo-limoso) y Cabra de Santo Cristo (franco-arenosa).

La profundidad de suelo explorada por las raíces del olivo, z , se puede estimar en función de las características del cultivo y de las de los horizontes del suelo. Una vez fijada, la cantidad máxima de agua, M , que se puede almacenar en el mismo sería:

$$M = (C_c - P_m)z \quad (4)$$

Considerando que la transpiración del cultivo no se ve reducida sensiblemente mientras los olivos no sufren estrés hídrico, y que esto no ocurre hasta que no se agota el 75% de la capacidad de almacenamiento del suelo (nivel de agotamiento permisible) (Pastor y Orgaz, 1994), el déficit hídrico permisible se puede establecer por:

$$DP(\text{Déficit permisible}) = 0.75 M \quad (5)$$

El nivel mínimo del cual no puede bajar la reserva del suelo será entonces:

$$m = M - DP = 0.25 M \quad (6)$$

Un programa óptimo de riegos es aquel que permite un ahorro importante en el agua de riego sin que se afecte la producción. En el caso del olivo se está poniendo en práctica programas de recorte del riego consistentes en aplicar durante algunos meses cantidades de agua inferiores a la demanda ($ET - P_{ei}$) de modo que el cultivo se vea obligado a utilizar parte de la reserva de

Tabla 2 Resumen del balance hídrico y de la estimación del riego en todas las estaciones meteorológicas con datos disponibles ($K_r = 071$).

Estación	ET anual (mm)	P_{ef} anual (mm)	Dosis anuales (mm)		Dosis (Volivo y día)	
			Teórica	Práctica	Teórica	Práctica
(1) Alcalá la Real;	458'74	409'12	75'37	90'00	50'25	60'00
(2) Andújar	502'37	339'09	178'96	180'00	119'31	120'00
(3) Arjona	489'50	469'82	87'81	90'00	58'54	60'00
(4) Arjonilla	416'84	497'82	32'56	36'00	21'71	24'00
(5) Bailén	508'53	439'98	114'06	120'00	76'04	80'00
(6) Baños da la Encina	439'47	502'64	147'24	153'60	122'70	128'00
(7) Beas de Segura	490'75	510'59	68'70	72'00	45'80	48'00
(8) Cabra de Santo Cristo	423'45	336'35	92'53	96'00	61'69	64'00
(9) Canena	491'35	407'06	93'62	96'00	62'41	64'00
(10) Castellar de Santisteban	504'35	527'72	91'74	96'00	61'16	64'00
(11) Cazorra	449'30	758'33	0'00	4'80	0'00	8'00
(12) Jimena	396'09	420'88	8'68	12'00	5'79	8'00
(13) Jódar	489'60	363'42	138'15	144'00	92'10	96'00
(14) Linares	535'28	376'23	175'32	180'00	116'88	120'00
(15) Lopera	461'06	454'54	80'13	90'00	53'42	60'00
(16) Mancha Real	449'56	413'79	40'86	48;00	27'24	32'00
(17) Marmolejo	545'76	421'16	149'68	150'00	99'78	120'00
(18) Sil es	440'19	619'80	2'86	4'80	2'38	8'00
(19) Sorihuela de Guadalimar	535'48	445'52	136'28	144'00	90'86	96'00
(20) Torredonjimeno	427'54	483'33	3			
(21) Úbeda	448'64	459'10	52'00	54'00	34'67	36'00
(22) Vilches	534'64	429'43	145'39	172'80	80'77	96'00
(23) Santiago de la Espada	410'44	598'20	0'00	4'80	0'00	8'00

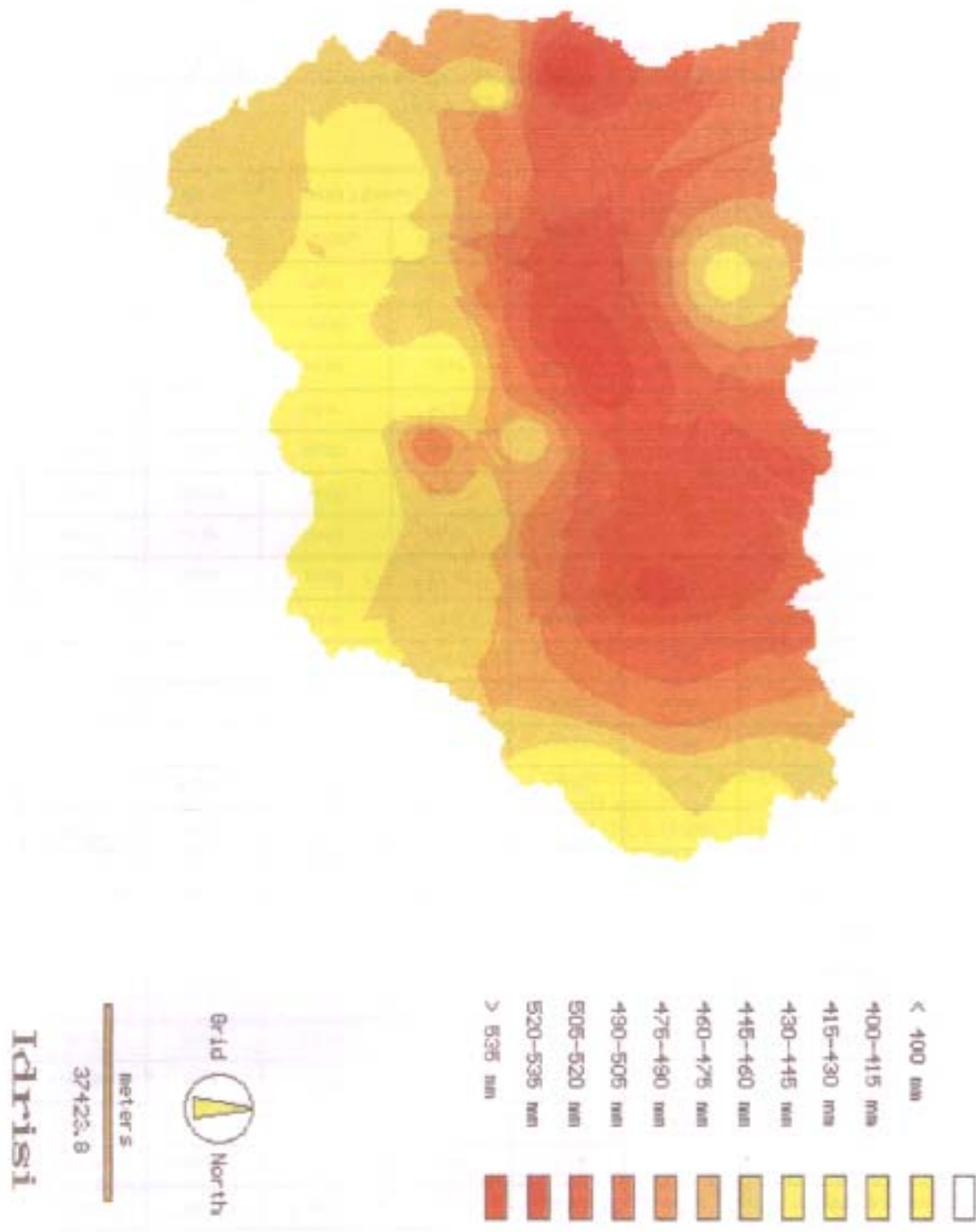


Figura 3 Variación de la evapotranspiración del cultivo en la provincia de Jaén.

agua almacenada en el suelo. En concreto, se trata de agotar el agua utilizable del suelo por el olivo antes de que ocurran las lluvias de otoño, evitando pérdidas por filtración profunda. Así, se recomienda dar aportes superiores a la demanda ($ET - P_{ef}$) en primavera para conseguir mayores crecimientos vegetativos (portadores de la cosecha del año siguiente) y para reservar parte de este agua en suelo que será consumida en los meses de recorte.

Para que el recorte sea óptimo y no se afecte la producción, el déficit de agua en el suelo no debe superar el límite permisible (DP).

Para la determinación del calendario de riegos se procede del siguiente modo:

- Cálculo de la reserva acumulada (R_a) en el suelo al final del último mes en el que la diferencia ($ET - P_{ef}$) sea positiva.
- Cálculo de los valores del déficit permisible y de los niveles máximos y mínimos de la reserva de agua en el suelo aplicando las ecuaciones (4), (5) y (6). En el primer mes en el que la diferencia anterior ($ET - P_{ef}$) sea nuevamente positiva, se cumplirá que $R_a \leq M$, y el valor de la reserva de agua en el suelo a disposición del cultivo o agua disponible (AD) será:

$$AD = R_a - m \quad (7)$$

- Determinación de las necesidades de agua (N_{at}) como el sumatorio de ($ET - P_{ef}$) para el conjunto de meses en los que dicha diferencia sea positiva, con lo que el agua total a aplicar mediante riego será:

$$R_i [\text{mm}] = (N_{at} - AD) \frac{1}{E_a} \quad (8)$$

donde E_a es la eficiencia de riego.

Si el número de meses en los que se decide regar es N , la dosis diaria constante a aplicar en todos ellos será:

$$D \left(\frac{\text{mm}}{\text{día}} \right) = \frac{R_i (\text{mm})}{\sum_N \left(\frac{\text{n}^\circ \text{ días}}{\text{mes}} \right)} \quad (9)$$

El procedimiento descrito tiene la ventaja de recomendar el riego con dosis constantes durante un elevado número de meses sin que el cultivo sufra estrés. Además, como el tiempo anual de riego es elevado (durante al menos cinco meses), la dosis es pequeña y el sistema de riego se diseña para tuberías de menor diámetro y con equipos de bombeo menos potentes (inferior consumo eléctrico). Por otro lado, y no menos importante, es de destacar que el manejo del sistema por el agricultor se simplifica notablemente.

La superación de los límites M y m puede ser aceptable en el supuesto de que la diferencia ($ET - P_{ef}$), aun siendo inferior a la dosis mensual D_m , tenga un valor relativamente próximo a ella. Lo anterior sólo podría suceder en el primer y último mes de riego, habiendo aceptado regar si $(ET - P_{ef}) > D_m/2$. Esto significa valorar el déficit ($ET - P_{ef}$), cuando es grande en relación a la dosis, en mayor medida que el hecho de superar los límites M y m , ya que éstos no deberían entenderse como valores puntuales sino como intervalos de variación en base a la naturaleza dinámica de los conceptos de los que se derivan (C_c y P_m).

La dosis a aplicar por olivo se obtiene de:

$$D_a [l/(\text{árbol y día})] = \dots$$

$$\dots = D [1/(\text{m}^2 \text{ y día})] \times \frac{10.000[\text{m}^2 / \text{ha}]}{N_0[\text{olivos} / \text{ha}]} \quad (10)$$

El valor de D_a se debe redondear de modo que la cantidad a aplicar sea múltiplo del caudal de los goteros comerciales existentes y habituales en la zona (4 u 8 l/h) y que el número de horas de riego y de goteros sea exacto y el máximo posible. En concreto, se ha fijado un máximo de cinco horas diarias de riego y un mínimo de una hora, lo que junto al caudal del gotero elegido permite concluir con el número de goteros necesarios por árbol. Se deben realizar los ajustes necesarios para que el número de goteros no sea menor de 2, asegurando así una distribución uniforme del agua alrededor de la planta.

Siguiendo los pasos anteriores se ha determinado el calendario de riegos para cada una de las estaciones meteorológicas disponibles. En cada caso se calcula tanto la dosis mensual teórica con recorte de riego (D_{m1}) como la redondeada o práctica (D_{m2}) así como los valores de la reserva de agua en el suelo R_{a1} y R_{a2} determinados tras la aplicación de cada dosis. En base a D_{m2} se estiman el número de goteros por árbol, su caudal y el tiempo diario de riego de acuerdo al procedimiento comentado anteriormente (Rojas, 1995). A título de ejemplo se muestra el balance y la estimación del riego en Bailen (ver Tabla 3).

En todas las estaciones se ha partido de los siguientes datos comunes:

- Profundidad de raíces (m): 1
- Nivel de agotamiento permisible: 75%
- Número de olivos por ha: 100
- Porcentaje de precipitación efectiva: 80
- Porcentaje de cobertura del suelo: 35
- Coeficiente reductor K_r : 071
- Eficiencia de aplicación: 90%

Tabla 3. Balance hídrico y estimación del riego en Bailén.

MES	ET (mm)	P _{ef} (mm)	N _{am} (*) (mm)	Valores teóricos		Valores prácticos	
				D _{h1} (mm)	R _{a1} (mm)	D _{m2} (mm)	R _{a2} (mm)
Enero	13'48	54'74	0'00	0'00	169'81	0'00	175'16
Febrero	22'67	71'37	0'00	0'00	190'00	0'00	190'00
Marzo	39'24	44'83	0'00	0'00	190'00	0'00	190'00
Abril	46'59	44'81	1'78	0'00	188'22	0'00	188'22
Mayo	59'50	29'01	30'49	22'81	178'26	24'00	179'33
Junio	66'51	22'22	44'28	22'81	154'52	24'00	156'66
Julio	71'19	2'78	68'41	22'81	106'63	24'00	109'84
Agosto	62'82	2'79	60'04	22'81	67'13	24'00	71'40
Septiembre	54'88	14'73	40'16	22'81	47'50	24'00	52'85
Octubre	37'55	46'13	0'00	0'00	52'07	0'00	57'42
Noviembre	21'81	56'13	0'00	0'00	86'40	0'00	91'75
Diciembre	12'28	54'44	0'00	0'00	128'63	0'00	113'98
Anual	508'53	439'98	--	114'06	--	120'00	--
D _a (l/olivo y día)	--	--	--	76'04		120'00	
SE ESCOGEN 4 GOTEROS DE 4 l/h REGANDO 5 h							

(*) N_{am} son las necesidades mensuales de agua.

En la Tabla 2 se resumen los resultados encontrados para todas las estaciones relativos a dosis anuales y a dosis por olivo, tanto teóricas como prácticas.

La ET del cultivo muestra una dispersión menor que la precipitación por lo que puede decirse que la variabilidad espacial de la lluvia es responsable, en mayor medida, de los resultados obtenidos. Dado que una baja precipitación suele ir asociada a una alta ET y viceversa, es su efecto combinado, la diferencia (ET - P_{ef}), el que realmente produce dichos resultados. Sin embargo, a la hora de sacar conclusiones se debe también hacer una reflexión sobre la variabilidad temporal de la lluvia. En efecto, la tendencia a la baja observada en los últimos años hace pensar que los valores más elevados de necesidades de agua encontradas podrán aplicarse a otras muchas estaciones si se hubiera trabajado con los datos de precipitación de los últimos cinco años. Corroborando lo anterior, puede observarse en el siguiente apartado la sensibilidad que las necesidades anuales de agua muestran a cambios en la precipitación.

Como respuesta a lo comentado en el último párrafo, se han elaborado también otros calendarios donde el único dato de entrada que se ha variado ha sido la precipitación, teniendo en cuenta sólo los últimos cinco años con datos disponibles (1990-94; Rojas, 1995). Dos comentarios a los mismos merecen destacarse. Por un lado, la escasa longitud de los datos de lluvia provoca calendarios incongruentes y, por tanto, inconsistentes. En efecto, se ha encontrado que puede resultar necesario regar en un mes de invierno y no en uno de primavera. Como consecuencia de lo anterior, el calendario obtenido propone regar a veces en meses alternos.

Por otro lado, si se calcula el cociente entre las dosis prácticas recomendadas para un olivar adulto variando sólo los datos de precipitación resulta que la relación máxima es de dos, en Jimena, y la mínima de 0'88, en Arjonilla, siendo lo normal que no se supere el valor de 1'5 (Rojas, 1995). En consecuencia, no parece oportuno recomendar que se trabaje con los registros de lluvia de los últimos años a la hora de programar el riego en el

olivar ya que no se incrementan notablemente las dosis necesarias. Además, la inconsistencia ya comentada de los datos conduce también a obtener valores del mencionado cociente inferiores a la unidad a pesar de que la precipitación anual disminuye.

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

La heterogeneidad de los resultados encontrados en el apartado anterior, aconseja realizar un estudio de sensibilidad de las necesidades de agua a determinadas variables de diseño.

Sea:

$$F = f(p_1, p_2, \dots, p_n) \tag{11}$$

la expresión que relaciona las variables p_i con la función F en un determinado fenómeno físico. Se denomina sensibilidad relativa, S_i , de la función F en relación a la variable p_i a:

$$S_i = \frac{\partial F / \partial p_i}{F / p_i} \approx \frac{\Delta F / F}{\Delta p_i / p_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \tag{12}$$

La necesidades anuales de agua del olivo en mm, o la dosis por árbol en l/día, es la función cuya sensibilidad se analiza frente a las siguientes variables:

- Precipitación (P_{ef})
- Coeficiente de cultivo (K_c)
- Coeficiente reductor (K_r)
- Capacidad de campo (C_c)
- Punto de marchitamiento (P_m)
- Profundidad de las raíces del olivo (Z)

La sensibilidad de la función F a las variables p_i se ha estudiado representando $(\Delta F / F \times 100)$ frente a $(\Delta p_i / p_i \times 100)$ para los valores relativos de p_i iguales a $\pm 1, 5, 10$ y 20% , en las estaciones meteorológicas mostradas en la Tabla 2. A título de ejemplo, se acompañan los resultados obtenidos en la estación de Bailén (ver Figura 4). Resultados similares se han encontrado en las restantes estaciones (Rojas, 1995).

Como se observa, tres variables muestran variaciones en el mismo sentido que la función, y otras tres en sentido contrario. De cualquier forma, las variaciones encontradas en la función son mayores que en las variables, lo cual supone una alta sensibilidad. Esta gran sensibilidad viene a corroborar lo que se ha mencionado

en el apartado anterior en relación con el cuidado que hay que tener al usar las cifras del balance

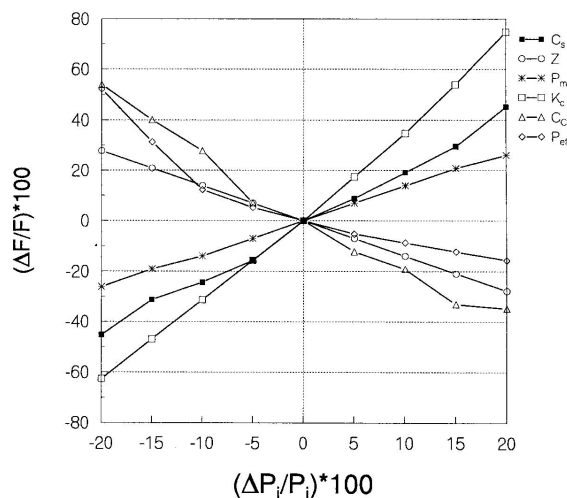


Figura 4. Sensibilidad de las necesidades de agua a diferentes variables de diseño. Estación: Bailén.

hídrico y del calendario de riego. En efecto, cualquier pequeño cambio en las variables de diseño se traduce en grandes oscilaciones de la función que pueden modificar sustancialmente el resultado obtenido. En relación con la precipitación queda confirmado lo que entonces se mencionó. Con respecto a las otras variables se recomienda ser muy preciso en su determinación y, en absoluto, hacer extrapolaciones de los resultados a zonas con diferente climatología, edafología o estado de desarrollo del cultivo.

CONCLUSIONES

Los mapas generados de ET permiten un cálculo de las necesidades de agua del olivo en toda la provincia de Jaén.

Los calendarios de riegos deficitario establecidos permiten aplicar dosis diarias constantes por olivo durante toda la campaña del riego. Asimismo, este calendario permite calcular el número diario de horas de riego, caudal de los goteros y el número de goteros por árbol.

Los calendarios de riegos deben ser tratados con precaución dada la variabilidad espacial y temporal de la lluvia. A tal efecto, del estudio de sensibilidad efectuado se puede concluir que cualquier pequeño cambio en las variables de diseño se traduce en grandes oscilaciones de la función (necesidades de agua) que pueden modificar sustancialmente el calendario obtenido.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido posible gracias al Convenio firmado con la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía titulado "*Estudio de Mejora y Modernización de los Regadíos del Olivar en las Comarcas de El Condado, La Loma, Sierra Mágina, Sierra de Cazorla y Sierra de Segura en la Provincia de Jaén*". Esta colaboración es muy apreciada.

En la confección cartográfica se agradece la colaboración de Gonzalo Carrero y Juan Reca.

BIBLIOGRAFÍA

Dean, J.D. y W.H. Snyder. (1977). *Temporally and areally distributed rainfall*. J. of the Irrigation and Drainage División. 103(2):221-229.

Departamento de Edafología. (1987). Memoria del mapa de suelos de la provincia de Jaén (Escala 1:200.000). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada.

Doorenbos, J. y W.O. Pruitt. (1977). Las necesidades de agua de los cultivos. *Estudios FAO: Riego y Drenaje*, nº 24, Roma.

Fereres, E. y J.R. Castell.(1981). Drip irrigation management. División of Agricultural Sciences, University of California, Leaflet 21259.

García Fernández, M.D. y J. Berengena. (1993). Respuesta del olivo a diferentes dosis de agua de riego. Estimación de los coeficientes de cultivo. *XI Jornadas Técnicas sobre Riegos*, Valladolid, pp. 107-113.

Hargreaves, G.H. (1994). *Defining and using reference*

evapotranspiration. J. of Irrigation and Drainage Enseineering, 120(6): 1132-1139.

Hargreaves, G.L.; G.H. Hargreaves y J.P. Riley. (1985). *Irrigation water requirements for Senegal river basin*. J. of Irrigation and Drainage División. 113(3):265-275.

Kopec, A.R.; M.N. Langley y M.G. Bos. (1984). Major variables which influence effective precipitation. *ICID Bulletin*, 33(2):68-84.

Mantovani, E.C. (1993). Desarrollo y evaluación de modelos para el manejo del riego: estimación de la evapotranspiración y efectos de la uniformidad de aplicación del riego sobre la producción de los cultivos. Tesis doctoral, Universidad de Córdoba.

Pastor, M. (1994). *Plantaciones intensivas del olivar*. Agricultura. 746:738-744.

Pastor, M. y F. Orgaz. (1994). *Riego deficitario en olivar*. Agricultura. 746:768-776.

Rojas, R. (1995). Evaluación de usos y demandas hídricas en el riego del olivar en las comarcas de Sierra de Cazorla y Sierra de Segura en la provincia de Jaén. Trabajo Profesional Fin de Carrera, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Ingenieros de Montes, Universidad de Córdoba.

Smith, M. (1993). CROPWAT. *Programa de ordenador para planificar y manejar el riego*. Estudios FAO: Riego y Drenaje. nº 46, Roma.

USD A. (1970). *Irrigation water requirements*. Soil Conservation Service, Technical Release nº 21, 92 pp.