

Riego de olivar con cantidades deficitarias de agua

Autores: Miguel Pastor Muñoz-Cobo¹, Javier J. Hidalgo Moya², Juan Carlos Hidalgo Moya¹, Victorino Vega Macías¹

¹ IFAPA, Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Apdo. 3092. Córdoba. ² Servicio Asesoramiento Agrícola: Caja Rural de Jaén. Polígono Industrial. Mancha Real. E-mail: madolfo.pastor@juntadeandalucia.es

PALABRAS CLAVE: Olivo, riego, riego deficitario.

RESUMEN

Las disponibilidades de agua para riego son escasas en la mayoría de las zonas olivareras españolas, mucho menores que la demanda. En este trabajo de investigación se ha pretendido cuantificar la influencia del riego sobre la producción del olivar de almazara, estudiando la respuesta a diferentes programas de riego deficitario, tratando de poner a punto estrategias de manejo que optimicen el uso de los escasos recursos hídricos disponibles. Se ha documentado experimentalmente que en esta situación el riego deficitario del olivar permite una mejora muy sustancial de las producciones del secano. Con respecto al riego para máxima ET, el deficitario permite una mejora de la eficiencia del uso del agua en la producción de aceite. Las plantaciones intensivas proporcionan una mayor eficiencia que las tradicionales. Hay que afirmar, finalmente, que los buenos resultados obtenidos solamente pueden generalizarse a situaciones en las que se disponga de suelos profundos con adecuada capacidad de retención, y una adecuada pluviometría media.

INTRODUCCIÓN

Aunque el olivar es un cultivo tradicional de secano, su respuesta al riego es espectacular, siendo uno de los cultivos que proporciona una gran rentabilidad social y económica por cada metro cúbico de agua empleado. Por esta razón una de las aspiraciones de todo olivarero es regar su olivar, por lo que en el año 1.999 ya existían en Andalucía 259.343 has de olivar regado por goteo (Consejería de Agricultura y Pesca, 2003), cifra que se habrá superado con creces en la actualidad. Sin embargo, la cuenca del Guadalquivir sufre un importante déficit hídrico anual, déficit que se ha evaluado en 500-700 hm³. Teniendo en cuenta la escasez de recursos y que el riego del olivar puede condicionar el desarrollo económico y social de determinadas zonas, en los años noventa y el pleno período de sequía, la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir (CHG) en sus autorizaciones de uso de aguas públicas propuso a los olivareros una serie de condiciones para el riego de su olivar, fundamentalmente en lo referente a su dotación anual (1.500 m³/ha) y en la época de empleo del agua (septiembre - abril), época en la que el agua no es demandada para otros usos.

Para tratar de responder a muchos de los interrogantes planteados en aquel momento, en el año 1996 se pusieron en marcha dos experimentos de campo en los que a largo plazo se ha estudiado la respuesta del olivar a diferentes estrategias de **riego deficitario**, con la finalidad de optimizar y racionalizar el empleo de los escasos recursos hídricos disponibles en la cuenca. Se ha documentado experimentalmente que en las condiciones agroclimáticas de una parte importante del olivar regado de Andalucía (suelos profundos, buena capacidad de retención, y pluviometría media en torno a los 500 mm), el riego, incluso con dotaciones deficitarias, permite obtener una mejora muy sustancial de las producciones de aceite del olivar de secano. Hay que decir, sin embargo, que los buenos resultados obtenidos en estos ensayos no pueden ni deben generalizarse a todas las situaciones, en especial a los olivares que vegetan en suelos poco profundos, con limitada capacidad de retención o baja pluviometría, ni a los olivares tradicionales con gran volumen de copa. La dotación de 1.500 m³/ha resulta totalmente insuficiente en plantaciones intensivas (densidad superior a 200 árboles/ha).

MATERIAL y MÉTODOS

Durante ocho años, otoño 1.995 a 2003, se han mantenido dos experimentos de campo en las fincas Pichilín (Villacarrillo) y Cortijo La Loma (Jódar), ambas en la provincia de Jaén. En la primera de ellas se trabajó en un olivar intensivo (204 olivos/ha) de 25 años de edad de la variedad 'Picual' y en la segunda, en un olivar centenario tradicional (64 olivos/ha), también de la citada variedad. En ambos casos el olivar se asienta en suelos llanos, profundos (>100 cm), cuyas características se muestran en la **tabla 1**, en la que se incluye su clasificación siguiendo las normas FAO-UNESCO (1999). En ambos casos destaca su gran capacidad de retención de agua, habiéndose evaluado, a efectos de programación de riegos, el déficit permisible de agua en el suelo (= reserva máxima disponible) en 144 mm en Pichilín y 143 mm en La Loma, para una profundidad de suelo explorada por las raíces de 100 cm.

Tabla 1: Características de los suelos de las parcelas de ensayo, fincas Pichilín (Villacarrillo) y C.La Loma (Jódar).

Finca	pH	CO ₃ Ca (%)	C.O. (%)	Textura	CC (%)	PMP (%)	Clasificación FAO
Pichilín	8,2	37,1	1,1	arcillo-limosa	34,0	22,6	cambisol vértico
C. La Loma	8,1	63,0	1,0	arcillosa	26,4	13,5	regosol calcárico

En ambas parcelas se dispone de una estación meteorológica completa que ha permitido conocer las precipitaciones de lluvia y calcular los valores de ETo. La precipitación media (**tabla 2**) en Pichilín fue de 494 mm, con un máximo de 706 mm en la campaña 95-96 y un mínimo de 296 mm en la 1999-2000. En La Loma la precipitación media fue de 438 mm, con valores máximos y mínimos de 672 y 258 mm en los referidos años respectivamente. En función de los datos mostrados en la **tabla 2**, los años 1996, 1997, 1998, 2001 y 2.003 podemos calificarlos como lluviosos, con una precipitación media de 602 mm en Pichilín y 537 mm en La Loma, mientras que en los años secos (1999, 2000 y 2002) la pluviometría media fue de 314 y 273 mm en las mencionadas fincas.

Tabla 2: Precipitaciones totales de agua de lluvia registradas en los observatorios de Pichilín (Villacarrillo) y Cortijo La Loma.(Jódar). Valores correspondientes al período 1996 – 2003, para años agrícolas noviembre-octubre .

Pichilín										C. La Loma									
Mes	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	Media	Mes	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03	Media
Nov	64	114	185	13	46	63	27	71	73	Nov	53	102	165	10	26	62	22	48	61
Dic	220	152	128	31	51	82	45	55	96	Dic	175	109	121	20	51	82	42	33	79
Ene	121	120	38	26	11	80	19	69	60	Ene	111	120	27	29	1	56	22	62	53
Febr	38	3	35	23	0	44	0	80	28	Febr	46	3	22	17	0	30	1	99	27
Mar	28	0	21	38	10	96	68	59	40	Mar	29	0	26	26	14	16	64	27	25
Abr	40	46	30	8	91	11	62	29	40	Abr	47	46	47	10	82	4	56	15	38
May	78	20	76	0	33	44	33	33	39	May	81	50	77	3	28	18	22	30	38
Jun	6	39	23	29	0	4	9	7	15	Jun	16	39	27	24	0	0	6	15	16
Jul	0	0	0	0	0	0	7	0	1	Jul	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ago	0	46	0	0	0	0	0	5	6	Ago	0	26	0	0	0	14	0	24	8
Sept	87	76	32	46	6	37	15	15	39	Sept	91	58	37	49	16	35	4	34	40
Oct	25	34	10	104	49	83	43	113	57	Oct	24	22	2	103	40	80	35	104	51
	706	650	576	317	296	542	328	535	494		672	576	551	289	258	397	273	489	438

El valor medio de la **ET_o** anual (tabla 3) fue de 1.264 mm en Pichilín y de 1.347 mm en La Loma, observándose en ambos casos una escasa variabilidad interanual, siendo en esta zona la precipitación el parámetro climático que muestra mayor grado de incertidumbre a la hora de realizar la programación del riego.

Tabla 3: Evapotranspiración de referencia (cálculo de **ET_o** empleando la expresión de Hargreaves) para los observatorios de Pichilín (Villacarrillo) y C. La Loma.(Jódar). Valores medios correspondientes al período 1996 – 2003.

Mes	PICHILIN		LA LOMA	
	Media	desv. típ.	Media	desv. típ.
Ene	35	3	38	2
Feb	51	7	55	8
Mar	86	8	92	8
Abr	104	11	113	13
May	144	12	155	13
Jun	187	17	197	8
Jul	204	7	216	6
Ago	183	8	191	6
Sep	122	7	129	8
Oct	75	5	81	4
Nov	40	3	44	3
Dic	32	3	34	3
Total	1.264	38	1.347	26

En los dos ensayos se compara el secano con cuatro **estrategias de riego** por goteo diferentes. Los tratamientos comparados fueron los siguientes:

- a) cultivo en **secano** (referencia);
- b) riego para máxima **ET_c** (= **ET_{max}**), aplicando la metodología del balance de agua propuesta por la FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977). Para calcular la **ET_{max}** del cultivo, quincenalmente se ha empleado la expresión (Orgaz y Fereres, 2001):

$$ET_c = ET_o \times K_c \times K_r$$

en la que **ET_o** es la evapotranspiración del cultivo de referencia (parcela de gramíneas que vegeta sin limitaciones de agua y nutrientes), que cuantifica la demanda evaporativa de la atmósfera, mientras que los coeficientes **K_c** y **K_r** cuantifican el efecto propio del cultivo y su estado de desarrollo en la **ET_c**. El **coeficiente de cultivo (k_c)** expresa la relación existente entre la evapotranspiración de un cultivo de olivos que cubre más del cincuenta por ciento del suelo y la **ET_o**. Se han empleado los siguientes valores de **K_c** (Orgaz y Fereres, 2001):

Mes	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
K _c	0.65	0.65	0.65	0.60	0.55	0.55	0.50	0.50	0.55	0.60	0.65	0.65

El coeficiente **Kr** cuantifica la superficie de suelo cubierta (S_c) por la copa de los olivos ($K_r = 2 \times S_c / 100$). En la programación del riego para este tratamiento se ha tenido en cuenta el contenido de agua en el suelo a la salida del invierno.

c) 1.500-I, estrategia que consiste en aplicar anualmente $1.500 \text{ m}^3/\text{ha}$ al olivar tradicional ($2.500 \text{ m}^3/\text{ha}$ en el olivar intensivo = **2.500-I**), regándose durante el período 15 septiembre-15 abril, más un riego de apoyo de unos $2 \text{ m}^3/\text{olivo}$ en endurecimiento del hueso (julio), de acuerdo con las autorizaciones de la CHG.

d) 1.500 - L, riego con aplicación de una cantidad semanal de agua constante durante el período 1 marzo a 31 octubre, con una dotación anual de $1.500 \text{ m}^3/\text{ha}$ en olivar tradicional y $2.500 \text{ m}^3/\text{ha}$ en el intensivo (**2.500 - L**), con independencia de las condiciones climáticas anuales.

e) riego muy deficitario (= 750), aplicando $750 \text{ m}^3/\text{ha}$ en el olivar tradicional ($1.250 \text{ m}^3/\text{ha}$ en el intensivo = **1.250**), procurando evitar el estrés severo en los momentos de máxima sensibilidad al déficit hídrico: antes de la floración y durante el cuajado del fruto, endurecimiento del hueso y finalmente en otoño durante la maduración (Girona, 2001; Orgaz y Fereres, 2001).

El aguade riego se ha aplicado utilizando un sistema de riego por goteo. En los tratamientos **d** y **e** se han empleado 4 emisores autocompensantes de 4 l/h por olivo, mientras que en **b** y **c** se emplearon 6 emisores por árbol en el ensayo con olivar intensivo y 8 en el tradicional, tratando de conseguir en estos dos tratamientos un gran volumen de suelo mojado. El empleo de un gran número de emisores es justificable en el tratamiento **b** debido a las grandes dotaciones de riego empleadas, tratando de evitar pérdidas por percolación profunda; mientras que en el tratamiento **c** (riego en invierno), hemos tratado de crear una máxima reserva de agua en el suelo. La precipitación efectiva se ha calculado empleando la metodología propuesta en USA por el Bureau of Reclamation (Orgaz *et al.*, 2005, en prensa).

En ambos experimentos se ha utilizado un diseño experimental en bloques al azar, con tres parcelas elementales de 12 olivos (3 filas de 4 árboles) por cada tratamiento de riego, parcelas en las que se controlaron los dos árboles centrales. Se han realizado controles del volumen de agua aplicado, así como de la producción, del tamaño del fruto y del rendimiento graso de las aceitunas (RMN), lo que ha permitido calcular la producción de aceite. Anualmente se ha medido el volumen de copa de los árboles.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

En función de los valores de ET_o y de la precipitación efectiva de la quincena anterior se calcularon las aportaciones quincenales de riego del tratamiento ET_{max} . La **tabla 4** muestra los volúmenes anuales de agua de riego realmente aplicados en ambos ensayos en cada uno de los cuatro tratamientos de riego que se comparan. La parte de abajo de dicha tabla muestra igualmente los valores calculados empleando la metodología propuesta por Orgaz *et al.* (2005, en prensa), metodología más precisa que la utilizada en los ensayos para la programación del riego para ET_{max} , así como las cantidades de agua que deberían haberse aplicado si hubiésemos programado el riego empleando esta metodología.

Vemos como en el transcurso de los años han ido aumentando las cantidades de agua de riego aportadas en el tratamiento ET_{max} , debido, por un lado, a que desde 1.999 la pluviometría anual fue menor (**tabla 2**), y por otro lado porque los árboles han tenido un gran crecimiento vegetativo como respuesta al riego, mostrando un mayor volumen de copa (**tabla 5**) y una mayor cobertura del suelo, lo que, lógicamente ha hecho aumentar la demanda de agua por ambas plantaciones de olivar. En Pichilín se ha pasando de unos 2.600 m³/ha de agua al comienzo del ensayo, hasta superar los 5.000 m³/ha en el año 2002, mientras que en La Loma los consumos para el citado tratamiento han evolucionado entre 1.894 y 3.986 m³/ha. Vemos también como los volúmenes de agua de riego para ET_{max} son considerablemente mayores en la plantación intensiva (204 olivos/ha) que en la tradicional (64 olivos/ha).

Tabla 4.: Arriba, portaciones reales anuales de agua de riego (m³/ha) para los diferentes tratamientos en la plantación intensiva (finca Pichilín) y en la plantación tradicional (finca La Loma). Abajo, valores de ET_c calculados (Orgaz et al., 2005) y cantidades de riego que deberían haberse aportado en el tratamiento ET_{max} utilizando valores anuales de volumen de copa de la plantación, ET_o y PE realmente registrados.

Finca	Tratamiento	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Media
Pichilín	ET_{max}	2.628	2.795	2.488	4.588	5.440	4.495	5.276	4.873	4.073
	2.500 – L	2.439	2.425	2.459	2.528	2.431	2.552	2.478	2.441	2.469
	2.500 – I	3.205	2.103	2.688	2.885	2.199	2.208	2.644	2.412	2.543
	1.250	1.211	1.162	1.270	1.225	1.222	1.254	1.295	1.237	1.235
La Loma	ET_{max}	1.984	2.152	1.848	3.167	3.986	3.737	3.316	2.531	2.840
	1.500 – L	1.474	1.499	1.472	1.423	1.466	1.489	1.461	1.475	1.470
	1.500 – I	1.663	1.487	1.760	1.416	1.427	1.755	1.608	1.440	1.570
	750	742	721	719	664	747	767	725	730	727

Parcela	Campaña	1.996	1.997	1.998	1.999	2.000	2.001	2.002	2.003
PICHILÍN	ET_c (mm)	847	749	779	758	777	954	920	928
	Riego (mm)	3.360	2.590	3.550	5.090	6.070	4.870	6.640	4.790
LA LOMA	ET_c (mm)	534	527	536	500	433	496	487	528
	Riego (mm)	720	1.060	1.000	3.170	2.300	1.850	3.100	1.730

La **tabla 5** recoge la evolución de los **volúmenes de copa** de los olivos a lo largo de los años de duración del ensayo, parámetro muy relacionado con la capacidad productiva de las plantaciones (Pastor *et al.*, 1999).

Tabla 5. Volúmenes de copa (m³/ha) para los diferentes tratamientos en las dos parcelas de ensayo. Período 1996-2003. En cada finca y año los valores seguidos por letras diferentes difieren significativamente al nivel $p \leq 0,05$ según test de la mds.

Finca	Tratamiento	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
PICHILIN	ET_{max}	9.907 a	7.325 a	9.107 a	10.589 a	14.032 a	16.553 a	15.890 a	13.951 a
	2500 I	9.406 a	6.864 a	7.372 ab	9.123 ab	11.354 bc	13.127 bc	12.306 bc	10.734 bc
	2500 L	9.401 a	7.618 a	8.878 a	10.272 a	13.090 ab	15.016 ab	13.323 ab	11.823 ab
	1250	9.909 a	7.760 a	8.835 a	10.778 a	13.051 ab	14.366 ab	12.808 bc	11.675 ab
	Secano	9.811 a	6.963 a	6.235 b	8.229 b	9.292 c	10.720 c	9.908 c	8.852 c
LA LOMA	ET_{max}	7.114 a	6.450 a	7.814 a	7.069 a	10.191 a	9.740 a	9.790 a	8.773 a
	1500 I	7.891 a	6.353 a	6.990 ab	6.450 a	8.072 b	8.317 ab	8.080 ab	7.817 a
	1500 L	7.658 a	6.210 a	6.864 ab	6.700 a	9.040 ab	8.052 ab	7.865 b	7.125 ab
	750	6.587 a	6.151 a	6.635 ab	6.560 a	8.524 b	7.862 b	7.294 b	7.128 ab
	Secano	7.264 a	6.005 a	5.920 b	5.857 a	7.904 b	6.957 b	6.582 b	6.041 b

Como se puede observar (**tabla 5**), en ambos ensayos los volúmenes de copa de partida son similares para todos los tratamientos comparados (no existen diferencias

significativas entre ellos), incluso después de la poda realizada por el propietario de las fincas a comienzos del año 1.997 que redujo el tamaño de copa de los árboles. Para no interferir en el desarrollo de los ensayos, en lo sucesivo la dirección de poda la realizó el equipo investigador responsable de los ensayos, tratando de evitar lo que es una práctica habitual en la comarca, en la que los volúmenes de copa se adaptaban intuitivamente a las condiciones de secano, sin tener en cuenta que el riego puede mejorar la capacidad productiva de las plantaciones de olivar permitiendo mantener árboles con un mayor volumen de copa. A partir del año 1998 en Pichilín (olivar intensivo) se observan diferencias significativas entre el volumen de copa del olivar de secano y el de riego, no observándose al principio claras diferencias entre los tratamientos regados (fueron años muy lluviosos), diferencias que con el tiempo acaban apareciendo, mostrando mayor volumen los regados para ET_{max} , lo que sugiere que los tratamientos de riego deficitario han sufrido distintos grados de estrés a lo largo de los años de duración de los ensayos. En La Loma (olivar tradicional), las tendencias son similares a las observadas en Pichilín, aunque a largo plazo solamente se establecen diferencias significativas entre el secano y el riego para ET_{max} . Además de la práctica de poda, realizada al principio del ensayo empleando criterios tradicionales, en la **tabla 4** vemos como los volúmenes de riego realmente aplicados algún año en alguno de los teóricos tratamientos de riego deficitario han cubierto las necesidades para ET_{max} , por lo que las diferencias de crecimiento observadas son un reflejo de las disponibilidades reales de agua (lluvia + riego), poniendo en evidencia a los tratamientos que han estado sometidos a un mayor grado de estrés hídrico.

En la **tabla 4** podemos comparar también las cantidades de riego realmente aportadas, calculadas en base a la metodología propuesta por Orgaz y Fereres (2001), y las calculadas aplicando la metodología propuesta por Orgaz *et al.* (2005, en prensa), metodología que permite calcular con mayor precisión la ET del cultivo. Vemos que en la finca La Loma las cantidades aportadas en el tratamiento ET_{max} permiten asegurar que los olivos realmente han dispuesto todos los años de agua suficiente como para asegurar la máxima producción, mientras que en Pichilín en dicho tratamiento casi todos los años (excepto en 1997 y 2003) no se han cubierto las necesidades para máxima producción del olivar, por lo que en este caso este tratamiento es también un tratamiento de riego deficitario, habiéndose aportado por término medio casi un 15% menos de agua que la necesaria para cubrir el objetivo de lograr máxima ET.

Las **tablas 6 y 7** muestran las **producciones medias** de aceitunas y aceite, así como datos relativos al tamaño del fruto, rendimiento graso y número de frutos producidos por olivo para los dos ensayos. Igualmente se muestran los datos medios para el conjunto de años lluviosos y para los años secos. En ambos ensayos y para el conjunto de los años (1996 a 2003) vemos como el riego, independientemente de la dosis de agua aplicada, ha aumentado significativamente la producción de aceite y aceitunas con respecto al secano, existiendo menores diferencias entre las diferentes tratamientos regados, destacando la producción obtenida en el tratamiento ET_{max} , significativamente mayor que la de los restantes tratamientos, lo que significa que realmente son tratamientos en los que se aportan dosis de riego **deficitarias**.

En La Loma (**tabla 6**) vemos que no existen diferencias significativas en producción de aceite y aceitunas entre los tratamientos regados con 1.500 y 750 m³/ha, lo que solamente puede justificarse admitiendo la existencia de errores experimentales ajenos al ensayo, derivados de la heterogeneidad del suelo como consecuencia del gran tamaño de las parcelas experimentales y del tamaño de las mismas; mientras que en Pichilín (**tabla 7**), sí que son significativas las diferencias entre los riegos con 2.500 y 1.250 m³/ha. La causa de estas diferencias fue en este caso el peor estado hídrico estacional de los árboles de los tratamientos regados con la menor dotación de agua (Pastor *et al.*, 2002), datos aquí no presentados.

Tabla 6: Producciones medias (1996-2003) de aceituna, aceite, así como rendimiento graso, peso del fruto y número de frutos obtenidos en la finca La Loma. Años lluviosos (1996, 1997, 1998, 2001 y 2003) y años secos (1999, 2000 y 2002). Los valores de cada período y columna seguidos de letras diferentes difieren significativamente al nivel $p \leq 0,05$ según el test de la MDS.

Periodo	Tratamiento	Producción (kg/ol)	Aceite (kg/ol)	Rdto graso %	Número frutos	Peso 1 fruto (g)
Media 96-03	ETcmax	112.34 a	28.68 a	25.54 ab	33.025 a	3.41 a
	1500- L	90.68 b	23.82 b	26.25 a	25.108 b	3.59 a
	1500-I	101.65 ab	25.59 ab	25.17 b	31.040 a	3.29 ab
	750	87.57 b	22.47 b	25.66 ab	25.682 abc	3.41 a
	Secano	57.35 c	14.09 c	24.51 c	18.572 c	3.04 b
Lluviosos 96-97-98-01-03	ETcmax	104.54 a	26.72 a	25.55 ab	29.937 ab	3.49 a
	1500- L	111.70 a	29.40 a	26.35 a	31.309 ab	3.57 a
	1500-I	121.17 a	30.67 a	25.33 b	36.495 a	3.32 ab
	750	102.73 ab	26.48 a	25.77 ab	30.064 ab	3.42 a
	Secano	83.72 b	20.79 b	24.91 b	27.012 b	3.10 b
Secos 99-00-02	ETcmax	125.33 a	31.93 a	25.48 ab	38.172 a	3.28 b
	1500- L	55.64 b	14.54 b	26.13 a	14.772 bc	3.76 a
	1500-I	69.12 b	17.12 b	24.77 b	21.949 b	3.15 bc
	750	62.30 b	15.78 b	25.32 ab	18.379 b	3.39 b
	Secano	13.40 c	2.92 c	21.79 c	4.506 c	2.97 c

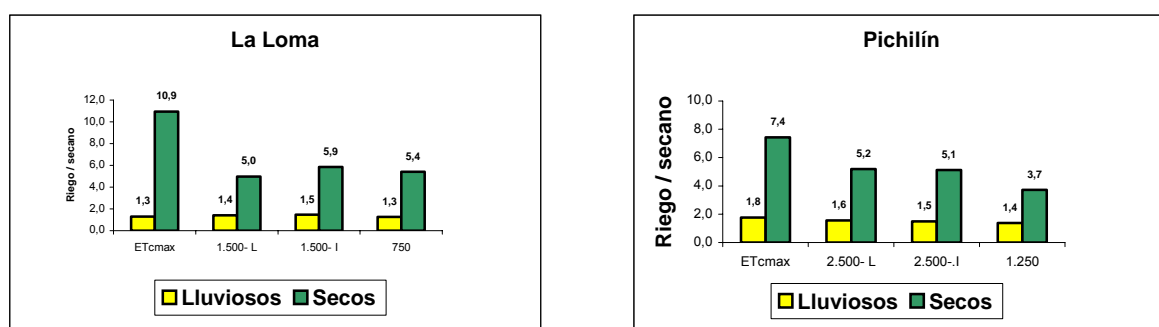
Llama igualmente la atención que en Pichilín no se observen diferencias significativas en las producciones de aceite y aceitunas entre los dos tratamientos que recibieron anualmente 2.500 m³/ha pero con diferente patrón anual de aplicación del agua (2.500-L a lo largo de todo el año y 2.500-I denominado riego de invierno), demostrando este hecho que de acuerdo con Girona (2001) y Orgaz y Fereres (2001), el verano es el período del ciclo anual en el que existe una menor sensibilidad del olivo al déficit hídrico, y que en suelos profundos y con adecuada capacidad de retención, y cuando además hemos recargado el perfil durante el otoño e invierno anterior, mediante la lluvia y el riego, puede pensarse que es posible interrumpir el riego durante el verano, continuando de nuevo con la aplicación de los riegos en septiembre, momento en el que comienza la maduración del fruto y en el que el olivo sí que es muy sensible al déficit hídrico. En la finca La Loma el comportamiento del olivar ha sido muy similar, no habiéndose observado diferencias significativas entre los tratamientos 1.500-L y 1.500-I. En este ensayo tampoco existen diferencias significativas entre ET_{max} y 1.500-I. En los tratamientos denominados de riego de invierno, durante el verano, en ambas fincas, el crecimiento del fruto se hace a costa de la reserva de agua almacenada en el perfil durante la estación lluviosa.

Las **tablas 6 y 7** muestran igualmente las producciones medias obtenidas en ambos ensayos en los considerados como años secos y como años lluviosos. Vemos que en los **años lluviosos** las diferencias de producción de aceite obtenidas entre los tratamientos regados son pequeñas, solamente en Pichilín el riego para ET_{max} proporciona una cosecha significativamente mayor que los demás tratamientos regados. Con respecto al secano, en ambos ensayos las producciones de aceite se han multiplicado por cifras dentro del rango 1,4 – 1,8 ,según tratamientos y fincas (ver **figura 1**). En los **años secos** el incremento de producción de aceite debido al riego fue espectacular, en este caso las producciones se han multiplicado por 3,7 – 10,9 según tratamientos y fincas (ver **figura 1**).

Tabla 7: Producciones medias (1996-2003) de aceituna, aceite, así como rendimiento graso, peso del fruto y número de frutos obtenidos en la finca Pichilín. Años lluviosos (1996, 1997, 1998, 2001 y 2003) y años secos (1999, 2000 y 2002). Los valores de cada período y columna seguidos de letras diferentes difieren significativamente al nivel $p \leq 0,05$ según el test de la MDS.

Período	Tratamiento	Producción (kg/ol)	Aceite (kg/ol)	Rdto graso (%)	Peso fruto (g)	Número frutos por olivo
1996-2003	ET_{max}	81,24 a	19,09 a	23,50 a	3,13 a	26.271 a
	2.500 - I	64,47 bc	15,04 b	23,34 a	2,66 bc	24.192 a
	2.500 - L	67,43 b	15,58 b	23,18 a	2,76 b	24.877 a
	1 250	58,53 c	12,84 c	21,93 b	2,43 c	24.012 a
	Secano	36,21 d	7,31 d	20,20 c	2,23 d	16.249 b
Años lluviosos	ET_{max}	75,96 a	18,06 a	23,77 a	3,06 a	24.654 ab
	2.500 - I	65,48 b	15,38 b	23,48 a	2,79 b	23.633 b
	2.500 - L	69,24 ab	16,13 ab	23,27 a	2,75 b	25.016 ab
	1 250	64,38 b	14,26 b	22,09 b	2,40 c	26.515 a
	Secano	46,47 c	10,24 c	22,07 b	2,43 c	19.089 c
Años secos	ET_{max}	90,03 a	20,80 a	23,12 a	3,17 a	28.964 a
	2.500 - I	62,80 b	14,47 b	23,04 a	2,50 b	25.124 ab
	2.500 - L	64,41 b	14,67 b	22,76 a	2,65 b	24.646 ab
	1 250	48,76 c	10,48 c	21,49 a	2,46 b	19.843 b
	Secano	19,13 d	3,49 d	18,06 b	1,67 c	11.515 c

Figura 1: Aumentos de producción, con respecto al secano, en los diferentes tratamientos de riego. En ambos ensayos se hace distinción entre años lluviosos (96, 97, 98, 01 y 03) y años secos (99, 00 y 02).

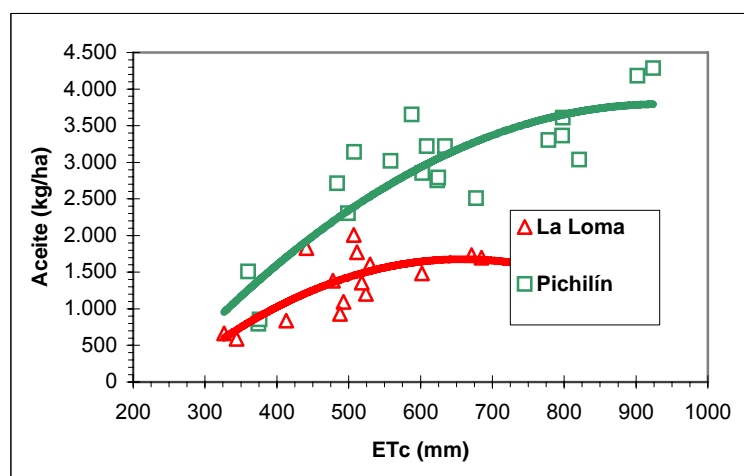


En la **figura 2** mostramos las correlaciones calculadas entre ET_c y la producción bianual de aceite. En el caso de la finca La Loma como valor de ET_c para el tratamiento de ET_{max} hemos empleado el valor calculado empleando la metodología de cálculo propuesta por Orgaz *et al.* (2005), mientras que en los restantes tratamientos $ET_c = PE + \text{riego}$. En Pichilín hemos estimado la ET_c de la plantación empleado los valores de $PE + \text{riego}$, ya que en el tratamiento ET_{max} no se han cubierto las necesidades del cultivo para máxima producción. Vemos como en

ambos ensayos las producciones de aceite aumentan al aumentar la ETc. A partir de las ecuaciones de ajuste mostradas en la mencionada figura, en Pichilín la máxima producción de aceite (3.753 kg/ha) se obtendría para una ETc anual de 930 mm, mientras que en La Loma el máximo de 1.672 kg se obtendría con ETc = 657 mm. Los valores de ETc por debajo de los cuales no habría producción de aceite se establecen en Pichilín para 232 mm y en 244 mm en La Loma. En el año 1999 en los que la PE no superó en ambas fincas los 269 y 225 mm, la producción en seco fue nula en ambas fincas.

Utilizando los datos mostrados en la **figura 2** podríamos también evaluar el efecto que tendría una determinada dosis de agua de riego para diferentes valores de precipitación efectiva anual. Dicho efecto disminuye a medida que aumenta la PE, ya que una misma cosecha se podría conseguir disminuyendo la dosis de riego cuando el año es lluvioso, y al revés. Ambos factores pueden ser sustituibles entre sí en cuanto a los efectos sobre las producciones de aceite, pero mientras que el riego es perfectamente controlable, la lluvia no, siendo la cuantía de la PE el parámetro que ofrece mayor incertidumbre en la programación de riegos en olivar.

Figura 2: Relación entre la producción bianual de aceite (Y) y la ET para las fincas Pichilín (olivar intensivo) $Y = -0,0077 X^2 + 14,319 X - 2904,3$ ($R^2=0,75$) y La Loma (olivar tradicional) $Y = -0,0098 X^2 + 12,884 X - 2562,6$ ($R^2=0,65$).

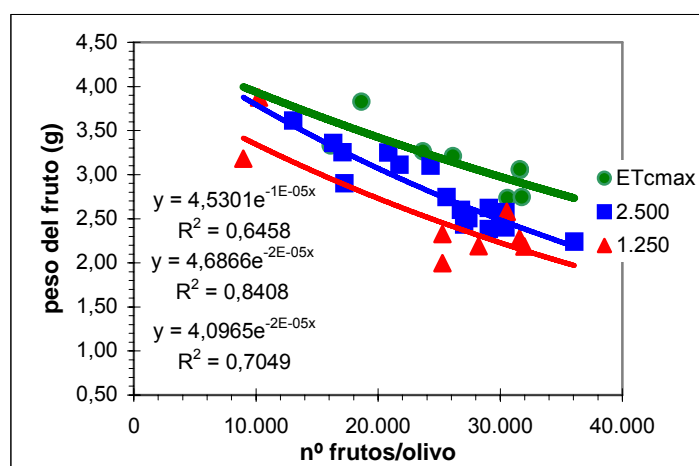


La **figura 2** pone igualmente en evidencia la mayor eficacia del olivar intensivo (204 olivos/ha) frente al tradicional (64 olivos/ha), ya que para idéntica ET del cultivo, el intensivo permite obtener siempre una mayor producción de aceite por hectárea, consecuencia directa de la mayor cantidad de radiación solar que es capaz de interceptar este tipo de plantación (Mariscal *et al.*, 2000). Podría pensarse que la diferencia de edad de los árboles de ambas plantaciones puede ser responsable de las diferencias observadas, no es así, ya que en la plantación tradicional con árboles centenarios se realiza una poda de rejuvenecimiento continuado que permite mantener la copa permanentemente joven (Pastor y Humanes, 2000).

Volviendo a las **tablas 6** y **7** en las que también se muestran datos anuales relativos al tamaño del fruto y al número de frutos por olivo en recolección, componentes

ambos de la producción final de los árboles, observamos como en ambas fincas el riego ha aumentado significativamente el número medio de frutos producidos por árbol, así como el peso medio de la aceituna con respecto al secano, lo que permite comprender el aumento de producción observado en regadío. Si nos referimos al **número de frutos por árbol**, observamos que no existen diferencias significativas entre las diferentes dosis de agua aplicada en los diferentes tratamientos regados, ya que, por un lado, el cuajado del fruto se produce en primavera, momento en el que no existe un déficit de agua en el suelo que limite la fructificación, y por otro lado, el crecimiento de los brotes genera un número de posiciones fructíferas que, en todos los tratamientos regados, supera con creces el número requerido para una buena producción, por lo que las diferencias en el tamaño del fruto (diferencias significativas en este caso) parecen ser la causa de las diferencias de producción observadas entre los distintos tratamientos regados, especialmente con respecto al riego más deficitario (1.250 en Pichilín ó 750 m³/ha en La Loma). Este efecto es más patente en los años secos que en los lluviosos.

Figura 3: Relación entre el número de frutos por olivo y el peso medio de la aceituna para los tratamientos de riego aplicados durante el período 1996 y 2003 en la finca Pichilín.



Como confirmación de lo expresado en el párrafo anterior, en la **figura 3** (correspondiente en este caso a la finca Pichilín) mostramos para cada tratamiento de riego, y para el conjunto de los ocho años de duración del ensayo, la relación entre el número de frutos por olivo y el tamaño medio del fruto, confirmandose una vez más la existencia de una correlación negativa entre ambos parámetros, lo que ha sido constatado en olivar por diferentes autores (por ejemplo Psyllakis, 1975; Pastor y Humanes, 2000). Algunos autores han sugerido (por ejemplo Veihmeyer, 1975) que un desplazamiento hacia arriba de dicha relación (para el mismo número de frutos por árbol se obtendrían frutos de mayor peso), es indicativo de un aumento de la productividad global de una plantación sometida a tratamientos que ocasionan diferencias en el contenido de agua en el suelo. Vemos que con relación al tratamiento de riego más deficitario (1.250 m³/ha), el tratamiento de 2.500 m³/ha induce un desplazamiento hacia arriba, y que a su vez en el tratamiento ET_{max} se produce igualmente un desplazamiento hacia arriba con respecto al anterior. Ello demuestra que en este caso el aumento de producción observada en regadío debe

atribuirse también a una mejora en la capacidad de llenado de los frutos, y por tanto al aumento del peso medio de las aceitunas producidas. Para el secano, teniendo en cuenta las irregularidades pluviométricas interanuales observadas durante el período considerado, no se observa una correlación significativa entre los mencionados parámetros. Para la finca La Loma se han realizado igualmente los cálculos anteriores, no observándose apenas diferencias entre los tratamientos de riego, pero si de estos con respecto al secano, también con un desplazamiento de la relación número de frutos-peso del fruto hacia arriba (datos no presentados), lo que está en consonancia con los datos mostrados en la **tabla 6**.

Como se apuntó anteriormente, para una misma densidad de plantación el volumen de copa es un aceptable estimador de la radiación solar interceptada por los árboles (Mariscal *et al.*, 2000). Por esta razón, un aumento del volumen de copa debido al aumento de la dosis de agua aplicada se debería traducir en un aumento del número de posiciones fructíferas, y en definitiva en un aumento de la capacidad productiva del olivar. Si a ello unimos la mayor densidad de área foliar conseguida también como consecuencia del riego (Pastor *et al.*, 1999), es fácil comprender la mejora de la capacidad de llenado de los frutos cuando los árboles disponen de mayor cantidad de agua en el suelo (ver **figura 3**).

Aunque muchos agricultores piensan que el riego reduce el rendimiento graso de los frutos, lo cual ha sido constatado por algunos autores en riegos con grandes dotaciones de agua (por ejemplo Michelakis, 1997), las **tablas 6 y 7**, que muestran también los rendimientos grasos obtenidos en cada tratamiento de riego y en cada uno de los dos ensayos, parecen contradecir dicha opinión. Para el período 1996-2003, en **Pichilín (tabla 7)** el menor rendimiento graso medio se observa en secano, significativamente más bajo que en todos los tratamientos regados; asimismo el tratamiento regado con 1.250 m³/ha muestra un rendimiento graso significativamente menor que el del olivar regado con 2.500 m³/ha o para ET_{max}. En años muy lluviosos, 1997 por ejemplo, puede ocurrir que en el tratamiento para ET_{max} el rendimiento graso sea significativamente más bajo, circunstancia observada en otros experimentos similares realizados en Andalucía (Pastor *et al.*, 1999). Es en los años secos en los que las diferencias de rendimiento graso entre secano y riego son mayores, observándose en este caso entre cuatro y cinco puntos de diferencia. En el ensayo de **La Loma (tabla 6)**, las conclusiones son similares. Se observan en este caso rendimientos grasos más altos que en Pichilín, y aunque en ambas fincas se ha trabajado con árboles de la misma variedad. En la segunda de las fincas el nivel productivo por hectárea es mayor, lo que siempre contribuye a obtener rendimientos grasos más bajos (Pastor y Humanes, 2000), pero pensamos que la razón fundamental de estas diferencias en el rendimiento graso es la fecha en la que se ha realizado la recolección en ambos ensayos, tardío sistemáticamente en La Loma, por lo que se recolectan frutos con menor contenido en humedad (datos disponibles pero aquí no presentados), lo que explica el mayor porcentaje de aceite observado. Para el período 1996-2003 también en secano en La Loma se obtuvieron (**tabla 6**) rendimientos medios significativamente menores que en los tratamientos regados, observándose escasas diferencias entre estos. Es en los años secos, también en este ensayo, en los que se observan las mayores diferencias entre riego y secano, estando estas diferencias por encima de un punto de rendimiento. Estos datos

están en consonancia con los de otro ensayo de similares características realizado en olivar tradicional en la comarca del Condado en la provincia de Jaén (Pastor *et al.*, 1999).

Tabla 8 : Índice de alternancia de cosechas de Pearce y Doberseck-Urban (1967) calculado para las producciones anuales de aceitunas y aceite para el período 1996 – 2003 en los ensayos de La Loma y Pichilín para cada uno de los cinco tratamientos de riego comparados.

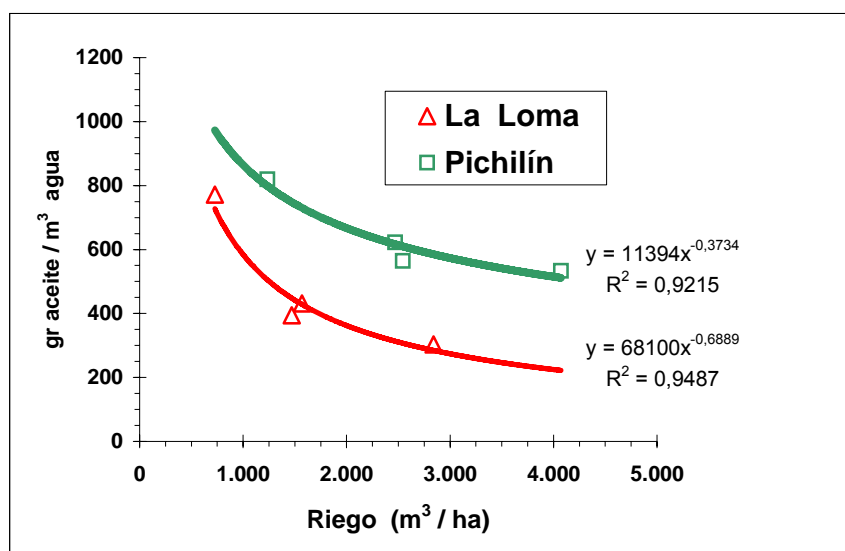
La Loma			Pichilín		
	Aceituna	Aceite		Aceituna	Aceite
ETmax	0,33	0,30	ETmax	0,12	0,10
1.500- L	0,51	0,50	2.500- L	0,13	0,09
1.500-.I	0,41	0,39	2.500-.I	0,09	0,06
750	0,45	0,44	1.250	0,26	0,20
Secano	0,68	0,69	Secano	0,55	0,54

Nos parece de interés estudiar la influencia del riego sobre **la alternancia de producción** del olivar, por ser este un cultivo en el que es normal que se suceden años de carga y de descarga. El índice de alternancia propuesto por Pearce y Doberseck-Urban (1967) permite cuantificar la alternancia de producción para series de cosechas de cierta longitud. La **tabla 8** muestra los índices de alternancia calculados para el conjunto de ocho años, para cada uno de los ensayos y para cada tratamiento de riego. En ella podemos observar como en ambas fincas es el olivar de secano el que muestra un índice de alternancia mayor, mientras que los olivares mejor regados son los que muestran en ambas fincas una mayor regularidad en la producción. El riego más deficitario muestra también en ambos ensayos mayor alternancia que las demás estrategias de riego. Igualmente se observa, independientemente de las estrategias de riego utilizadas, que en el ensayo de La Loma el índice de alternancia es mayor que en Pichilín, lo que debe atribuirse no solo a la diferente edad del olivar, sino a la tardía fecha en la que sistemáticamente se ha hecho la recolección en el primero de los dos ensayos, hecho que induce por sí mismo a la vecería (Pastor *et al.*, 1998). Estos resultados están en consonancia con los obtenidos por Psyllakis (1975) en la isla de Creta trabajando con olivos de las variedades 'Koroneki' y 'Mastoidis', mientras que no son tan claras las diferencias de alternancia entre secano y riego en otro ensayo realizado en Jaén en olivar adulto de la variedad 'Picual' (cálculo a partir de los datos de Pastor *et al.*, 1999).

Se define como **eficiencia en el uso del agua de riego para la producción de aceite** el número de gramos de aceite producido por cada metro cúbico de agua de riego aplicada, tomando como referencia la producción obtenida en secano. Hemos aplicado este concepto en los dos ensayos y a cada estrategia de riego para las producciones medias obtenidas en el transcurso de los ocho años de duración de los experimentos, mostrándose los resultados en la **figura 4**. En ambos ensayos vemos como la eficiencia desciende a medida que aumentamos el volumen de agua de riego aplicada anualmente, resultando más eficientes los programas de riego deficitario, por lo que en situaciones de baja disponibilidad de agua parece aconsejable regar una mayor superficie de olivar, aplicando programas de riego deficitario, que limitar la superficie regada para poder aplicar programas para máxima ET. En la mencionada **figura 4** se pone de nuevo de manifiesto que, independientemente de los diferentes valores de ETo y precipitación observados en cada uno de los dos ensayos (**tablas 2 y 3**), en la

plantación intensiva (Pichilín) el agua de riego aplicada resulta más eficiente que en el olivar tradicional (La Loma), lo que está en consonancia con Pastor *et al.* (2005, en prensa) en trabajo teórico realizado teniendo en cuenta la nueva metodología de programación de riegos para olivar (Orgaz *et al.*, 2005) y el modelo de predicción de producción basado en la utilización de la superficie de la copa de los árboles como estimador de la cantidad de radiación solar interceptada (Pastor, 2005) o el modelo de interceptación de radiación propuesto por Mariscal *et al.* (2000), lo que es consecuencia directa de la mayor cantidad de radiación solar que es capaz de interceptar la plantación intensiva. En el olivar tradicional las eficiencias variaron entre 330 g de aceite por metro cúbico de agua para el tratamiento ET_{max} en el que se aplicó una media anual de 2.800 m³/ha, y 850 g de aceite para el riego más deficitario. En el olivar intensivo las cifras variaron entre 570 g/m³ para el tratamiento ET_{max} , que se regó con una media de 4.000 m³/ha al año, y 845 g para el riego más deficitario.

Figura 4: Eficiencia en el uso del agua de riego para la producción de aceite para el período 1996 – 2003 en los ensayos de Pichilín (plantación intensiva con una densidad de 204 olivos/ha) y La Loma (olivar tradicional con 65 olivos/ha).



CONCLUSIONES

Aunque se considera que el olivo es un árbol muy tolerante a la sequía, es un cultivo que responde de forma espectacular al riego, y cuando alcanza su máxima capacidad productiva es capaz de consumir cantidades de agua que se aproximan a las calculadas para otros cultivos leñosos de regadío (cítricos, frutales, por ejemplo), dependiendo fundamentalmente dicho consumo del marco de plantación y del volumen de copa de los árboles, así como de la zona en la que se cultiva el olivar (valores de ET_o y PE diferentes), lo que hace que no sean aconsejables las extrapolaciones a amplias zonas geográficas en las que existen diferentes características climáticas.

Cuando las disponibilidades de agua de riego son limitadas e inferiores a la demanda del cultivo para máxima ET, puede ser aconsejable la aplicación de estrategias de riego deficitario. Utilizando estas estrategias puede aumentarse la superficie regada con un determinado volumen de agua, lo que permitirá asimismo mejorar la eficiencia en el uso del agua de riego para la producción de aceite.

La alta eficiencia lograda por este cultivo en el uso del agua de riego permite asegurar una gran rentabilidad económica y social por cada metro cúbico de agua empleado en olivar, eficiencia que justifica el riego de este cultivo incluso con cantidades para satisfacer su ET_{max} , mayor que la obtenida en las regiones olivareras con cultivos como el maíz y los cereales.

Estos ensayos de larga duración han mostrado que dotaciones de 750 m³/ha en olivar tradicional y 1.250 m³/ha en el intensivo pueden ser efectivas desde el punto de vista de la producción, habiéndose logrado, gracias a un buen manejo, una alta eficiencia en el uso del agua de riego. Sin embargo, creemos que las referidas dosis no deben ser nunca recomendadas, amparándose esta afirmación en los resultados obtenidos en otros tratamientos en los que se ha empleado una mayor dosis de agua, ya que las dotaciones muy deficitarias conllevan una importante disminución de la rentabilidad económica de las explotaciones olivareras de regadío. Además, la incertidumbre en la pluviometría anual hace muy arriesgada la utilización de estrategias basadas en la aplicación de dosis extremadamente deficitarias. Nos parece fundamental que se complete esta información con un riguroso estudio económico en el que se evalúen correctamente, en cada caso, los ingresos y los costes de cultivo, pues probablemente las mencionadas dosis puedan no resultar interesantes económicamente hablando.

Tratando de aumentar el volumen de agua disponible para el riego del olivar, la decisión política de la CH del Guadalquivir relativa a la autorización de riegos en otoño-invierno con 1.500 m³/ha utilizando agua no regulada, cuando ésta no es demanda para otros usos, ha sido una decisión que agrónomicamente ha resultado ser correcta en olivar tradicional. Esta estrategia solamente es recomendable cuando se asegure el riego en otoño, y solamente es aplicable en zonas con pluviometría media superior a 450 mm y cuando se cuente con suelos profundos y con una adecuada capacidad de retención de humedad. La eficiencia de esta estrategia se mejorará cuando, en estas circunstancias, se utilicen sistemas de riego con adecuada cobertura del suelo, evitando así las pérdidas de agua por precolación profunda.

En plantaciones intensivas (más de 200 olivos/ha) la dotación de 1.500 m³/ha y año resulta muy insuficiente en la mayoría de las condiciones agronómicas de Andalucía y con cualquiera de las estrategias de aplicación.

En suelos con adecuada capacidad de retención debe programarse el riego teniendo en cuenta la reserva de agua almacenada en el suelo durante el invierno, incluso cuando se dispone de un adecuado volumen de agua para riego y ésta tiene un bajo coste, ya que esta práctica reducirá el volumen total de agua a aportar y mejorará la eficiencia en el uso del agua de riego.

Las estrategias de riego deficitario deberían aplicarse únicamente a olivares adultos, puesto que en plantaciones jóvenes en pleno desarrollo se afectaría al crecimiento de los árboles en un momento en el que la demanda total de agua por hectárea es reducida.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del INIA (Proyectos CAO 97-09 y SC-078), de la Caja Rural de Jaén, y de la Junta Central de Regantes y Usuarios del Sector Alto de la Cuenca del Guadalquivir. Agradecemos igualmente su colaboración a los propietarios de las fincas en las que se han realizado los ensayos D. José Ramón Blanco y a D. Bartolomé Martínez (Comunidad de Regantes del río Jandulilla).

Referencias Bibliográficas

- Consejería de Agricultura y Pesca. 2003.** El olivar andaluz. Servicio de Publicaciones y Divulgación. CAP. Junta de Andalucía.
- Doorenbos, J.y Pruitt, W.O. 1977.** Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio F.A.O: *Riego y Drenaje*, 24. Roma.
- FAO/UNESCO ,1999.** World Reference Base for Soil Resources. Roma.
- Girona, J. 2001.** Estrategias de riego deficitario controlado en olivar. En: CAP (ed.), *Programación de Riegos en Olivar*. Servicio de Publicaciones de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, 41-57.
- Mariscal, M.J., Orgaz, F., Villalobos, F.J. 2000.** Modelling and measurements of radiation interception by olive canopies. *Agric. For. Meteorol.* 100, 183 -197.
- Michelakis, N., 1997.** Water Management and Irrigation for Olive Tree. En: COI (ed.). Proc. International Seminar on Olive Growing Chania . 79-87.
- Moriana, A., Orgaz, F., Pastor, M., Fereres, E. 2003.** Yield responses of a mature olive orchard to water deficits . *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*128(3), 425- 431.
- Orgaz, F.; Fereres, E. 2001.** Riego. En: Barranco, D.; Fernández-Escobar, R.; Rallo, L. (ed.). *El Cultivo del Olivo*. Mundi Prensa – Junta de Andalucía, 285-306.
- Orgaz, F., Villalobos, F., Testi, L., Pastor, M., Hidalgo, J.C., Fereres, E., 2005.** Programación de riegos en plantaciones de olivar. Metodología para el cálculo de las necesidades de agua de riego en el olivar regado por goteo. En: Pastor, M. (ed.). *Cultivo del olivo con riego localizado*. Ed. CAP-Mundi Prensa.
- Pastor, M., Humanes, J., Vega, V., Castro, J. 1998.** *Diseño y Manejo de Plantaciones de Olivar*. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía, Sevilla, Monografías 22/98 : 59-79.
- Pastor, M.; Castro, J.; Mariscal, M.J.; Vega, V.; Orgaz, F.; Fereres, E.; Hidalgo, J., 1999.** Respuestas del olivar tradicional a diferentes estrategias y dosis de agua de riego. *Investigación Agraria: Producción Vegetal.* 14(3), 393-404.
- Pastor, M., Humanes, J., 2000.** *Poda del Olivo. Moderna Olivicultura*. Ed. Agrícola Española S.A., Madrid, 89-107.
- Pastor, M., Hidalgo, J., Orgaz, F., Moriana, A., Fereres, E., 2002.** Riego del olivar: estudio de la respuesta a riegos por goteo deficitarios y obtención de la función de producción. *Actas de las I Jornadas Técnicas del Aceite de Oliva*. Ed. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Madrid. 53-61.
- Pastor, M., 2005.** *Cultivo del Olivo con riego localizado. Diseño y manejo del cultivo y las instalaciones. Programación de riegos y fertirrigación*. Ed. Mundi-Prensa - Consejería De Agricultura y Pesca Junta de Andalucía, Madrid.
- Pearce, S.C., Dobersek-Urbanc, S., 1967.** The measurement of irregularity in growth and cropping. *J. Hort. Sci.*, 42, 295-305.
- Psyllakis, N. 1975.** Recherches des tests pour l'aptitude des varieties d'olivier a la culture irriguee: application aux varieties Koroneki et Mastoidis. *Olea*, diciembre 1975, 53-80.
- Veihmeyer, J.F., 1975.** The growth of fruit trees in response to different soil-moisture conditions measured by widths of annual rings, and other means. *Soil Sci.*, 119 (6), 48-76.