

Programación de riegos en olivar



Consejería de Agricultura y Pesca



PROGRAMACIÓN DE RIEGOS EN OLIVAR

© Edita: JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Agricultura y Pesca.
Publica: VICECONSEJERÍA. Servicio de Publicaciones y Divulgación.

Colección: AGRICULTURA

Serie: OLIVICULTURA Y ELAIOTECNIA

Autores: M. Pastor, J. Hidalgo, V. Vega, J. Girona, L. Soria, F. Orgaz,
E. Fernández, M. Fernández y J. Rojo

Fotografías e ilustraciones: Autores

I.S.B.N.: 84-8474-032-3

Dep. Legal: SE-1093-2001

Maquetación e Impresión: A.G. Novograf, S.A. (Sevilla)

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN <i>Miguel Pastor</i>	5
2. PROGRAMCIÓN DE RIEGOS EN OLIVAR Y SU APLICACIÓN A LA COMARCA DE LA LOMA (JAÉN) <i>Lourdes Soria, Francisco Orgaz, Emilia Fernández y Miguel Pastor</i>	11
3. ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN OLIVAR <i>Joan Girona i Gomis</i>	39
4. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RIEGO DEFICITARIO EN OLIVARES ADULTOS EN LA PROVINCIA DE JAÉN <i>J. Hidalgo, V. Vega, M. Pastor</i>	59
5. CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO. EFECTO DE LA SALINIDAD EN EL OLIVAR <i>V. Vega, J. Rojo, M. Fernández, J. Hidalgo, M. Pastor</i>	75
6. FERTILIZACIÓN DEL OLIVAR REGADO POR GOTEO <i>Miguel Pastor y Victorino Vega</i>	87



1

INTRODUCCIÓN

Miguel Pastor (1)

(1) Dr. Ingeniero Agrónomo. C.I.F.A. Alameda del Obispo. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

El cultivo del olivar tiene una gran importancia económica en España, y especialmente en Andalucía., región en la que se produce más del 70 % del aceite de oliva español. Aunque ha sido considerado tradicionalmente como un cultivo de secano, en la actualidad el olivar es ya el primer cultivo de regadío en esta región, con una superficie regada de **230.193 hectáreas** según el Inventario y Caracterización de los Regadíos de Andalucía (Consejería de Agricultura y Pesca - Junta de Andalucía (2000):

CULTIVOS	SUPERFICIE (ha)
Extensivos de invierno	80.256
Extensivos de verano	202.746
Arroz	36.714
Olivar	230.193
Cítricos	57.097
Frutales subtropicales	14.729
Otros frutales	36.075
Intensivos aire libre	104.687
Invernaderos	30.276
Fresa	9.091
Otros	16.827
TOTAL	815.921

por lo que el olivar regado representa ya el 28 % de la superficie regada de Andalucía, y el 16 % de la superficie total de olivar.



Según la citada fuente, el reparto provincial de la superficie de olivar de regadío en el año 2000 era la siguiente:

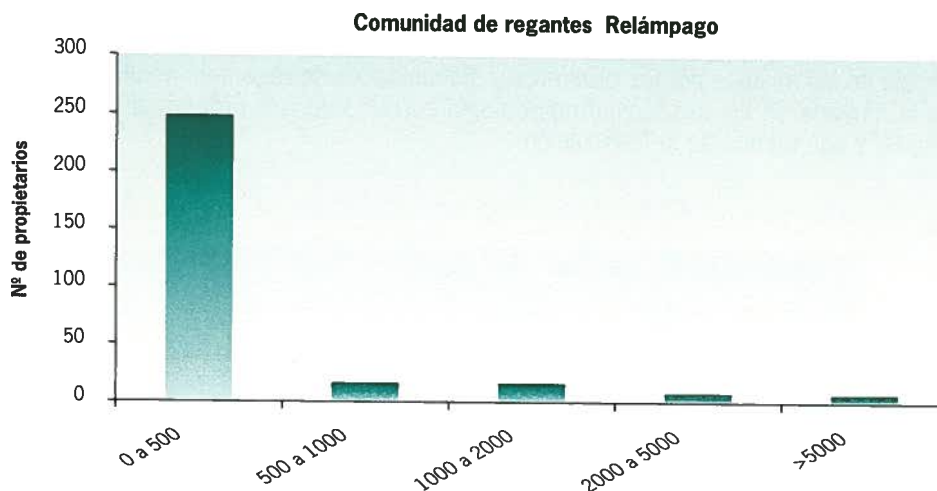
PROVINCIA	SUPERFICIE (ha)
Almería	7.188
Cádiz	114
Córdoba	9.750
Granada	25.880
Huelva	872
Jaén	156.113
Málaga	4.687
Sevilla	25.590
TOTAL	230.193

Vemos como la provincia de Jaén es en la que el olivar en riego tiene la mayor importancia, con un 68 % de la superficie andaluza regada, y en la actualidad continúan realizándose nuevos regadíos en esta provincia, estando en marcha algunas importantes obras de transformación.

Si nos referimos al **origen del agua** de riego, el 5,5 % de la superficie se riega con aguas residuales de población, el 24 % emplea aguas subterráneas, y finalmente el 70,5 % riega con aguas superficiales.

Con respecto a los **sistemas de riego** empleados, el 6 % del olivar riega a pie, el 7 % riega por aspersión, y la mayoría, el 87 %, emplea sistemas de riego localizado, fundamentalmente el goteo.

En la provincia de Jaén el **tamaño medio de las explotaciones** es relativamente pequeño, 3,8 hectáreas (300 a 380 olivos por explotación), lo que obliga a la asociación de los regantes en grandes comunidades. Así, el 63 % de la superficie de olivar regado de Jaén se **agrupa en Comunidades de Regantes**, en las que en buena armonía pequeños, medianos y grandes propietarios comparten inversiones, gastos e ilusiones. En la figura siguiente mostramos datos de la Comunidad de Regantes Relámpago en Torreperogil, comunidad que asocia a más de 300 propietarios y que riega más de 1.500 hectáreas. Vemos como el 83 % de los propietarios riegan menos de 500 olivos (3 a 5 hectáreas), y como sólo el 3 % de los propietarios riega más de 50 hectáreas.



Cuando el agua se utiliza de forma racional, el olivar es capaz de rentabilizar el agua de riego más que cualquiera de los cultivos extensivos, permitiendo generar una gran cantidad de empleo (**30-35 jornales/ha**), y no solamente en épocas de recolección de las aceitunas, lo cual tiene una gran importancia en una región cuya economía depende en gran medida del cultivo del olivar, y cuya actividad económica ha resucitado en muchas comarcas tras las transformaciones en regadío. No olvidemos que cada peseta de beneficio en el sector primario podría convertirse en dos pesetas para el conjunto de la economía andaluza.

En Andalucía, igual que en otras regiones de clima mediterráneo, existe un marcado **déficit estructural de agua** en la cuenca del río Guadalquivir, principal abastecedor de agua a los cultivos, estando este agua ya comprometida para otros usos y cultivos en la mayoría de los casos, por lo que el olivar, último cultivo en incorporarse cronológicamente al regadío, parece condenado a conformarse a regar cuando existen aguas superficiales de escorrentía no reguladas, o aplicando riegos de socorro que concede el Organismo Regulador de la Cuenca.

Por otro lado, el olivar se encuentra en zonas relativamente **alejadas de los ríos y con importantes elevaciones geométricas** sobre ellos, por lo que el agua utilizada tiene un gran coste económico, lo que igualmente ocurre con las **aguas subterráneas**, que obligan, para su captación, a la realización de profundas y costosas obras (pozos). Estas inversiones, a las que los olivareros han destinado una buena parte de sus ahorros, autofinanciando sus propias instalaciones de riego, prácticamente sin ayudas estatales o comunitarias, deben ser amortizadas rápidamente, por lo que es necesario obtener la máxima producción, junto con una reducción de costes de cultivo.



En la mayoría de los olivares transformados en regadío se han realizado unas instalaciones modernas y eficaces, pero este hecho contrasta con la poco eficiente utilización de las mismas por los olivareros y comunidades de regantes, no utilizándose en la mayoría de los casos una metodología correcta para la programación de los riegos, y aún menos de la fertilización.



Foto 1.1 Panorámica del olivar de regadío de la comarca de la Loma. Al fondo la ciudad de Torreperogil.

En la actualidad ya se conoce, con bastante aproximación, la metodología de **Programación de Riegos en Olivar**, así como las dosis aproximadas de agua que permiten obtener la máxima producción y las diferentes estrategias de riego deficitario controlado que permiten obtener igualmente la máxima eficiencia por cada metro cúbico de agua aportado en forma de riego en el olivar. De hecho, el **CIFA de Córdoba** junto con **Caja Rural de Jaén** mantienen un **Servicio de Asesoramiento a Regantes** que mediante Boletines Informativos, que reciben gratuitamente los regantes en sus domicilios, jornadas técnicas y cursos de formación, tratan de divulgar la moderna tecnología del riego.



2

PROGRAMACIÓN DE RIEGOS EN OLIVAR Y SU APLICACIÓN A LA COMARCA DE LA LOMA (JAÉN)

Lourdes Soria (1)

Francisco Orgaz (2)

Emilia Fernández (3)

Miguel Pastor (4)

(1) Universidad Internacional de Andalucía. Sede Antonio Machado. Baeza. (2) Instituto de Agricultura Sostenible. CSIC. Córdoba. (3) Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. (4) Dirección General de Investigación y Formación Agraria. CIFA Alameda del Obispo. Córdoba

2.1. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LAS NECESIDADES DE AGUA DE RIEGO EN EL OLIVAR.

2.1.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO.

El agua perdida por transpiración de las plantas es el coste que estas deben pagar para producir biomasa (ramas, tallos, hojas, frutos), y 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 suficiente, para que el cultivo pueda extraer todo el agua que le demanda la atmósfera. 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 (ETc)**, y debe ser satisfecha mediante la lluvia y/o el riego para que la producción del cultivo no se reduzca como consecuencia de un déficit hídrico.

Para el cálculo de las necesidades de agua de riego de un olivar adulto se emplea la metodología FAO del **balance de agua** (Doorenbos y Pruitt, 1977) en el que la **ETc** se calcula como el producto de tres términos:

$$ETc = ETo \times kc \times kr \quad [1]$$

La **ETo**, denominada **evapotranspiración de referencia**, cuantifica la demanda evaporativa de la atmósfera y corresponde a la evapotranspiración de una pradera de gramíneas que cubre totalmente el suelo y que se mantiene, mediante siega, con una altura entre 10 y 15 cm, que crece sin limitaciones de agua y nutrientes en el suelo y sin incidencia de plagas y/o enfermedades.

La **ETo** se mide mediante lisímetros en condiciones estandarizadas. Pero es difícil, por no decir imposible por su coste, disponer de una red de lisímetros a nivel regional, comarcal o local. Por esta razón se han calibrado diferentes fórmulas empíricas, la más adecuada, sin duda, es la de **Penman-Monteith** (Fereres y col., 1998) que requiere datos diarios de temperatura, radiación solar, humedad relativa del aire, velocidad y dirección del viento y que podría emplearse a su vez para calibrar a nivel local otras expresiones en el caso que se disponga de menor número de parámetros climáticos.



Foto 2.1 Estación meteorológica completa equipada con radiómetro, sensores de humedad relativa, temperaturas, velocidad y dirección del viento y evaporímetro. La captura de datos es automática y registra y almacena las lecturas cada hora. Estación instalada en la Finca La Loma en Jódar (Jaén).

Entre las diferentes expresiones de cálculo, en el Valle del Guadalquivir y para la programación de riegos en olivar, la de **Hargreaves** (Hargreaves y Samani, 1985; Hargreaves, 1994) predice con suficiente aproximación los valores de **ET_o**:

$$ET_o = 0,0023 \times Ra \times (T_m + 17,8) \times (T_{mx} - T_{min})^{1/2}$$

donde **ET_o** es la evapotranspiración de referencia en mm/día; **T_{mx}**, **T_{min}** y **T_m** son las temperaturas medias (°C) de las máximas, las mínimas y las medias durante el período considerado, **Ra** es la radiación extraterrestre, expresada en mm/día, parámetro que para los distintos días, meses y latitudes, está tabulado.

LATITUD Ra (mm/día)	MES											
	E	F	M	A	My	Jn	Jl	A	S	O	N	D
32° N	8,3	10,2	12,8	15,0	16,5	17,0	16,8	15,6	13,6	11,2	9,0	7,8
36° N	7,4	9,4	12,1	14,7	16,4	17,2	16,7	15,4	13,1	10,6	8,0	6,6
40° N	6,4	8,6	11,4	14,3	16,4	17,3	16,7	15,2	12,5	9,6	7,0	5,7
44° N	5,3	7,6	10,6	13,7	16,1	17,2	16,6	14,7	11,9	8,7	6,0	4,7



Esta expresión puede ser interesante en determinadas zonas, especialmente cuando sólo se dispone de datos diarios de temperatura máximas y mínimas y siempre que se empleen para realizar estimaciones medias decenales y quincenales de la ETo.

Este método de cálculo es considerado como un método semiempírico dado que la temperatura media del aire en combinación con la radiación extraterrestre es un indicador de la radiación global entrante, y la diferencia entre la temperatura máxima y mínima está relacionada con la humedad relativa del aire y la nubosidad.

Solamente en días con alta humedad relativa y en zonas con vientos dominantes no es recomendable su empleo. Tampoco en zonas próximas al mar. En estos casos **Penman-FAO** y especialmente **Penman-Monteith** proporcionan las mejores estimaciones, considerándose esta última como referencia para la calibración local de otras expresiones según recomendaciones de la FAO. Recientemente se han realizado la recalibración de la expresión de **Hargreaves** para zonas de influencia marina, recomendando la modificación del coeficiente 0,0023 de la mencionada expresión, utilizando en este caso 0,0029. (Vanderlinden y col., 1999)



Foto 2.2 Los datos climatológicos almacenados en la estación meteorológica automática son extraídos empleando una tarjeta de memoria para su posterior volcado al ordenador para su procesado.

Tabla 2.1

METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA ET_o UTILIZANDO LA EXPRESIÓN DE HARGREAVES CON LOS DATOS TERMOMÉTRICOS MEDIOS DE LA ESTACIÓN DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE SANTO TOMÉ (JAÉN).

MES	T _{máx} °C	T _{min} °C	T _{med} °C	Ra (1) mm/día	ET _o mm/día	ET _o mm/mes
E	10,9	3,7	7,30	6,9	1,07	33
F	13,3	4,5	8,90	9	1,64	46
M	17,9	5,6	11,75	11,8	2,81	87
A	20,3	8,6	14,45	14,5	3,68	110
My	25,8	13,4	19,60	16,4	4,97	154
Jn	30,1	18,6	24,35	17,2	5,65	170
Jl	35,5	20,6	28,05	16,7	6,80	211
Ag	34,1	20,3	27,20	15,3	5,88	182
S	28,6	17	22,80	12,8	4,07	122
O	22,2	11,6	16,90	10	2,60	81
N	14,8	6,4	10,60	7,5	1,42	43
D	11,3	4	7,65	6,1	0,96	30
AÑO						1.269

(1) Valores mensuales tabulados (Doorenbos y Pruitt, 1977)

El **coeficiente de cultivo (kc)** debe ser obtenido experimentalmente para cada cultivo. En este caso aplicamos los coeficientes mensuales propuestos por el Reglamento Específico de Producción Integrada del Olivar, obtenidos en base a trabajos experimentales en campo (Orgaz y Fereres, 2001).

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

En el caso de olivares que no llegan a cubrir el 50% de la superficie del terreno, la inmensa mayoría de los casos, en la expresión [1] se ha introducido el **coeficiente reductor (kr)** que puede ser estimado en función de la superficie del suelo cubierta (**Sc**) por la copa de plantación:

$$K_r = 2 \times S_c / 100$$

En donde **Sc** es el porcentaje de suelo sombreado por la copa de los árboles y se calcula en función del diámetro medio de la copa del olivo de la plantación a regar **D** (en metros) y la densidad de plantación **N** (olivos/ha).



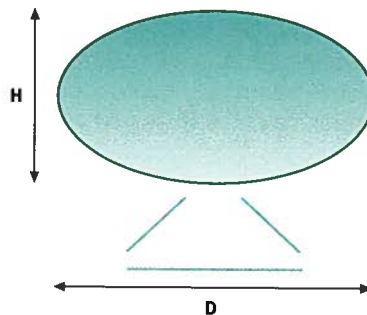
2. Programación de riegos en olivar y su aplicación a la comarca de La Loma

$$Sc = \pi D^2 N / 4$$

Además de **N** y **D** una plantación queda definida por su volumen de copa:

$$V \text{ (m}^3\text{/ha)} = v \text{ (m}^3\text{/olivo)} \times N \text{ (árboles/ha)}$$

$$v = \pi/6 D^2 H$$



Se define como **índice de forma (IF)** a la relación entre el diámetro de la copa y su altura

$$IF = D/H \quad 0,9 < IF < 1,3$$

En plantaciones adultas este índice de forma varía con la densidad de plantación, adoptando los siguientes valores (Pastor y col., 1998).

N > 100	IF = 1,3
100 < N < 200.....	IF = 1,25
N > 200	IF = 1,15

Realizando elementales cálculos matemáticos el valor de **Kr** viene dado por:

$$Kr = 0,000242 \times (IF^2 \times V^2 \times N)^{1/3} \quad [2] \quad (\text{para valores } Sc < 50\%)$$

Cuando **Sc** supera el 50% se utiliza siempre **Kr = 1**.

La ETC del olivar depende fundamentalmente del **marco de plantación**, de la **práctica de poda**, que limita o permite aumentar el volumen de copa de los olivos, y la **historia previa del olivar**. Así, en un olivar de 200 árboles/ha bien regados y poco podados, el **kr** podría llegar a alcanzar el valor 1; mientras que en olivares tradicionales de 60-80 árboles/ha, en condiciones de secano, el **kr** puede ser inferior a 0,5. Si este olivar es puesto en riego, su volumen de copa aumenta y con él el **kr**, no estabilizándose hasta varios años después de la puesta en riego, lo que debe ser tenido en cuenta a la hora de diseñar el sistema de riego, de modo que éste pueda abastecer al olivar cuando éste alcance el óptimo desarrollo.

En la zona en que hemos trabajado podemos considerar el **Kr** de los olivares adultos tradicionales con valores de 0,4 a 0,5 en condiciones de secano, que podría aumentar hasta valores típicos de 0,65 a 0,7 tras varios años de riego, cuando su tamaño y su producción se han adaptado al nuevo ambiente productivo. En estas condiciones su producción aún queda lejos de la que se conseguiría con un olivar intensivo, y es importante no reducirla practicando podas severas típicas de condiciones de secano.

Para calcular el coeficiente reductor **Kr** para olivares de cobertura incompleta, tal como hemos calculado anteriormente en la expresión [2] para diferentes densidades (100, 200, 300 olivos/ha) y volúmenes de copa comprendidos entre 5.000-11.000 m³/ha y empleando los correspondientes **IF**, los **Kr** resultantes serían los presentados en la **Tabla 2.2**.

Tabla 2.2

VALORES DEL COEFICIENTE REDUCTOR KR, EN FUNCIÓN DEL VOLUMEN DE COPA POR HECTÁREA, DE LA DENSIDAD DE PLANTACIÓN Y DEL ÍNDICE DE FORMA DE LOS OLIVOS:

N (olivos/ha)	V (m ³ /ha)	IF	Kr
100	5.000	1,3	0,391
100	6.000	1,3	0,442
100	7.000	1,3	0,490
100	8.000	1,3	0,535
100	9.000	1,3	0,579
100	10.000	1,3	0,621
100	11.000	1,3	0,662
200	5.000	1,15	0,493
200	6.000	1,15	0,513
200	7.000	1,15	0,568
200	8.000	1,15	0,621
200	9.000	1,15	0,672
200	10.000	1,15	0,721
200	11.000	1,15	0,768
300	5.000	1,15	0,520
300	6.000	1,15	0,587
300	7.000	1,15	0,651
300	8.000	1,15	0,711
300	9.000	1,15	0,769
300	10.000	1,15	0,825
300	11.000	1,15	0,880

Como vemos los **Kr** están comprendidos entre 0,39 en olivares tradicionales con pequeño volumen de copa y 0,88 en el caso de olivar intensivo con un gran volumen de copa.



2.1.2. LA PROGRAMACIÓN DE RIEGOS

El objetivo del riego consiste en evitar que el contenido de agua del suelo alcance un nivel umbral por debajo del cual el cultivo sufre déficit hídrico, por lo que la producción se reduciría. Las técnicas de programación de riego permiten calcular **cuándo regar y qué dosis aplicar para alcanzar este objetivo**.

El método FAO de **balance de agua** es el método más extendido para programar riegos, como se ha dicho anteriormente, y consiste en calcular las variaciones en el contenido de agua en el suelo como la diferencia entre las entradas y las salidas de agua del sistema (parcela). La ecuación del balance de agua en el suelo se puede escribir como:

$$AS_t = AS_{t-1} + RN + PE - ET_c$$

AS es el contenido de agua del suelo (mm) al inicio (t-1) y final (t) del período de tiempo considerado, que puede oscilar entre 1 día y un mes; **RN**, **PE** y **ET_c** son, respectivamente, las cantidades de *riego neto*, *precipitación efectiva* y *evapotranspiración máxima del cultivo* durante ese período.

Para programar el riego resulta conveniente expresar el contenido de agua del suelo en términos de déficit de agua en el suelo (DAS) o cantidad de agua que le falta al suelo para estar lleno. Luego:

$$DAS_t = DAS_{t-1} + ET_c - RN - PE$$

donde **DAS_{t-1}** y **DAS_t** son el déficit de agua en el suelo (en mm) al inicio y al final del período considerado. El cálculo del **DAS** mediante esta expresión permite programar los riegos adoptando como regla de decisión que el DAS ha de ser siempre inferior a un valor umbral, denominado **déficit permisible (DASP)**, de modo que la producción no se vea afectada por el déficit hídrico.

El **DASP** depende de las características hidrofísicas del suelo que, a su vez, son función de la **textura** y de la **profundidad** de suelo explorado por las raíces. A efectos de programación de riegos, el suelo se considera como un depósito de agua con un nivel superior, denominado **capacidad de campo (CC)**, y otro inferior, **punto de marchitamiento permanente (PMP)**, cuya diferencia determina el agua disponible para el cultivo. El concepto de **CC** hace referencia al contenido de agua en el que se estabiliza un suelo cuando cesa el drenaje libre tras ser saturado, lo que suele ocurrir en 3-5 días después de la lluvia o del riego, para la capa superior del suelo. Cuando un suelo está a **CC** se considera que está lleno de agua y por tanto, que el DAS es cero. El **PMP** corresponde al contenido de agua en el suelo para el que se produce marchitez irreversible en el cultivo y por debajo del cual este no puede extraer más agua. En el caso del olivo, y en condiciones de secano, este PMP suele descender por debajo de los valores genéricos de referencia.

El **agua disponible (AD)** para el cultivo se obtiene por diferencia entre CC y PMP mediante la expresión

$$AD = (CC - PMP) \times z$$

AD en mm, **CC** y **PMP** expresado como humedad volumétrica (cm^3/cm^3) y **z** es la profundidad del sistema radical expresada en mm.

Tabla 2.3

VALORES MEDIOS DE PMP Y CC DE SUELOS DE DISTINTAS TEXTURAS (ORGAZ Y FERERES, 2001):

TEXTURA	PMP cm^3/cm^3	CC cm^3/cm^3
Arenoso	0,07	0,15
Franco arenoso	0,09	0,21
Franco	0,14	0,31
Franco arcilloso	0,17	0,36
Arcillo limoso	0,20	0,40
Arcilloso	0,21	0,44

Teniendo en cuenta que el análisis de suelo nos proporciona siempre datos de PMP y CC gravimétricos, expresados en contenido de agua sobre peso de suelo seco (%), para referirlos éstos a humedad volumétrica es necesario multiplicar por la **densidad aparente del suelo (Da)** expresada en gr/cm^3 , tal como se ha hecho ya en la tabla anterior, resultando la expresión:

$$AD = (CC - PMP) \times Da \times z$$

En la mayoría de las situaciones del olivar andaluz el agua de lluvia almacenada en el suelo durante el invierno puede cubrir una parte importante de las necesidades de agua del cultivo para máxima producción (50-60%), ya que los suelos son profundos y con una capacidad de retención relativamente alta. Por esta razón, es absolutamente necesario tener en cuenta este hecho en la programación del riego, en especial en una región como Andalucía en la que existe un marcado déficit hídrico (500-700 hm^3 para la cuenca).

Sin embargo, si consumiéramos el agua del perfil de suelo en su totalidad acabaríamos por causar estrés hídrico al cultivo, por lo que no llegaríamos a obtener la máxima productividad potencial. Por esta razón hay que definir el nivel umbral de agotamiento del perfil, que permite que no se llegue a producir una reducción de la transpiración del cultivo. Este nivel umbral es lo que se denomina **nivel de agotamiento permisible (NAP)**. En función de ello, el déficit de agua permisible en el suelo puede obtenerse utilizando la expresión:

$$DASP \text{ (reserva)} = NAP \times (CC - PMP) \times Da \times z$$



2. Programación de riegos en olivar y su aplicación a la comarca de La Loma

En el olivo podría agotarse hasta un 75% de la máxima cantidad de agua almacenable en el suelo sin que probablemente su producción se vea afectada (Pastor y Orgaz, 1994), debido a la naturaleza perenne del cultivo, al buen desarrollo de su sistema radical que explora la totalidad del suelo y a su **ETc** relativamente baja en comparación con otros cultivos. Por tanto, para programar los riegos del olivar para máxima producción se establecerá como criterio que el **déficit de agua del suelo** no supere el siguiente valor umbral:

$$\text{DASP} = 0,75 \times (\text{CC} - \text{PMP}) \times \text{Da} \times z$$

Así, para un suelo de textura franco-arcillosa y utilizando los valores medios de CC y PMP presentados en la **Tabla 2.3** y si consideramos un perfil de 1 m de profundidad, el déficit de agua en el suelo permisible sería:

$$\text{DASP} = 0,75 \times (0,36 - 0,17) \times 1000 = 142 \text{ mm}$$

En este suelo el riego del olivar partiendo de un perfil totalmente lleno se programará, como hemos dicho anteriormente, de manera que el déficit de agua en el suelo nunca supere el valor de 142 mm.

Luego las necesidades de riego vendrían dadas por la expresión:

$$\text{Riego} = \text{ETc} - \text{Reserva} - \text{PE}$$

siendo **PE** la **precipitación efectiva**.

El agua de lluvia se pierde por escorrentía o por drenaje profundo, y solamente una fracción de la misma, denominada **precipitación efectiva**, queda almacenada en el suelo a disposición del cultivo. La PE es función de la intensidad de la lluvia y de las características del suelo que afectan a la velocidad de infiltración. La mayor parte de los métodos propuestos para su estimación son poco exactos por lo que a efectos de cálculo, en programación de riegos, proponemos que la PE puede estimarse como una fracción de la precipitación total. Esta fracción que dependerá en cada caso del tipo de suelo, su pendiente, las prácticas de laboreo, la intensidad de lluvia y el estado previo de humedad del suelo, puede variar entre el 90% para un suelo arenoso, seco y labrado, si la lluvia es poco intensa, hasta menos del 50% en suelos arcillosos y húmedos en pendiente cuando la precipitación es intensa. Valores medios mensuales en torno al 70% parecen adecuados para la mayoría de nuestros ambientes (Orgaz y Fereres, 2001).

$$\text{PE} = 0,7 \times \text{P}$$

Se despreciarán las lluvias de escasa cuantía que se producen en los meses de verano, las cuales se pierden por evaporación directa antes de que el cultivo pueda utilizarlas.

2.1.3. PROGRAMACIÓN DE RIEGOS DE ALTA FRECUENCIA EN INSTALACIONES DE GOTEO

El riego por goteo es muy eficaz porque con un coste similar de instalación al de otros sistemas, tiene una mayor eficiencia potencial. Dada su elevada frecuencia de riegos, normalmente riego diario o semanal, podría ignorarse el papel del suelo como almacén de agua, si se dispusiera de abundante cantidad de agua y esta tuviese muy bajo precio. En este caso el contenido de agua en el suelo no variaría con el tiempo, por lo que la cantidad de agua a aportar (**riego neto**) vendría dada por la expresión:

$$\text{Riego Neto} = \text{ETc} - \text{PE}$$

A partir de ella se puede ir calculando las necesidades de riego diarias para los distintos periodos del año a partir de datos climáticos medios (calendarios fijos de riego) o de estimaciones actualizadas de **ETc** y de **PE** (calendarios de riego a tiempo real).

Una primera estrategia de programación de riego por goteo consiste en aplicar una cantidad de agua equivalente a la diferencia **ETc - PE** durante todos los meses deficitarios. Esta estrategia ignora la reserva de agua almacenada en los suelos durante los meses excedentarios de agua, por lo que el suelo estaría, teóricamente, siempre lleno de agua. Presenta la ventaja de que este **colchón** de agua (la **reserva**) puede absorber la infraestimación que en la **ETc - PE** se produce en los años secos. Sin embargo, presenta el inconveniente de que se desperdiciaría agua al quedar lleno el perfil al final del periodo de riego, por lo que el agua de lluvia iría a escorrentía o drenaje, y la necesidad sería muy elevada (unos 74 mm/mes durante el mes de julio para un olivar de 100 árboles/ha y 10.000 m³/ha de volumen de copa lo que equivale a un caudal ficticio continuo de 0,44 l/seg/ha).

Una segunda estrategia consistiría en regar, deficitariamente, durante los meses de máxima demanda, de manera que este déficit sea compensado por el árbol mediante la extracción del agua de la **reserva** del suelo. Puesto que la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo puede ser elevada, podría programarse el consumo de dicha reserva en los meses más deficitarios, siempre que no se supere el déficit permisible (**DASP**), que en el mencionado ejemplo sería de:

$$\text{DASP} = 0,75 \times (0,36 - 0,17) \times 1000 = 142 \text{ mm.}$$

La ventaja estriba en que las dosis mensuales de riego serían más o menos constantes durante los meses de verano, lo que facilita el manejo de riego y el caudal punta se vería bastante reducido (25 mm/mes, equivalente a un caudal ficticio continuo de 0,14 l/seg/ha para el mencionado tipo de olivar).

Con este tipo de estrategia, sin embargo, se corre el riesgo de que el cultivo sufra déficit hídrico, y por tanto se reduzca su producción en los años secos o cuando se produzcan averías en las instalaciones. La estrategia óptima dependerá de la disponibilidad de agua para riego e, idealmente, debería ser ajustada a las condiciones



ambientales de cada año particular. Habrá que prestar especial atención al caso de inviernos secos en los que los riegos deberán comenzar antes, para evitar así que el cultivo sufra déficit hídrico en las fases de diferenciación floral y floración.

Es importante destacar que la variabilidad en las condiciones climáticas (demanda evaporativa y precipitación), de suelo y de cultivo, es muy elevada entre las distintas zonas productoras. Sin embargo, para una determinada zona, la **variabilidad estacional interanual de ETo** es relativamente baja, siendo la **pluviometría** el dato que ofrece **mayor incertidumbre a la hora de programar el riego**.

Hay que tener en cuenta además que si en lugar de tratarse de un olivar de marco tradicional se tratase de uno intensivo, sus necesidades estacionales de riego serían bastantes superiores para las mismas condiciones de clima y suelo, en función del volumen de copa y la densidad de plantación empleada.

2.2. APLICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DE RIEGOS A LA COMARCA DE LA LOMA PARA EL AÑO MEDIO

Una vez presentados los fundamentos de la programación del riego en el caso del cultivo del olivar, así como las prácticas de manejo de las plantaciones que permitan optimizar el uso del agua y obtener la máxima rentabilidad del cultivo, vamos a aplicarlos al caso concreto de la Comarca de La Loma, comarca en la que la olivicultura de regadío es ya predominante, con una superficie alrededor de 49.000 ha (CAP, 2000).



Foto 2.3 Panorama olivarero en la Comarca de La Loma. Olivar tradicional de la C. Regantes de Relámpago en donde se aplican los programas de riego que asesora el Servicio de Asesoramiento a Regantes. Consejería de Agricultura-Caja Rural Jaén.

Esta comarca está situada en el centro de la provincia de Jaén, entre los ríos Guadalquivir y Guadalimar, con alturas sobre el nivel del mar entre 360 y 900 m, y abarca los municipios de Villanueva del Arzobispo, Villacarrillo, Iznatoraf, Torreperogil, Sabiote, Santo Tomé, Ubeda, Baeza, Ibros, Lupión, Bejjar, Torreblascopedro, Rus y Canena.



Foto 2.4 Olivar en colinas, típico de la Comarca de La Loma, en Torreperogil.

2.2.1. EVALUACIÓN DE LA ETo

En la **Tabla 2.4** presentamos valores medios mensuales y anuales de la evapotranspiración de referencia (**ETo**) para diferentes localidades de la comarca de La Loma. Para el cálculo se ha empleado la expresión de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985), utilizando los datos climáticos medios recopilados por Elias y Ruiz (1977) y MAPA (1989).

Tabla 2.4

VALORES MEDIOS MENSUALES Y ANUALES DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA PARA DIVERSAS LOCALIDADES DE LA COMARCA DE LA LOMA
(Para el cálculo se ha utilizado la expresión de Hargreaves)

E_{To} mm/día	CANENA	UBEDA	BAEZA	VILLA- CARRILLO	VVA. ARZOBISPO	STO. TOMÉ	MEDIA
ENERO	1,19	1,16	1,04	0,86	1,18	1,07	1,08
FEBRERO	1,71	1,75	1,46	1,39	1,69	1,64	1,61
MARZO	2,84	2,76	2,13	2,29	2,75	2,81	2,60
ABRIL	3,80	3,84	3,07	3,50	3,58	3,68	3,58
MAYO	4,77	4,87	4,28	4,89	5,02	4,97	4,80
JUNIO	6,03	5,40	5,41	5,73	5,90	5,65	5,69
JULIO	6,68	6,02	5,98	6,29	6,72	6,80	6,42
AGOSTO	6,13	5,46	5,42	5,23	6,12	5,88	5,70
SEPTBRE	4,40	3,85	3,87	3,83	4,36	4,07	4,06
OCTUBRE	2,52	2,31	2,40	2,28	2,72	2,60	2,47
NOVBRE	1,53	1,30	1,30	1,18	1,30	1,42	1,34
DCBRE	1,16	0,92	0,94	0,79	0,98	0,96	0,96
TOTAL	1.305	1.209	1.139	1.168	1.291	1.269	1.230

Los valores medios de **E_{To}** varían entre 1.139 mm/año para la localidad de Baeza y 1.305 mm en Canena, caracterizándose por una escasa variabilidad interanual de los valores mensuales.

2.2.2. PLUVIOMETRÍA MEDIA DE LA COMARCA

La **Tabla 2.5** muestra valores medios de precipitaciones mensuales en diferentes localidades de la comarca, presentando valores de 12 observatorios pluviométricos.

Tabla 2.5

PLUVIOMETRÍA MEDIA ANUAL Y MENSUAL EN DIFERENTES LOCALIDADES DE LA COMARCA DE LA LOMA

P mm/mes	CANENA	UBEDA	BAEZA	VILLACARRILLO	V. ARZOBISPO	STO. TOMÉ
ENERO	66,60	70,10	64,60	68,60	87,00	51,70
FEBRERO	80,90	73,10	81,20	73,70	93,90	52,60
MARZO	68,90	71,30	83,30	68,30	91,30	59,20
ABRIL	51,20	56,20	74,00	59,00	70,70	46,50
MAYO	40,80	53,80	67,00	52,00	54,90	43,60
JUNIO	19,30	22,80	27,20	25,20	29,50	19,10
JULIO	3,30	3,10	3,80	5,90	4,00	4,90
AGOSTO	4,80	8,50	5,30	8,40	7,50	5,40
SEPTBRE	23,60	23,60	24,10	23,70	31,80	23,00
OCTUBRE	60,60	62,20	69,40	52,90	63,90	51,10
NOVBRE	50,90	59,40	66,30	47,20	71,10	47,30
DCBRE	79,80	82,60	68,60	66,60	94,30	65,90
TOTAL ANUAL	551	587	635	552	700	470

P mm/mes	EL MÁRMOL	IZNATORAF	RUS	SABIOTE	TORREPEROG	TORREBLASC
ENERO	69,9	96	57	76	73	57
FEBRERO	74	92	52	79	72	60
MARZO	80	89	61	82	80	57
ABRIL	60	64	50	61	57	45
MAYO	51,2	62	41	46	49	39
JUNIO	18,8	29	16	25	26	19
JULIO	2,2	4	1	3	5	4
AGOSTO	5,4	8	3	6	10	4
SEPTBRE	26,1	32	29	23	26	24
OCTUBRE	66,2	67	57	60	55	52
NOVBRE	64,4	77	49	61	57	50
DCBRE	80,4	102	70	86	86	60
TOTAL ANUAL	599	722	486	608	596	471



Como vemos el reparto de la pluviometría media es relativamente irregular, con valores mínimos de 470 mm en las localidades de Torreblascopedro y Santo Tomé, y máximos en Villanueva del Arzobispo e Iznatoraf, que superan los 700 mm. Los meses de julio y agosto son los de menores precipitaciones, seguidos por junio y septiembre, lo que califica claramente la sequía estival, típica de los entornos mediterráneos, lo que contrasta con la máxima **ET_o** registrada en estos meses. Por el contrario, la máxima pluviosidad presenta máximos correspondientes a los bimestres febrero-marzo y noviembre-diciembre, épocas con una baja **ET_o**. En esta comarca la pluviometría está muy relacionada con la localización geográfica, habiendo ajustado ecuaciones de correlación múltiples correspondientes a cada uno de los meses del año, función de la longitud y latitud geográficas, así como de la altura sobre el nivel del mar (Marañés, 1997). En función de dichos ajustes se puede afirmar que la pluviometría media desciende a medida que nos desplazamos desde el este al oeste, así como cuando descendemos en altura, acercándonos al río Guadalquivir.

2.2.3. CÁLCULO DE LA RESERVA DE AGUA DISPONIBLE EN EL SUELO

2.2.3.1. Capacidad de campo y punto de marchitamiento

Para el cálculo de los parámetros que determinan el valor de la reserva de agua en el suelo para la comarca, se han estudiado las relaciones existentes entre distintos parámetros ligados al contenido de agua que puede ser retenida por los diferentes suelos. La fracción de partículas con tamaño inferior a 0,02 mm, **limo fino + arcilla (LFA)**, es el parámetro que mejor explica los valores de CC y PMP observados. Las ecuaciones siguientes:

$$CC = 3,10 \times LFA^{0,54}$$

$$PMP = 0,60 \times LFA^{0,79}$$

permiten calcular **CC** y **PMP** en función del valor de la fracción LFA (%), valor que nos proporcionará el correspondiente análisis de suelo, que siempre se debería realizar en las parcelas a regar.

2.2.3.2. Densidad aparente del suelo

La densidad aparente (**Da**) es la razón existente entre la masa de suelo seco y el volumen de dicho suelo en su estado natural, es decir, considerando el volumen que ocupan las partículas sólidas y los poros. Empleando datos correspondientes a los suelos de la comarca de la Loma, el valor de **Da** viene definido por la expresión:

$$Da \text{ (g/cm}^3\text{)} = 1,5868 - 0,0026 \text{ LFA (\%)}$$

2.2.3.3. Cálculo de la máxima reserva de agua en el suelo

Para el cálculo de la máxima capacidad de almacenamiento de agua en el suelo en el caso de la comarca de La Loma aplicamos la metodología presentada en apartados anteriores utilizando la expresión:

$$\text{Reserva} = \text{NAP} \times \text{AU} \times \text{Da} \times z / 10$$

en la que: LFA = Limo fino + arcilla (%); CC = capacidad de campo (%); PMP = punto marchitamiento permanente (%); Da = densidad aparente (g/cm^3); z = profundidad del suelo (mm); y AU (agua útil) = CC - PMP. Sustituyendo en ella los valores obtenidos experimentalmente para el conjunto de los suelos estudiados en la comarca, y en función del contenido medio de LFA de la muestra de suelo, la **reserva** podría estimarse empleando la expresión:

$$\text{Reserva} = 80,90 + 1,59 \text{ LFA} - 0,001 \text{ LFA}^2 \quad [3]$$

Debe entenderse que las cifras de agua almacenada en el suelo como **reserva máxima**, es en realidad la cantidad máxima que puede almacenar el suelo en un año de adecuada pluviometría. Si la pluviometría fuese superior a las mencionadas cifra se produciría escorrentía y/o drenaje, y la cantidad disponible por el cultivo para cubrir sus necesidades sería únicamente dicha reserva. Si la pluviometría fuese inferior, está claro que no llegaría a llenarse el perfil, por lo que el agua disponible para el cultivo, a efecto de la programación de riego sería inferior, y más adelante mostraremos como puede calcularse este valor.

2.2.4. CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO DEL OLIVO

Comenzaremos por recordar la expresión de cálculo de la **ETc**:

$$\text{ETc} = \text{ETo} \times \text{Kc} \times \text{Kr} \quad [1]$$

Los valores medios comarcales mensuales de **ETo** se muestran en la **Tabla 2.4**, media de seis estaciones meteorológicas, mientras que los valores mensuales de **Kc** y **Kr** para el olivar son los que se propusieron en el apartado 1 y que se expresan en la **Tabla 2.6**.

Utilizando los datos y el procedimiento de cálculo descritos, en la **Tabla 2.6** mostramos el desarrollo del cálculo mensual de la **ETc** para una plantación con N=200 olivos por hectárea, con un marco de plantación 7,07 x 7,07 m, y para un volumen de copa de $V = 10.000 \text{ m}^3/\text{ha}$. Para este olivar el valor del coeficiente reductor (Kr), utilizando la expresión [2], sería:

$$\text{Kr} = 0,000242 \times (1,25^2 \times 10.000^2 \times 200)^{1/3} = 0,72$$

Los valores sombreados de la **Tabla 2.6** son los datos de partida para la programación del riego de la plantación, densidad, diametro de copa y volumen de copa (N, D, V), datos climáticos de la parcela (ET_o y PE), para un valor de reserva máxima acumulable en el suelo, función de su profundidad y de la fracción limo fino + arcilla, calculados anteriormente que calculamos más adelante.

2.2.5. CÁLCULO DE LA RESERVA DE AGUA EN EL SUELO

El suelo se comporta como un gran depósito con una toma de agua casi en su fondo, depósito que vamos llenando con el agua de lluvia y/o riego. Este depósito tiene una capacidad máxima (capacidad de campo), rebosando por su parte más alta cuando le echamos más agua de su capacidad (drenaje profundo y/o escorrentía superficial), y del que cuando llega al desagüe o toma inferior (punto de marchitamiento) ya no se puede sacar más agua, aunque exista algo de agua en su fondo.

El contenido de agua que nuestro depósito almacena hasta rebosar constituye lo que se denomina **reserva** de agua en el suelo y constituye la fracción de lluvia que se infiltra y permanece en el perfil, y que no es consumida inmediatamente por el cultivo.

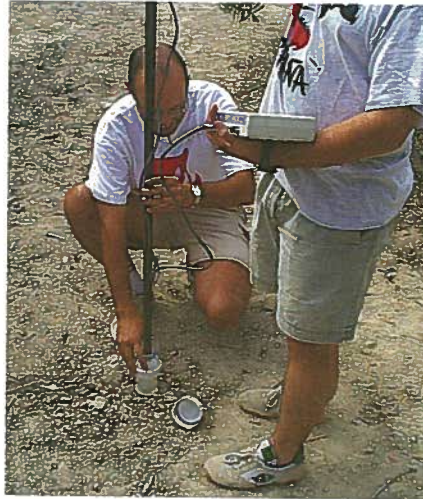


Foto 2.5 Mediante el empleo de sondas FDR con lectura automática, puede hacerse una buena estimación del contenido de agua en el suelo. El equipo dispone de un programa informática que permite el seguimiento de la evolución anual de la humedad del suelo a diferentes profundidades.



Foto 2.6 Monitor conectado al equipo mostrado en la FOTO 2.5, en el que puede verse en el campo la evolución del contenido de agua en el suelo.

La reserva de agua acumulada en el suelo durante el periodo de lluvias se calcula empleando la ecuación:

$$\text{Reserva mensual (mm)} = [\text{ETc (mm/día)} - \text{PE (mm/día)}] \times \text{n}^\circ \text{ días del mes}$$

Si la cantidad resultante de la anterior operación aritmética, ver **Tabla 2.6** en la correspondiente casilla mensual, es positiva ($ETc > PE$), se produce un consumo por el cultivo del agua almacenada en el perfil; pero si la cantidad resultante es negativa ($ETc < PE$), el perfil se recargaría, sin que pueda llegar a superarse una determinada cantidad, que hemos denominado **reserva máxima** (porque rebosaría el depósito) y que, como ya hemos dicho, depende de la fracción **limo fino + arcilla** y de la **profundidad** del suelo. A continuación vamos a proceder a calcularla.

Para ilustrar este cálculo resolveremos un ejemplo real. Consideramos un suelo con 1.000 mm de profundidad (z); fracción limo fino + arcilla de 85%, suelo muy representativo de la comarca de La Loma, al que correspondería una reserva máxima, aplicando la expresión [3] de:

$$\text{Reserva} = 80,9 + 1,59 \times 85 - 0,001 \times 85^2 = 145 \text{ mm}$$

Si volvemos de nuevo a la **Tabla 2.6** y calculamos mes a mes la reserva, realizando la sustracción $ETc - PE$, vemos como durante los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, al ser $ETc < PE$ se nos recargaría el perfil en **[$ETc - PE$] mm/día**, para cada mes considerado, por lo que multiplicando este valor por el número de días del mes obtenemos la reserva mensual almacenada en el suelo (columna **reserva acumulada** de la Tabla 6).

Si consideramos que a final del mes de septiembre del año anterior hemos dejado el suelo vacío de agua, y si vamos acumulando el agua sobrante mes a mes para ir llenando poco a poco el depósito durante el periodo octubre-marzo (**Figura 2.1**), vemos que la reserva media total acumulada ascendería el año de pluviometría media a:

$$3,21 + 20,61 + 44,23 + 36,78 + 35,37 + 11,35 = 151,53 \text{ mm}$$

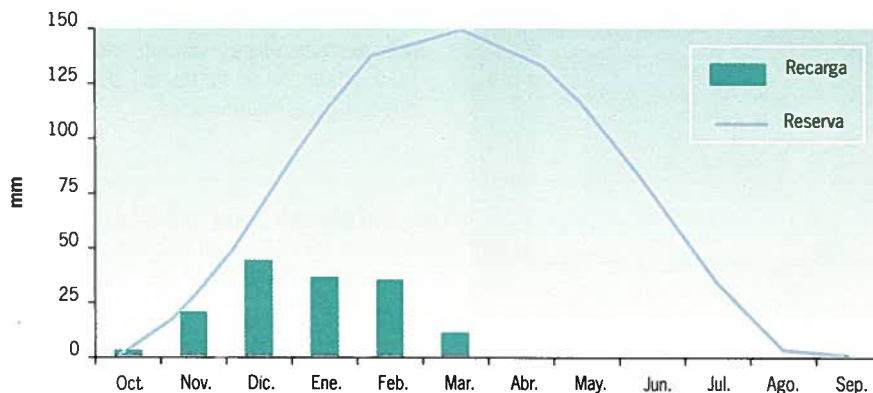


Figura 2.1 Agua que mensualmente se iría acumulando en el suelo (recarga), y evolución mensual de la reserva para el año medio en La Loma.



vemos que esta cifra es superior a la **reserva máxima** de 145 mm, que anteriormente calculamos, por lo que a efectos de programación del riego consideramos como reserva utilizable al comienzo de la temporada solamente la cantidad de 145 mm.

2.2.6. CÁLCULO DE LA DOSIS DE AGUA DE RIEGO

Una vez calculada la reserva de agua que podría llegar a almacenar el suelo, si la pluviometría fuera suficiente, y por las razones expuestas en el apartado 2.1.3. proponemos una programación de riego con agotamiento progresivo de la reserva a lo largo de la campaña, de modo que dejemos vacío el perfil a final del mes de septiembre. De este modo evitaremos tener que emplear grandes caudales de agua para satisfacer las necesidades diarias de los meses del verano, caudales de los que casi nunca se dispone, en especial cuando se emplean aguas reguladas de los ríos, ya que Confederación Hidrográfica del Guadalquivir en sus concesiones limita al caudal continuo a derivar.

Por esta razón proponemos realizar un programa medio medio de riego (**Tabla 2.6**) con el que trataremos de mantener durante la primavera la reserva del suelo a niveles próximos a capacidad de campo (**reserva máxima**), aportando cantidades de riego superiores a la necesidad teórica (meses de abril y mayo), manteniendo cifras parecidas de riego a lo largo del verano, de modo que **reserva + riego + PE** satisfagan la demanda máxima del cultivo, por lo que de este modo estaríamos en situación de obtener la máxima producción, permitiendo que el suelo se vaya vaciando lentamente (figura 1) de modo que a final del verano (fin de septiembre) se alcance el máximo nivel de agotamiento permisible, estando preparado para recibir y almacenar las lluvias otoñales.

Para el caso que hemos propuesto para ilustrar la metodología de cálculo (**Tabla 2.6**) la **necesidad anual de riego** asciende a la cantidad de 180 mm (= 1.800 m³ /ha) que junto con la **precipitación efectiva** de 384 mm cubre la demanda anual **ETc** de 563 mm.

Teniendo en cuenta que la precipitación media interanual efectiva (**PE**) de la comarca para el periodo **abril-septiembre** (Tabla 5) asciende a:

abril = 1,35 mm/día x 30días =	40,5 mm
mayo = 1,13 mm/día x 31 días =	35,0 mm
septiembre = 0,60 mm/día x 30 días =	18,0 mm
	93,5 mm

la necesidad anual media comarcal de riego R en este suelo y clima vendría dada por la expresión:

$$R \text{ (abril-septiembre)} = ETc - PE - Reserva = ETc - 93,5 - 145 = ETc - 238,5$$

Ello nos permite de un modo sencillo, reiterando estos cálculos para diferentes densidades de plantación, 100-200-300 olivos/ha, para diferentes volúmenes de copa 6.000-8.000-10.000 m³/ha, y para diferentes texturas del suelo (limo fino + arcilla), calcular las necesidades de riego para el año climatológico medio las necesidades anuales de agua para los diferentes hipótesis de cálculo, que se muestran en la **Tabla 2.7.**

Se pone de manifiesto la gran importancia de la textura del suelo sobre las dosis de riego requeridas anualmente por el olivar para una determinada pluviometría. Vemos como los suelos sueltos (limo fino + arcilla 20-30%) necesitan una mayor dotación anual de riego que los suelos arcillosos (limo fino + arcilla mayor que 70%) con independencia del marco de plantación utilizado y del volumen de copa de la plantación. Así, un olivar con una densidad de 100 árboles/ha y un volumen de copa de 10.000m³ necesitaría en el año medio:

Limo fino + arcilla (%)	Riego (m ³ /ha año)
20	1.300
40	1.100
70	953

Para dichas condiciones un olivar con una N= 300 árboles/ha necesitaría: 2.766, 2.568 y 2.421 m³/ha, cifras sustancialmente más altas que las requeridas por el olivar tradicional.

En el caso en que se dispusiera de una limitada cantidad anual total de agua para regar una determinada superficie de riego, y ésta resultase insuficiente para cubrir las necesidades totales con el actual volumen de copa de los árboles, esta metodología de cálculo permite recomendar una **poda severa** que reduzca el volumen de copa y con ello las necesidades de agua, creando un nuevo escenario productivo que permita el olivar vegetar sin déficit hídrico en ningún momento de su ciclo vegetativo lo que permite mejorar la **eficiencia del uso del agua de riego**, obteniendo así una mayor cosecha por metro cúbico de agua aplicada. Veámoslo con un ejemplo: un olivar con 200 olivos/ha y con un volumen de copa de **10.000 m³/ha** necesitaría en un año de pluviometría media:

Limo fino + arcilla (%)	Riego (m ³ /ha año)
20	2.161
40	1.963
70	1.816

Si realizamos una poda que reduzca el volumen de copa de 10.000 a 8.000 m³/ha, aplicando la metodología descrita podemos comprobar que las necesidades de agua de riego se reducirán a:

Limo fino + arcilla	Riego (m ³ /ha año)
20	1.583
40	1.385
70	1.238

por lo que la poda ha supuesto un ahorro de 578 m³/ha año, pudiéndose llegar así a cuantificar la intensidad de la poda que habría que realizar, en función del tipo de suelo y los recursos hídricos totales disponibles.

2.2.7. INTERACCIONES DE RIEGO CON OTRAS PRÁCTICAS DE CULTIVO

En el olivar el volumen de copa, el área foliar y la interceptación de radiación (capacidad productiva) dependerá del **marco de plantación** y de las **prácticas de poda**. En ausencia de factores limitantes (suministro de agua), la producción de biomasa (raíces, madera, ramas y hojas) y de fruto están directamente relacionadas con la radiación interceptada por la superficie verde del cultivo. Por lo tanto, la producción real se acercará tanto más a la potencial máxima cuanto mayor sea la fracción del suelo cubierta por la copa de los olivos.



Foto 2.6 La poda es un instrumento que bien manejado permite adaptar el volumen de copa de los olivos a las disponibilidades de agua. Un mal manejo de la poda, por el contrario, impide obtener una adecuada rentabilidad del agua aplicada.

Tradicionalmente, los marcos de plantación y las prácticas de poda han estado adaptadas a las condiciones de secano. La práctica habitual consiste en reducir tanto más el volumen de copa cuanto más limitante, en términos de disponibilidad de agua, es el ambiente (menor precipitación y/o suelos con menor capacidad de retención de agua). Esta estrategia se fundamenta teóricamente en que un volumen de copa excesivo para un ambiente determinado determina que el cultivo consuma rápidamente el agua del suelo, lo que incrementa el riesgo de déficit hídrico severo en fases posteriores, afectando a la retención de frutos y a su calidad (tamaño, rendimiento graso). Existe un **volumen óptimo de copa** que no debe superarse para cada ambiente productivo y que con el tiempo puede acabar siendo independiente de la densidad de plantación. Pero para el mismo volumen de copa por hectárea los olivares plantados con mayor densidad interceptan mucha más radiación. La mayor parte de los experimentos realizados hasta la fecha sugieren que la producción es mayor en el caso de densidades elevadas y podas ligeras, siempre que el agua no sea el factor limitante (Figura 2.2).

En cualquier caso, bajo condiciones de riego el agua no debe ser un factor limitante y la estrategia correcta consiste en interceptar la mayor parte de la radiación incidente desde fases tempranas de la vida de la plantación. En estas condiciones, las producciones máximas se obtienen con densidades de plantación elevadas, por encima de 300 árboles/ha y con poda poco severa dentro de un orden de magnitud (volumen de copa no superior a 12.000 m³/ha). Mientras que las producciones medias de los buenos olivares tradicionales de secano oscilan entre 2.000 y 4.000 Kg/ha según zonas, la producción de olivares bien regados que interceptan la mayor parte de la radiación incidente puede acercarse a los 10.000 Kg/ha y año para olivares intensivos dedicados a producir aceituna de molino, e incluso llegar a superar dicha cosecha.

Hay que señalar, sin embargo, que el manejo agronómico de estas plantaciones intensivas se ve dificultado e incluso limitado por la vegetación, y es necesario tecnificar el laboreo y la recolección. Es necesario prestar especial atención a la fertilización, que debe adecuarse al nivel de producción y sobre todo, al control de enfermedades foliares (repilo fundamentalmente) cuya virulencia puede intensificarse en condiciones de densidad foliar elevada, afectando muy negativamente a la producción del olivar.



Tabla 2.6

PROGRAMA ANUAL DE RIEGO PARA UN OLIVAR CON 200 OLIVOS/ha EN LA COMARCA DE LA LOMA, APLICANDO LA METODOLOGÍA F.A.O. DEL BALANCE DE AGUA EN EL SUELO, CON AGOTAMIENTO DE LA RESERVA HASTA UN NIVEL DE AGOTAMIENTO PERMISIBLE (NAP) DEL 75%

Datos de partida

Densidad (ol /ha) = 200
 Plantación 7,07 x 7,07 m 50 m²/olivo
 Volumen de copa 10.000 m³/ha

D = 4,79 m
 Reserva = 145 mm
 m²/olivo 50 Kr = 0,72

MES	ETo mm/día	Pef m/día	Kc	Kr	ETc mm/día	ETc-Pef mm/día	Reserva mm/mes	Reserva acumulada l/ol.día	Riego l/ol.día	Reserva disponible mm
E	1,08	1,58	0,5	0,72	0,39	-1,19	36,76	104,81	0	
F	1,61	1,84	0,5	0,72	0,58	-1,26	35,37	140,18	0	
M	2,60	1,68	0,7	0,72	1,31	-0,37	11,35	151,53	0	145,00
A	3,58	1,35	0,7	0,72	1,81	0,45			44	144,56
My	4,80	1,13	0,7	0,72	2,42	1,29			110	138,59
Jn	5,69	0,00	0,6	0,72	2,46	2,46			110	97,78
Jl	6,42	0,00	0,6	0,72	2,77	2,77			110	45,86
Ag	5,70	0,00	0,6	0,72	2,47	2,47			110	3,48
S	4,06	0,60	0,6	0,72	1,76	1,15			104	0,04
O	2,47	1,35	0,7	0,72	1,25	-0,10	3,21	3,21	0	3,25
N	1,34	1,36	0,7	0,72	0,68	-0,69	20,61	23,81		
D	0,96	1,77	0,5	0,72	0,35	-1,43	44,23	68,05		
AÑO	1.230,0	384			557				180	
Riego+Pef		563								

Tabla 2.7

NECESIDADES MEDIAS DE AGUA DE RIEGO (m³/ha) PARA DIFERENTES PLANTACIONES DE OLIVAR TIPO N= 100-200-300 OLIVOS/ha, V= 6.000 - 8.000 - 10.000 m³/ha Y SUELOS CON DIFERENTES FRACCIONES LIMO FINO+ARCILLA (LFA) 20 - 40 Y 70% EN LA COMARCA DE LA LOMA (JAÉN)

N olivos/ha	V m ³ /ha	Dosis anual de riego (m ³ /ha)		
		LFA=20 %	LFA=40 %	LFA=70 %
100	6.000	540	340	200
100	8.000	840	640	490
100	10.000	1.300	1.100	950
200	6.000	950	760	610
200	8.000	1.580	1.380	1.240
200	10.000	2.160	1.960	1.820
300	6.000	1.380	1.190	1.040
300	8.000	2.100	1.910	1.760
300	10.000	2.770	2.570	2.420

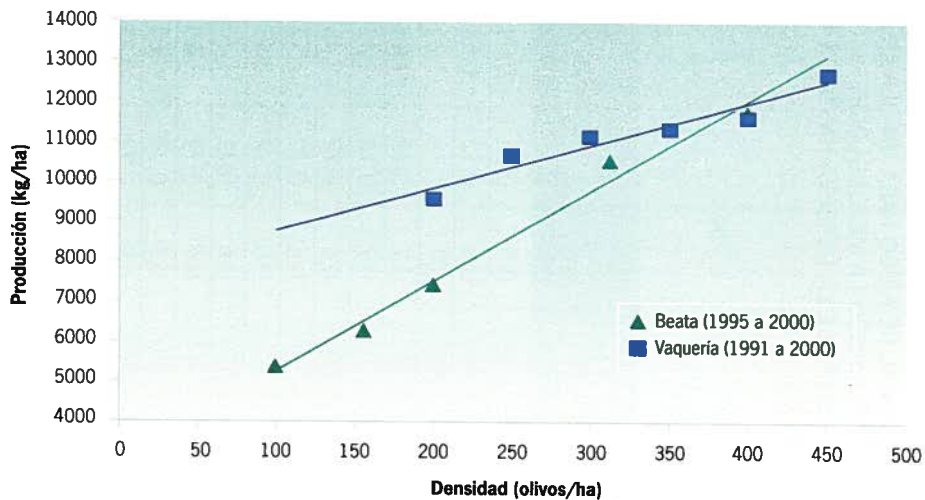


Figura 2.2 Producciones medias de olivar en función de la densidad de plantación en cultivo sin limitación de agua en las fincas Vaquería (Córdoba) y la Beata (Osuna - Sevilla)



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAP, 2000. Inventario y Caracterización de los Regadíos de Andalucía. Junta de Andalucía.
- DOORENBOS J., PRUITT W.O., 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio F.A.O.: Riego y Drenaje nº 24 Roma.
- ELÍAS, F., RUIZ, L., 1977. Agroclimatología de España. Cuaderno I.N.I.A. nº 7. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- FERERES, E., 1998. La evapotranspiración de los cultivos en el Valle del Guadalquivir. Impreso Instituto de Agricultura Sostenible. C.S.I.C. Córdoba.
- HARGREAVES, G.L., HARGREAVES, G.H., RILEY, J.P., 1985. Irrigation water Requirements for Senegal River Basin. ASCE J. Irrig. Drain. Engng., 111: 265-275.
- HARGREAVES, G.H., 1994. Defining and Using Reference Evapotranspiration . ASCE J. Irrig. Drain. Engng., 120: 1132-1139.
- MAPA, 1989. Caracterización Agroclimática de la Provincia de Jaén. Dirección General de la Producción Agraria. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid.
- MARAÑÉS CORBACHO, A., 1997. Suelos de Olivar de La Loma (Jaén). Tesis Doctoral. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada.
- ORGAZ, F., FERERES, E., 2001. Riego. En: Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L., eds. El Cultivo del olivo. Junta de Andalucía. Ed.Mundi-Prensa. Madrid. 4ª edición. 285-306.
- PASTOR, M., ORGAZ, F., VEGA, V., HIDALGO, J., CASTRO, J., 1998. Programación de Riego. En: CAP ed., Programación del Riego y de la Fertilización en Olivares de la Provincia de Jaén. Informaciones Técnicas 49/98. Servicio de Publicaciones de la Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- VANDERLINDEN, K., ROMERO, A., REINA, D., GIRÁLDEZ, J.V., 1999. Evaluación del método de Hargreaves en 16 estaciones completas de Andalucía. XVII Congreso Nacional de Riegos. Murcia. 92-99.



3

**ESTRATEGIAS DE
RIEGO DEFICITARIO
CONTROLADO
EN OLIVAR**

Joan Girona i Gomis (1)

(1) Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries - IRTA. Àrea de Tecnologia Frutícola. Centre UdL-IRTA, 25198 - Lleida.

3.1. INTRODUCCIÓN

El olivo, el almendro y el algarrobo son, probablemente, las especies arbóreas más características del litoral mediterráneo sin regadío. Tanto es así que se les ha llegado a caracterizar como especies que no toleran el riego. No obstante, la realidad es bien diferente y, aunque se trata de especies altamente resistentes a muchos tipos de estrés (el hídrico, el salino, el ambiental, excepto heladas, etc.), y que responden muy bien en condiciones de reducida disponibilidad hídrica, como todo vegetal tienen su máximo desarrollo vegetativo y productivo cuando se cultivan con un mínimo de estrés (en regadío en el caso que nos ocupa).

Aún cuando la mayor parte del olivar español y mediterráneo se encuentra en condiciones de no riego, el incremento, en los últimos años, de la superficie en regadío ha sido espectacular, debido básicamente a la mayor demanda y valorización del aceite de oliva, y a las expectativas de aumento y estabilización de la producción al poner al olivo en mejores condiciones.



Foto 3.1 Olivar con marco 8x4 m regado con riego deficitario en el término municipal de Ubeda en la provincia de Jaén. Volumen de copa 10.000 m³/ha.

Si analizáramos la cantidad de agua que requiere el olivo, basándonos en la información de la que se dispone en la actualidad, llegaríamos a la conclusión que la demanda total anual es superior a los 900 mm (9.000 m³/ha) (para una plantación adulta y un porcentaje de cobertura superior al 60%) y que las necesidades netas de riego pueden representar volúmenes superiores a los 500 mm/año (5.000 m³/ha y año) (Girona, 1995). Dado que en la mayoría de zonas españolas donde se riega el olivar, o se pretende regar, no se dispone de estas dotaciones, y que lo más habitual es disponer de recursos hídricos inferiores a las necesidades netas de riego, estudiar las estrategias de aplicación de agua en los momentos en que ésta pueda representar el máximo incremento productivo es de vital interés para este cultivo.

En la mayoría de las plantaciones actuales el marco de plantación es relativamente amplio (100 árboles/ha) y el porcentaje de cobertura bajo, lo que se traduce en una importante disminución de la demanda hídrica del cultivo, y unas necesidades netas de riego que podrían oscilar entre los 327 mm/año para plantaciones de Andalucía (Orgaz y Fereres, 1998) y los 152 mm/año para una plantación en Cataluña (Alegre et al., 2001). Es evidente que en estos casos pequeños aportes de agua de riego serían suficiente para cubrir la demanda hídrica, no obstante las plantaciones modernas se realizan a marcos más estrechos y con una cobertura mucho mayor, y además el riego del olivo de plantaciones ya establecidas hace que el volumen de copa sea considerablemente mayor al de secano. Lo que nos devuelve a la situación original de una demanda mayor a las disponibilidades de agua de riego.



Foto 3.2 Plantación superintensiva de 2 años de edad en Córdoba plantado con 2.000 olivos/ha. Alcanza ya un volumen de copa de 8.000 m³/ha.



En otros cultivos como el almendro (Girona y Marsal, 1995), melocotonero (Chalmers, et al., 1981; Girona et al., 2001), albaricoquero (Torrecillas et al., 2000) y cítricos (Gonzalez-Altozano y Castel, 1999; Domingo et al., 1996), entre otros, se ha observado que la aplicación de las estrategias de **riego deficitario controlado (RDC)** puede mejorar la producción, tanto cuando se dispone de la suficiente cantidad de agua de riego para cubrir las necesidades totales del cultivo, como cuando las disponibilidades de agua de riego son inferiores a la demanda del cultivo.

Con estos precedentes se iniciaron hace unos años toda una serie de trabajos sobre la respuesta del olivo a diferentes estrategias de **RDC**. En su desarrollo se involucraron básicamente grupos de I+D de Andalucía y Cataluña (en España) y de California (en EEUU), que de forma coordinada plantearon los trabajos experimentales y cuyos resultados son la base principal de este artículo.

3.2. RESPUESTA DEL OLIVO A DIFERENTES APORTACIONES DE AGUA DE RIEGO

Existen dos trabajos que ponen de manifiesto el amplio margen de respuesta positiva del olivo a aportaciones de agua de riego. El primero de ellos se realizó en la comarca de Les Garrigues (Lleida) con olivos adultos de más de 80 años de edad (cv "Arbequina") que se habían cultivado hasta el inicio del ensayo en condiciones de secano, y en los que durante 7 años se les aplicaron cuatro tratamientos, uno de secano y tres de riego. En los olivos sometidos a tratamientos de riego se aportaba agua de riego 8 veces al año, con una frecuencia quincenal y en cantidades de 60, 120 y 180 l/árbol en cada riego, según el tratamiento de que se tratase. Los resultados de este trabajo se reflejan en la **tabla 3.1** donde se pueda apreciar el efecto positivo de la aplicación de reducidas cantidades de agua al olivo.

Tabla 3.1

RESPUESTA PRODUCTIVA DE OLIVOS ADULTOS A APORTACIONES MUY LIMITADAS DE AGUA DE RIEGO

Tratamiento	Riego (mm/año)	Peso fruto (g)	Nº frutos árbol	Producción Aceituna (kg/ha)	Rdto. Aceite (%)	Producción Aceite (kg/ha)
T-0	0,0	0,874	1.863	1.628	18,51	301
T-60	7,5	1,018	2.480	2.525	19,97	504
T-120	12,5	1,178	2.094	2.467	24,67	507
T-180	18,5	1,257	2.322	2.919	22,48	656

Solé (1990)

En el polo opuesto se encuentra el trabajo realizado por Goldhamer y colaboradores, en California, en el que estudia la respuesta productiva del olivo para aceituna de mesa (cv "Manzanilla"), a las aportaciones de diferentes cantidades de agua como resultado de utilizar una parrilla coeficientes de cultivo (Kc), fijos en todo el ciclo anual, en la programación de los riegos. En este trabajo, que duró 3 años sobre olivos adultos y que previamente se habían cultivado en regadío, se observó un aumento muy considerable de la producción a medida que se aumentaba la cantidad de agua aplicada (**Tabla 3.2**), llegándose a determinar un máximo productivo al utilizar Kc próximos a 0,75.

Tabla 3.2

RESPUESTA PRODUCTIVA DE OLIVOS ADULTOS A LA UTILIZACIÓN DE DIFERENTES COEFICIENTES DE CULTIVO (Kc) EN LA PROGRAMACIÓN DE RIEGO

Tratamiento Kc	Riego (mm/año)	Peso fruto (g)	Nº frutos árbol	Producción Aceituna (kg/ha)	Valor del fruto (\$/kg)	Ingresos brutos (\$/ha)
0.16	232	2,79	15.700	10.500	0,328	3.450
0.26	338	2,91	17.800	12.400	0,300	3.700
0.36	424	2,12	25.800	13.100	0,317	4.170
0.46	599	2,20	29.300	15.400	0,316	4.860
0.55	729	2,22	33.000	17.500	0,442	7.740
0.65	838	3,05	27.000	19.700	0,555	10.900
0.75	945	3,27	28.000	21.900	0,615	13.500
0.85	1.016	3,23	28.600	22.100	0,558	12.400

Goldhamer et al. (1994)

Un análisis conjunto de los dos trabajos experimentales nos muestra una respuesta positiva del olivo a la aplicación de agua de riego, aún cuando las dos situaciones eran bien distintas por la cantidad de agua de riego aplicada (mm/año). Dado que la demanda evapotranspirativa de California y Lleida son considerablemente diferentes se han transformado los mm/año de riego del ensayo de Goldhamer en lo que se habría traducido la aplicación de estos Kc en las condiciones del valle del Ebro. Obsérvese en la **figura 3.1** el resultado de este análisis conjunto, donde básicamente se puede apreciar que el olivo es una especie que se adapta productivamente muy bien a los diferentes escenarios de disponibilidad hídrica en las que se encuentra, y que en cualquier situación un incremento en los aportes hídricos tiene un efecto positivo sobre la producción.



3. Estrategias de riego deficitario controlado en olivar

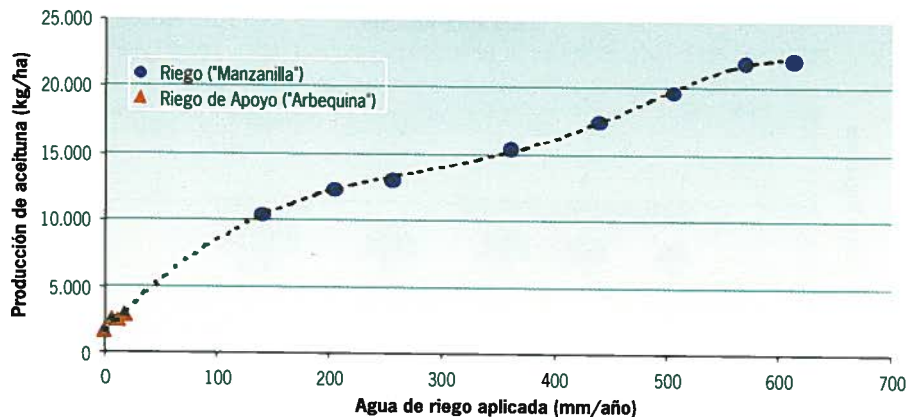


Figura 3.1 Pautas generales de la respuesta del olivo a las aportaciones de agua de riego (elaboración propia con datos de Solé (1990) y Goldhamer et al. (1994)).

3.3. CONSIDERACIONES PREVIAS AL ESTUDIO DE LA RESPUESTA DEL OLIVO A ESTRATEGIAS DE RDC

Como en todos los cultivos, antes de plantear cualquier estrategia de **RDC**, es imprescindible estudiar su ciclo anual, con el objetivo de detectar su sensibilidad estacional al déficit hídrico basándonos en los procesos que puedan acaecer en cada momento.

3.3.1. EL CICLO ANUAL DEL OLIVO

Desde el punto de vista del crecimiento vegetativo, el olivo tiene dos épocas de crecimiento, que son la fase de primavera y la fase de otoño (**Figura 3.2**), con una parada vegetativa en árboles adultos durante los meses de verano, debido a que por estas fechas el proceso que capitaliza la máxima atención del olivo es el crecimiento del fruto.

El ciclo de los **órganos fructíferos** empieza el año anterior, con la **inducción floral** coincidiendo con el crecimiento del fruto, seguido de la **iniciación floral** justo antes del **reposo invernal**. Después del reposo invernal, cuando las temperaturas lo permiten, se desarrollan las inflorescencias (crecimiento de los rakis) y seguidamente empieza el período de **floración y cuajado**. Una vez cuajado el fruto, este empieza a crecer, y en los primeros estadios de su crecimiento tiene lugar el **endurecimiento del hueso**, y posteriormente el crecimiento de la drupa y la acumulación de aceite en el fruto, terminándose el ciclo con la **maduración** de la aceituna.

Ciclo Anual del Olivo

Tous J. 1990
Rallo L. 1998

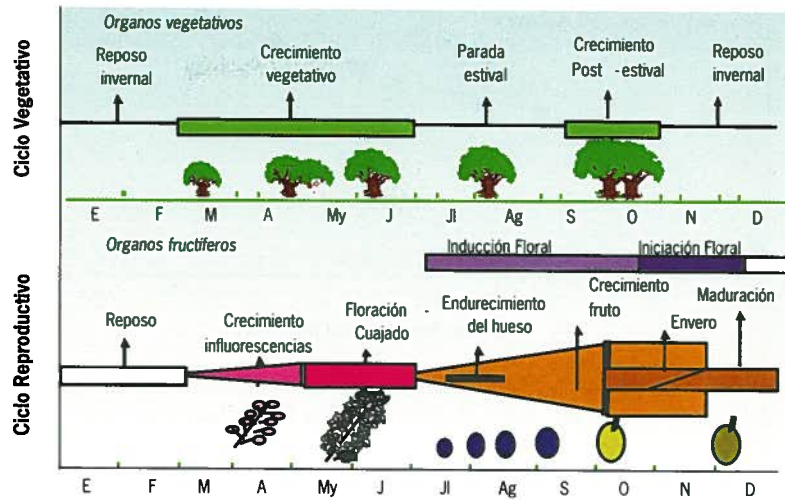


Figura 3.2 Ciclo anual del olivo. Evolución de los órganos vegetativos y fructíferos.

3.3.2. SENSIBILIDAD ESTACIONAL DEL OLIVO AL DÉFICIT HÍDRICO



Foto 3.3 Tubería con gotero integrado auto-compensante, material que probablemente acabará imponiéndose en el cultivo del olivar. Arriba un gotero instalado en una tubería transparente, que permite observar el dispositivo de regulación.

Durante las fases de crecimiento de las inflorescencias y la floración es **importante que no exista déficit hídrico**, tanto porque éste afectaría a la viabilidad de las flores, y en consecuencia al número de frutos (Spiegel, 1955), como porque en este mismo momento tiene lugar el crecimiento de las brotaciones que son importantes tanto para la masa foliar del año como para la producción del año siguiente (Samish y Spiegel, 1961).

Al inicio del crecimiento del fruto y durante las primeras fases del endurecimiento del hueso, se produce una primera caída fisiológica de frutos (Rallo y



Fernández-Escobar, 1985) (aquellos frutos procedentes de flores que no han estado correctamente fecundadas, o que la flor era de mala calidad, o aquellos frutos que el árbol no puede retener en función de sus reservas). Para prevenir esta caída, especialmente la relacionada con el nivel de reservas del árbol, es importante que el olivo llegue a este punto en el mejor estado posible (Spiegel, 1955).

A finales del crecimiento del fruto, justo al inicio del cambio de color y maduración, es un momento crítico donde el olivo aún es capaz de recuperar el crecimiento de los frutos y acumulación de aceite, especialmente cuando durante el verano ha habido una restricción de agua significativa (Millela y Dettori, 1987). En general es importante que en esta época exista un estado hídrico adecuado para que se puedan acumular reservas para el año siguiente (Speigel, 1955), y que se produzca antes de la entrada en los meses fríos donde el olivo es incapaz de trabajar porque si se enfría el suelo las raíces son incapaces de transportar agua (Pavel y Fereres, 1998), aunque el suelo este húmedo, lo que se traduce en una parada total del árbol.

En cualquier momento del ciclo anual se deben evitar déficits importantes durante largos períodos de tiempo, ya que para que el fruto crezca se precisa de importantes cantidades de asimilados. Para satisfacer esta demanda de asimilados no suelen ser suficientes las reservas del árbol y es necesario mantener las hojas con un mínimo de funcionalidad para que no se vea afectada de forma drástica la fotosíntesis (Tombesi y Proetti, 1984; Jorba et al., 1985). De lo contrario podría resentirse el crecimiento del fruto (Spiegel, 1955; Lavee et al., 1990).



Foto 3.4 Plantación de un año de edad, plantado al marco 7x3,5 m en Fuente Palmera (Córdoba). Cultivo en suelo alomado para evitar daños por encharcamiento, frecuente en años lluviosos en este tipo de suelos.

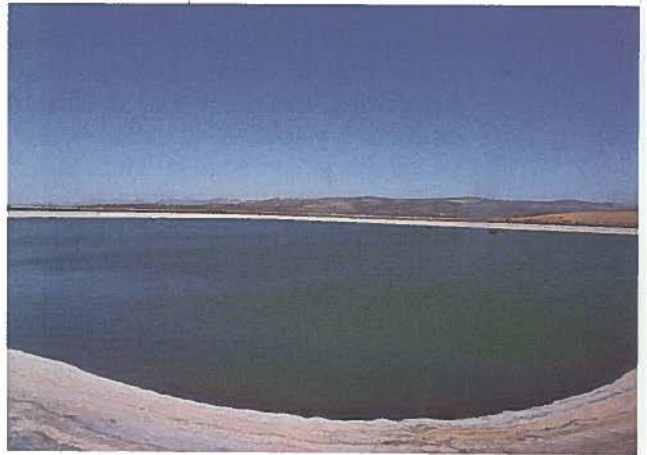


Foto 3.5 Balsa para almacenamiento de agua de 350.000 m³ de capacidad, que permite asegurar los riegos en los momentos de mayor sensibilidad al déficit hídrico.



3.3.3. PROPUESTA DE UNA ESTRATEGIA DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO

En base a estas consideraciones, vemos que probablemente el período menos sensible del olivo al déficit hídrico sea la fase de crecimiento del fruto, **desde una vez cuajado el mismo e iniciado el período de endurecimiento del hueso hasta justo antes del inicio del cambio de color.**

3.4. RESPUESTA DEL OLIVO A DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RDC

3.4.1. EN OLIVOS PROCEDENTES DE PLANTACIONES EN REGADÍO

Un primer trabajo que ilustra la bondad de las estrategias de **RDC** en olivo es el publicado por Goldhamer (1999), realizado en California (EEUU), en olivos adultos de la variedad "Manzanillo" durante los años 1994-1997. En este trabajo se comparó la respuesta productiva de tres estrategias de riego deficitario (RDC-1, RDC-2 y RDC-3) con olivos regados sin ninguna reducción de los aportes hídricos (Control).

Los tratamientos de RDC que se aplicaron se basaban en reducir el agua durante el período de crecimiento del fruto, tal como se describe en la **tabla 3.3.**

De acuerdo con el trabajo anterior de Goldhamer et al. (1994) una reducción de agua de las características del aplicado en aquel trabajo debería suponer una reducción en la producción superior al 30% en cualquiera de los casos estudiados. Los resultados de la **tabla 3.4** muestran que en los tratamientos de **RDC-1 y RDC-2** no existe ningún efecto negativo de la reducción de agua en verano en la variedad "Manzanillo", y tan solo en **RDC-3** se puede apreciar un ligero efecto (una reducción en producción del 10%), cuando se ha disminuido el aporte hídrico más de un 40%, y lo esperado para este caso según el estudio anterior de Goldhamer debería representar una reducción productiva de más del 60%.

Tabla 3.3

**DEFINICIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE RIEGO APLICADOS A OLIVOS PARA
ACEITUNA DE MESA EN CALIFORNIA**

Tratamiento de riego	Periodo de Riego Deficitario	Duración (días)	% de ETc aplicado	Agua aplicada (mm/año)
Control	—	—	100	770
RDC-1	1/2 Junio - Julio	42	50	645
RDC-2	Junio - 1/2 Agosto	70	50	579
RDC-3	1/2 Mayo - 1/2 Junio	28	50	432
	1/2 Junio - 1/2 Agosto	56	25	
	1/2 Agosto - Septiembre	28	50	

Goldhamer (1999)

Parece pues evidente que en esta variedad las estrategias de **RDC** pueden ser una alternativa viable, especialmente si las disponibilidades de agua no permiten un riego total.

Tabla 3.4

**EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DE RIEGO SOBRE LA PRODUCCIÓN Y SUS
COMPONENTES EN OLIVO PARA ACEITUNA DE MESA**

Tratamiento de riego	Riego (mm/año)	Peso fruto (g)	Nº frutos árbol	Producción Aceituna (kg/ha)	Valor del fruto (\$/kg)	Ingresos brutos (\$/ha)
Control	770	4,13 a	17.290	13.210 ab	0,127	6.640 b
RDC-1	645	4,24 ab	18.080	13.610 b	0,131	6.670 b
RDC-2	579	4,36 b	18.010	13.700 b	0,133	6.620 b
RDC-3	432	4,10 a	17.480	11.800 a	0,124	4.990 a

Goldhamer (1999)

3.4.2. EN OLIVOS PROCEDENTES DE PLANTACIONES EN SECANO

Un segundo ejemplo lo encontramos en los trabajos realizados en el IRTA y publicados por Alegre et al. (2001), en los que se estudia el efecto de la reducción del agua durante el verano en olivos centenarios de la variedad "Arbequina" en una plantación comercial que había sido cultivada en secano hasta un año antes del inicio del ensayo.

En este ensayo se plantearon cuatro tratamientos de riego, uno de ellos Control (el riego cubría la totalidad de la demanda hídrica de los olivos), y otros tres tratamientos de **RDC** que se basaban en la reducción del agua de riego aportada aplicando un 75% de la ETc (**RDC-75**), 50% de la ETc (**RDC-50**) y 25% de la ETc (**RDC-25**) durante el período de crecimiento del fruto, desde unas tres semanas después del cuajado del fruto (primeros de julio) hasta finales de septiembre (unos quince días antes del inicio del cambio de color). Fuera del período de restricción hídrica todos los tratamientos de **RDC** recibieron la misma cantidad de agua que el tratamiento Control.

Probablemente la principal causa por la que los olivos del tratamiento **RDC-25** presentaron una menor producción respecto a los demás (**Tabla 3.5**) fue el menor crecimiento de los árboles de este tratamiento, ya que el incremento del volumen de copa debido al riego fue claramente inferior al resto (**Tabla 3.6**). No obstante, se observa como es posible reducir el agua en verano (**RDC-75** y **RDC-50**) sin afectar negativamente la producción (**Tablas 3.5** y **3.6**).

Tabla 3.5

EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DE RIEGO SOBRE LOS COMPONENTES DE PRODUCCIÓN DEL OLIVO PARA PRODUCCIÓN DE ACEITE. (CV ARBEQUINA)

Tratamiento de riego	Riego (mm/año)	Peso fruto (g)	Nº frutos árbol	Producción Aceituna (kg/ha)	Rto. Graso (%)	Producción Aceite (kg/ha)
Control	152	1,24 a	58.100 ab	7.612 a	15,3 a	1.163 b
RDC-75	116	1,21 a	59.100 a	7.900 a	16,0 b	1.263 ab
RDC-50	99	1,20 ab	60.700 a	8.055 a	16,2 b	1.307 a
RDC-25	80	1,15 b	51.500 b	6.736 b	16,6 c	1.119 b

Alegre et al., (2001)

Tabla 3.6

EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DE RIEGO SOBRE EL INCREMENTO DEL VOLUMEN DE COPA (m³) DEL OLIVO. DATOS DE LA CAMPAÑA 1998

Tratamiento de riego	Inicial Abril	Pre-RDC Junio	Post-RDC Sept.	Final Enero	Incremento (%)
Control	31,4	39,8	42,0	42,0	34,2 a
RDC-75	30,6	38,5	37,8	41,3	35,4 a
RDC-50	34,4	41,1	41,7	45,2	31,6 ab
RDC-25	29,1	34,2	33,9	36,3	25,3 b

Girona et al., (2000)



Un aspecto importante a reseñar de este trabajo es que la producción de grasa de las aceitunas de todos los tratamientos de riego difería muy poco, aunque el rendimiento en molino (o laboratorio) fue diferente para cada tratamiento, y especialmente menor para los olivos del tratamiento Control debido a que **la extractibilidad del aceite fue menor en los frutos provenientes de los olivos más regados.**

3.4.3. APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS DE RDC EN OLIVOS JÓVENES

En una plantación comercial de "Arbequina" situada en la zona de "Les Garrigues" (Lleida), se planteó un trabajo experimental para determinar el efecto de diferentes estrategias de RDC sobre la productividad de los olivos. La plantación era reciente, 5 años de edad al inicio del ensayo, y se establecieron tratamientos de riego basados en estrategias de RDC que se ajustaban a la suposición de disponibilidad de diferentes volúmenes de agua para riego (**RDC-80, RDC-60, RDC-20 y RDC-10**) así como un tratamiento de riego total (**Control**) (Tabla 3.7).

Tabla 3.7

EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DE RIEGO SOBRE LOS COMPONENTES DE PRODUCCIÓN DE OLIVOS JÓVENES PARA PRODUCCIÓN DE ACEITE				
Tratamiento de riego	Riego (mm/año)	Peso fruto (g)	Número frutos árbol	Producción Aceituna (kg/ha)
Control	194	1,14	17.905	6.227
RDC-80	139	1,09	17.057	5.877
RDC-60	124	1,16	14.564	5.371
RDC-20	71	1,04	13.909	4.612
RDC-10	54	1,03	13.330	4.123

Datos provisionales de ensayos en curso en el IRTA. Media de los resultados de los años 1999 y 2000.

Los primeros resultados productivos muestran un escalado paralelo a la cantidad de agua aportada, con independencia de la estrategia planteada (Tabla 3.7), lo que pone de manifiesto que **en árboles jóvenes cualquier reducción de agua de riego afecta al crecimiento vegetativo y en consecuencia al volumen del árbol y a su capacidad productiva.**

3.4.4. DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL APORTE HÍDRICO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DEL OLIVO PARA ALMAZARA

En un trabajo recientemente terminado y orientado a determinar el Kc óptimo para la planificación del riego en olivos jóvenes de la variedad "Arbequina" se concluía que **la producción está muy estrechamente ligada al desarrollo vegetativo que puedan alcanzar los olivos, que la producción es mayor en los árboles**

mayores y que el crecimiento estaba condicionado al volumen de agua que recibían los olivos (Figura 3.3), llegándose a determinar un óptimo productivo para Kc de 0,74.

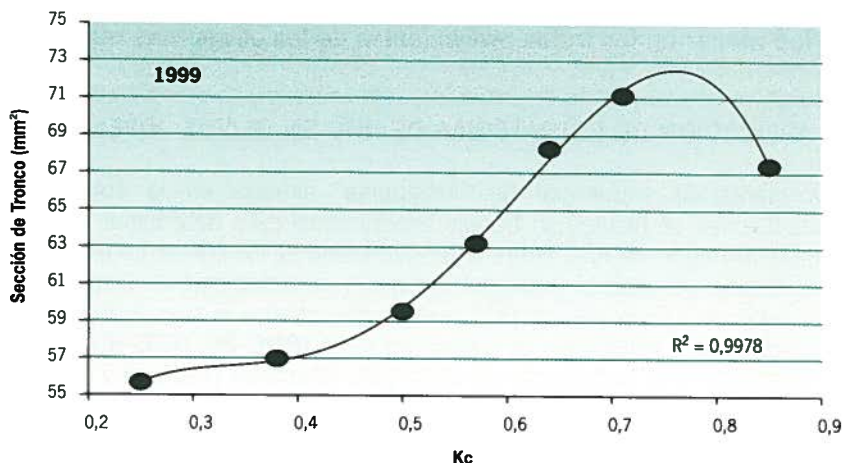


Figura 3.3 Sección de tronco de los olivos en función del Kc utilizado en la programación de riego (Girona et al., 2001).

Asimismo la producción de aceituna (Figura 3.4) y de aceite (Figura 3.5) presentan una respuesta altamente condicionada a la aportación hídrica y en definitiva al grado de desarrollo de los olivos. Es importante mencionar en este apartado el efecto negativo del aporte hídrico sobre la **extractibilidad** del aceite (Figura 3.6).

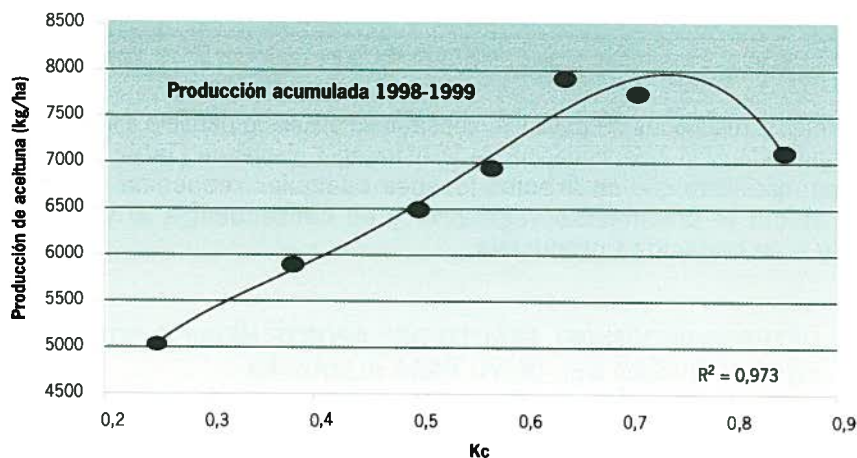


Figura 3.4 Producción de aceitunas en función del Kc utilizado en la programación de riego (Girona et al., 2001)

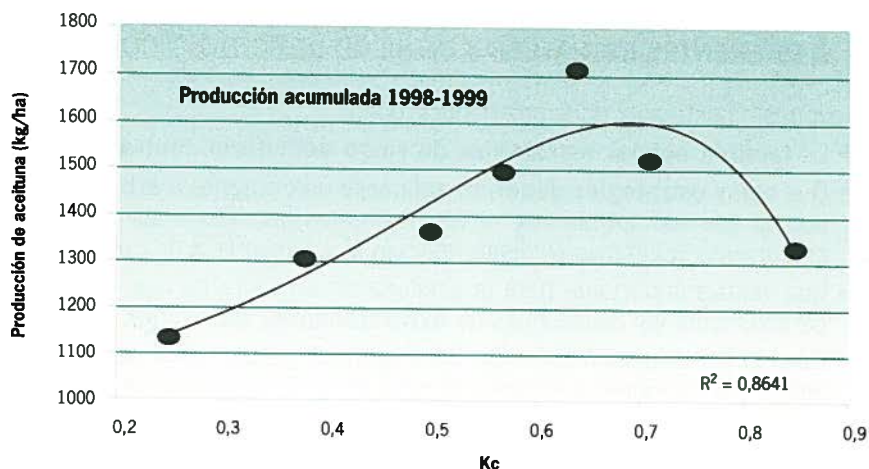


Figura 3.5 Producción de aceite en función del Kc utilizado en la programación de riego (Girona et al., 2001)

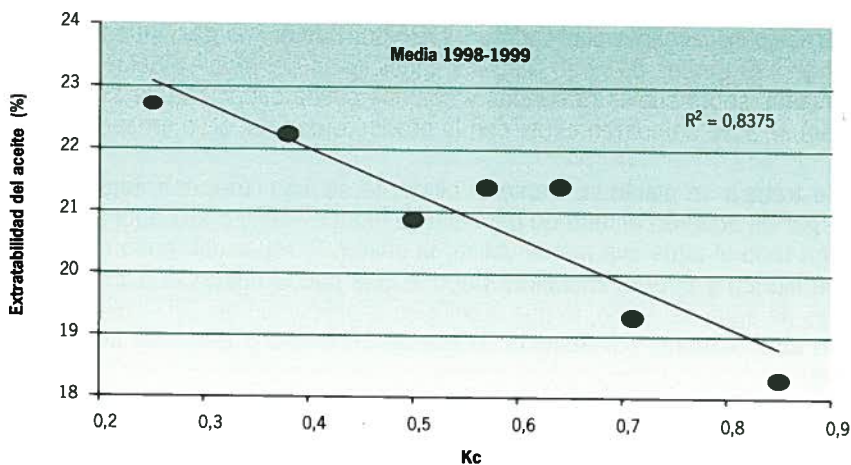


Figura 3.6 Extractabilidad del aceite en función del Kc utilizado en la programación de riego (Girona et al., 2001).

Es evidente que en este trabajo se repetía la misma respuesta de crecimiento vegetativo de árboles jóvenes ligado al volumen total de agua aportada a lo largo de todo el año. Asimismo se observa **que los árboles más regados presentan algunos problemas de extractibilidad del aceite**, efecto que ya habíamos observado anteriormente.

3.4.5. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LA RESPUESTA DEL OLIVO A DIFERENTES ESTRATEGIAS DE RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO

De lo expuesto hasta aquí podemos deducir que:

- Es **factible aplicar estrategias de riego deficitario controlado** al olivo.
- Que **estas estrategias deberían aplicarse únicamente a árboles adultos**, puesto que aún aplicándose en los momentos del ciclo anual donde no hay crecimiento vegetativo evidente, afectan al volumen final de copa.
- Una ventaja importante para la aceituna de almazara es que mejora considerablemente las condiciones de **extractabilidad del aceite**.
- Cuando las disponibilidades de agua de riego para el olivo son limitadas y netamente inferiores a la demanda total de agua del cultivo, la aplicación de estrategias de RDC puede mejorar considerablemente las condiciones de producción.

3.4.6. UN EJEMPLO DE RACIONALIZACIÓN DEL USO DEL AGUA EN EL OLIVAR, PRÓXIMO AL RDC

En un trabajo inicialmente publicado en 1994 por Pastor y Orgaz, se estudia el efecto de tres estrategias de riego para las condiciones del olivar andaluz (normalmente cultivados sobre suelos profundos y con una buena capacidad de almacenamiento de agua), y se comparan éstas con la productividad del olivo en secano.

En este trabajo se plantean, frente al olivar de secano, tres estrategias de riego: 1) el regar de acuerdo al método del balance hídrico - FAO, o sea aportar por medio del riego todo el agua que pueda utilizar la planta; 2) regar utilizando el método del balance hídrico y aportar mediante riego lo que pueda utilizar la planta menos las reservas de agua del suelo, lo que resulta en la aplicación de 120 l/olivo y día en el periodo abril octubre; y finalmente 3) aplicar 80 l/olivo y día en el periodo marzo octubre.

Es evidente que **la tercera estrategia era deficitaria**, y que contando con las reservas de agua de que disponía el suelo de la parcela, el déficit hídrico más importante se produciría en pleno verano (Pastor et al., 1999), justo en el momento del crecimiento del fruto, lo cual coincide con el planteamiento ya presentado anteriormente en las estrategias de **RDC**.

Si evaluamos la respuesta productiva de las diferentes estrategias de riego y el secano (Tabla 8), vemos que en todas las estrategias de riego la producción es netamente superior a la de secano. Quizás lo más interesante de este trabajo sea que el tratamiento de 80 l/árbol y día presenta producciones no significativamente diferentes de las obtenidas en los tratamientos más regados. Como se ha comentado

con anterioridad este tratamiento era deficitario en los meses de verano, lo que confirma una vez más la posibilidad de reducir los aportes hídricos en verano con efectos mínimos o nulos sobre la producción.

Tabla 3.8

EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DE RIEGO SOBRE LOS COMPONENTES DE PRODUCCIÓN DEL OLIVO PARA PRODUCCIÓN DE ACEITE. (CV PICUAL)

	Riego (mm/año)	Peso fruto (g)	Nº frutos árbol (miles)	Producción Aceituna (kg/ha)	Rto. Graso (%)	Producción Aceite (kg/ha)
Secano	0	2,69 b	21 b	4.128 b	20,2 b	835 b
80	150	3,90 a	31 a	8.048 a	22,0 a	1.771 a
120	200	3,93 a	35 a	8.856 a	22,0 a	1.950 a
FAO	320	4,19 a	33 a	8.688 a	22,2 a	1.931 a

Pastor y Orgaz (1994), Pastor et al., (1999).

3.5. CONSIDERACIONES FINALES

El olivo, como especie bien adaptada a las condiciones mediterráneas, sin lluvias durante el período estival, tolera un déficit hídrico ligero en verano, y si además la finalidad productiva es el aceite, esta tolerancia se ve acentuada, como así lo ponen de manifiesto los trabajos mencionados. No obstante, **este déficit hídrico no debería producirse durante la primavera e inicios de verano** (crecimiento vegetativo importante, desarrollo floral, cuajado del fruto, etc.), ya que en estos momentos hay procesos en marcha que pueden afectar a la producción del año y a la del año siguiente. Tampoco es deseable que el **déficit de verano llegase a ser muy intenso y duradero**, ya que podría afectar seriamente a la capacidad de producir carbohidratos (fotosíntesis) y limitar el crecimiento del fruto, y muy especialmente podría afectar a los episodios iniciales de inducción y diferenciación floral, con efectos negativos para la campaña siguiente.

Otra consideración importante en el riego del olivar es la **dificultad de extracción del aceite a medida que se aumentan las aportaciones hídricas**. Quizás una reducción paulatina del riego en las fases finales de crecimiento y maduración del fruto podría mejorar este aspecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEGRE, S.; MARSAL, J.; TOVAR, M.J.; MATA, M.; ARBONÉS, A.; GIRONA, J.; 2001. Regulated deficit irrigation in olive trees (*Olea europaea*, L. cv "Arbequina") for oil production. Proceedings of the Fourth International Symposium on Olive Growing. Bari (Italy), 2000. *Acta Horticulturae* (en impresión).
- CHALMERS, D.J.; MITCHELL, P.D.; VAN KEEK, L., 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 106(3):307-312.
- DOMINGO, R.; RUIZ-SÁNCHEZ, M.C.; SÁNCHEZ-BLANCO, M.J.; TORRECILLAS, A., 1996. Water relations, growth and yield of Fino lemon trees under regulated deficit irrigation. *Irrigation Science* 16:115-123.
- GIRONA, J., 1995. Requerimientos hídricos del olivo: Estrategias de aplicación de cantidades limitadas de agua de riego en "Arbequina". I Simposi de l'Olivera Arbequina a Catalunya. Les Borges Blanques (Lleida), 1995. Ponencias y Comunicaciones : 67-71.
- GIRONA, J.; MARSAL, J., 1995. Estrategias de RDC en almendro. En: Riego Deficitario controlado. M. Zapata y P. Segura (eds).Mundi Prensa. 97-118.
- GIRONA, J.; MARSAL, J.; ALEGRE, S.; MATA, M.; ARBONÉS, A., 2000. Olive tree responses to water deficit of different severity during peak evaporative demand. Final Scientific Report. Biosensors for tree irrigation. Participant 06. IRTA-ATF. 19 pp.
- GIRONA, J.; LUNA, M.; ARBONÉS, A.; MATA, M.; RUFAT, J.; MARSAL, J., 2001. Young olive trees (*Olea europaea*, cv "Arbequina") responses to different water supplies. Water function determination. Proceedings of the Fourth International Symposium on Olive Growing. Bari (Italy), 2000. *Acta Horticulturae* (en impresión).
- GIRONA, J.; MATA, M.; ARBONÉS, M.; ALEGRE, S.; RUFAT, J.; MARSAL, J., 2001. Productive and vegetative peach tree responses to single and combined regulated deficit irrigation regimes under shallow soils. Manuscrito pendiente de publicación.
- GOLDHAMER, D.A.; DUNAI, J.; FERGUSON, L., 1994. Irrigation requirements of olives trees and responses to sustained deficit irrigation. *Acta Horticulturae* 356:172-175.
- GOLDHAMER, D.A., 1999. Regulated deficit irrigation for California canning olives. *Acta Horticulturae* 474 Vol.(1):369-372.
- GONZALEZ-ALTOZANO, P.; CASTEL, J.R., 1999. Regulated deficit irrigation in "Clementina de Nules" citrus trees. I. Yield and fruit quality effects. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology.* 74(6):706-713.
- JORBA, J.; TAPIA, L.; SANT, D., 1985. Photosynthesis, leaf water potential and stomatal conductance in *Olea europaea* under wet and drought conditions. *Acta Horticulturae* 171:237-246.
- LAVEE, S.; NASHEF, M.; WODNER, M.; HARSHEMESH, H., 1990. The effect of complementary irrigation added to old olive trees (*Olea europaea* L) cv Sourì on fruit characteristics, yield and oil production. *Adv. Hort. Sci.* 4:135-138.



3. Estrategias de riego deficitario controlado en olivar

- MILELLA, A.; DETTORI, S., 1987. Regimi idrici ottimali e parziali per Giovanni olivi da mensa. *Rivista di Froticoltura* 8:65-69.
- ORGAZ, F.; FERERES, E., 1998. Capítulo 10. Riego. En Barranco, D.; Fernández-Escobar, R.; Rallo, L. (Eds). *El Cultivo del Olivo*. Mundi Prensa - Junta de Andalucía, 1998:259-280.
- PASTOR, M.; ORGAZ, F., 1994. Riego deficitario en olivar. Los programas de recorte de riego en olivar. *Agricultura*, 746:768-776.
- 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.
- PAVEL E.W.; FERERES, E., 1998. Low soil temperatures induce water deficits in olive (*Olea europaea*) trees. *Physiologia Plantarum* 104(4):525-532.
- RALLO, L.; FERNÁNDEZ ESCOBAR, R., 1985. Influence of cultivar and flower thinning within the inflorescence on competition among olive fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110(2):303-308.
- RALLO, L., 1998. Capítulo 5. Fructificación y Producción. En Barranco, D.; Fernández-Escobar, R.; Rallo, L. (Eds). *El Cultivo del Olivo*. Mundi Prensa - Junta de Andalucía, 1998: 115-144.
- SAMISH, R.H.; SPIEGEL, P., 1961. The use of irrigation in growing olives for oil production. *The Israel Journal of Agricultural Research* 11(2):87-95.
- SOLÉ, M.A., 1990. The influence of auxiliary drip irrigation, with low quantities of water in olive tress in Las Garrigues (cv. Arbequina). *Acta Horticulturae* 286:307-310.
- SPIEGEL, P., 1955. The water requirement of the olive tree, critical periods of moisture stress and the effect of irrigation upon the oil content of its fruit. XIVth International Horticultural Congress. Netherlands. H. Veenman & Zonen (Wageningen-Netherlands) Publishers:1363-1373.
- TOMBESI, A.; PROETTI, P., 1984. Effect of water stress on photosynthesis, transpiration, stomatal resistance and carbohydrate level in olive trees. X Aniversario Red Cooperativa de Investigación en Oleicultura. Córdoba, 1984. 11p.
- TORRECILLAS, A.; DOMINGO, R.; GALEGO, R.; RUIZ-SÁNCHEZ, M.C., 2000. Apricot tree response to withholding irrigation at different phenological periods. *Sci. Hort. Amsterdam*. 85:201-215.
- TOUS, J., 1990. *El olivo. Situación y Perspectivas en Tarragona*. Diputació de Tarragona. 376 pp.



4

**RESULTADOS DE LOS
ENSAYOS DE RIEGO
DEFICITARIO EN
OLIVARES DE LA
PROVINCIA DE JAEN**

J. Hidalgo (*)
V.Vega (*)
M.Pastor (*)

(*) CIFA "Alameda del Obispo" Córdoba. Consejería de Agricultura y Pesca. Córdoba.

4.1. INTRODUCCIÓN

El olivar es hoy día el principal cultivo de regadío en Andalucía, región en la que el agua es un bien muy escaso, padeciendo la Cuenca del Guadalquivir un déficit estructural entre 500 y 700 hm³, debido principalmente a la falta de capacidad de embalse, llegando a ocurrir que en años lluviosos una parte importante de los recursos van al Atlántico.

El olivar ha sido el último cultivo en demandar el agua de riego, por lo que ante el déficit de la Cuenca y la existencia de concesiones previas se le ha relegado, en la mayoría de las ocasiones, a aprovechar las aguas invernales de escorrentía, cuando no se necesita el recurso para otros usos.



Foto 4.1 Olivar cultivado en secano en la parcela de ensayo de la finca La Loma en Jódar (Jaén).



El sistema de riego más utilizado en olivar es el de goteo, existiendo grandes elevaciones entre los puntos de toma del agua y las zonas de olivar a regar (150-250 m), estando el cultivo enclavado en terrenos con bastante pendiente, por lo que el coste del agua es muy alto.

Aunque los suelos ocupados por el olivar en las zonas próximas a los ríos son bastante profundos y con una gran capacidad de retención de agua, surge la duda sobre la rentabilidad del agua aplicada en épocas de reposo vegetativo, lo que se contempla en las Propuestas de Concesión de Aguas Superficiales en la Cuenca, en las que C.H. Guadalquivir propone el riego en el período 15 septiembre a 15 de abril, más un riego de apoyo en verano, completando un total de 1.500 m³/ha.

Un antiguo experimento realizado por la Estación de Olivicultura de Jaén (citado por Pastor et al., 1996) en los años 70, empleando un sistema de riego por aspersión de cobertura total, puso de manifiesto la rentabilidad de esta práctica en los años secos en un suelo con buena capacidad de retención de agua. Más recientemente se ha puesto de manifiesto la excelente respuesta del olivar a programas de riego por goteo deficitario, tanto en estrategias que aplican reducidas cantidades de agua de una forma constante a lo largo del periodo vegetativo y complementarias a la lluvia (Pastor et al., 1999), como en estrategias en las que se reduce de una forma drástica la aportación durante el verano (Girona, en esta publicación), época de mayor demanda evaporativa y mayores necesidades para otros cultivos.

En este artículo se presentan los resultados de dos ensayos en las cinco últimas campañas (1996 a 2000), comparándose 5 estrategias de manejo del cultivo, entre las que se incluyen dos testigos extremos, un control en secano y olivar regado para máxima producción y sin restricciones en el suministro de agua.

4.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Los experimentos se han realizado en dos localidades de la provincia de Jaén, y olivares tradicionales (65 árboles/ha) adultos (Jódar) y olivar intensivo (200 olivos/ha) adulto (Villacarrillo), en ambos casos de la variedad 'Picual'. En los dos casos se trata de suelos profundos y arcillosos, cuya clasificación FAO corresponde a un Regosol calcárico y a un Cambisol vértico respectivamente.

Las características climáticas han sido muy diferentes; mientras que los tres primeros años (1996 a 1998) fueron muy lluviosos, 1999 fue el más seco de las últimas décadas. El año 2000 también ha sido seco, con una pluviometría inferior a la media, especialmente en invierno. En la **Tabla 4.1** se aportan datos de las lluvias registradas mensualmente en cada finca.



Foto 4.2 Olivar regado aplicando 1.500 m³/año en la parcela de ensayo de la finca La Loma en Jódar (Jaén).

Tabla 4.1

PLUVIOMETRÍA (mm) MENSUAL OBSERVADA EN CADA UNO DE LOS ENSAYOS EN EL PERIODO 1995-2000

Finca PICHILÍN	Año				
	95-96	96-97	97-98	98-99	99-00
Octubre	37,0	24,5	33,8	9,3	99,7
Noviembre	48,0	113,6	184,4	12,6	49,7
Diciembre	183,0	152,2	128,1	30,6	51,2
Enero	121,0	119,7	37,8	26,3	10,6
Febrero	38,0	3,2	34,8	22,7	0
Marzo	16,7	0	20,5	38,1	9,7
Abril	40,4	46,4	29,5	8,5	91,4
Mayo	77,5	49,5	76,3	3,8	33,1
Junio	6,2	41,4	22,7	29,3	1,4
Julio	0	0	0	0	2
Agosto	8,5	53,6	5,9	3,3	2,1
Septiembre	88,2	75,8	31,5	45,5	5,9
Total	664,5	679,9	605,3	230,0	356,8

Continúa

Continuación tabla 4.1

Finca LA LOMA (Jódar)	Año				
	95-96	96-97	97-98	98-99	99-00
Octubre	23,5	24,2	22,2	1,6	99,2
Noviembre	105,0	101,7	109,2	153,0	30,2
Diciembre	88,5	109,2	121,4	20,05	0,8
Enero	115,2	153,0	27,4	28,5	1,1
Febrero	46,4	3,8	21,5	17,0	0
Marzo	28,7	0	25,7	9,7	13,6
Abril	46,6	51,2	47,3	2,6	81,7
Mayo	80,6	41,6	77,3	2,6	28,4
Junio	16,1	30,32	7,12	3,8	0
Julio	0	0	0	0	0
Agosto	4,0	26,1	5,5	0,9	0,4
Septiembre	91,0	58,0	36,9	54,0	16,4
Total	645,1	599,1	577,1	193,6	321,8

A efectos de programación del riego nos encontramos con una ETo anual comprendida entre 1.200 y 1.300 mm. En la **Tabla 4.2** se aportan los valores medios mensuales para las localidades de Jódar y Villacarrillo, en las que se ubican los ensayos.

Tabla 4.2

**EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ETo) MEDIA INTERANUAL
CALCULADA UTILIZANDO DATOS CLIMÁTICOS DE LAS LOCALIDADES
MÁS PRÓXIMAS A LA UBICACIÓN DE LAS PARCELAS DE ENSAYO**

	ETo Mm/mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Jódar	34	49	88	112	148	179	209	183	135	81	44	31	1.297
Villacarrillo	33	46	82	111	147	162	188	166	115	70	37	28	1.187

Los programas de riego comparados han sido los siguientes: a) cultivo en **secano**; b) **riego FAO** aplicando la metodología de cálculo propuesta por FAO (Doorenbos y Pruitt, 1997) 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. Los valores así obtenidos se han minorado



4. Resultado de los ensayos de riego deficitario

aplicando un coeficiente reductor K_r calculado en función de la superficie cubierta (S_c) por la copa de los olivos ($K_r=2 \times S_c/100$); c) **riego de invierno (1.500 I ó 2.500 I)** aplicándose un total de 1.500 m³/ha (2.500 m³/ha en el olivar intensivo de Villacarrillo), en el periodo 15 septiembre-15 abril, en cantidades de 90 m³/ha y quincena, con riego de apoyo en endurecimiento del hueso (junio-julio) con unos 2.000 litros/olivo, de acuerdo con las autorizaciones del Organismo Regulador de la Cuenca; d) riego a cantidad constante semanal durante el periodo 1 marzo a 31 octubre **(1.500 L ó 2.500 L)**, con una dotación anual de 1.500 m³/ha en olivar tradicional (2.500 m³/ha en el intensivo), aportándose en la plantación tradicional 187,5 m³/ha mes, con independencia de las condiciones climáticas; y e) **riego deficitario (750 ó 1.250)** aplicando 750 m³/ha en el olivar tradicional (1.250 m³/ha en el intensivo), en los momentos de máxima sensibilidad al déficit hídrico (prefloración, cuajado del fruto, endurecimiento del hueso y finalmente en otoño). En la **Tabla 4.3** se muestra el agua de riego aportada realmente a cada tratamiento y ensayo.

En los dos casos se ha utilizado un diseño estadístico en bloques al azar con tres repeticiones para cada uno de los 5 tratamientos de riego. La parcela elemental tiene 12 árboles (tres filas de 4 olivos), controlándose los dos olivos centrales de cada parcela. Cada tratamiento de riego dispone de una instalación independiente, dotada de un contador volumétrico, que permite controlar el agua aplicada semanalmente instalándose 4 emisores autocompensantes de 4 l/h, por árbol en la plantación intensiva, y 6 goteros/olivo en la tradicional.

En el presente trabajo mostramos las producciones de aceite y aceitunas obtenidas anualmente en cada uno de los años, presentándose igualmente datos de rendimientos grasos (metodología de R.M.N.).

Tabla 4.3

CANTIDADES DE AGUA DE RIEGO APORTADAS (m ³ /ha) EN CADA TRATAMIENTO DE RIEGO, FINCA Y AÑO						
Finca	Tratamiento	96	97	98	99	00
Pichilín	FAO	3.245	3.383	2.489	5.239	5.907
	2.500 I	2.548	2.470	2.605	2.408	2.531
	2.500 L	2.441	2.426	2.457	2.528	2.431
	1.250	1.209	1.160	1.270	1.225	1.222
La Loma	FAO	2.203	2.650	1.839	3.690	4.356
	1.500 I	1.433	1.489	1.449	1.417	1.427
	1.500 L	1.472	1.501	1.471	1.421	1.466
	750	742	748	721	764	747



Foto 4.3 Olivar de secano en el mes de septiembre de 2000 en la parcela de ensayo de Pichilín en Villacarrillo (Jaén).



Foto 4.4 Olivar regado aplicando 2.500 m³/ha en el mes de septiembre 2000 en la parcela de ensayo de Pichilín en Villacarrillo (Jaén).



Foto 4.5 Olivar regado aplicando la dosis óptima de agua, fotografía realizada en septiembre de 2000, en la parcela de ensayo de Pichilín en Villacarrillo (Jaén).

4.3. RESULTADOS Y DISCUSION.

Los resultados obtenidos en los dos ensayos se han visto muy condicionados por la climatología de los años, así como por la natural alternancia de producción o vecería de esta especie, lo que puede condicionar una bajada de producción después de una cosecha abundante, lo que dificulta muchas veces la interpretación de los resultados de los ensayos si no se dispone de un gran número de años de observaciones, por lo que las conclusiones que se presentan hay que tomarlas como provisionales.

En la finca Pichilín - Villacarrillo (olivar intensivo adulto) cuyos datos de producción se muestran en la **Tabla 4.4**, vemos como las cosechas son realmente altas, superando los 3.600 kg/ha de aceite en los olivos regados con el tratamiento FAO para máxima producción, con cosechas de unos 3.000 kg/ha en los dos tratamientos de 2.500 m³/ha. Para el tratamiento de 1.250 m³/ha la producción media de aceite (1696-2000) es próxima a 2.400 kg/ha y de 1.700 kg/ha en los de secano, existiendo diferencias significativas entre las cuatro dosis de riego.

Para los tres años lluviosos (1996 a 1998) se observa una significativa mayor producción media de aceite y aceitunas en el tratamiento FAO, siendo el tratamiento de secano el de menor producción, no observándose diferencias significativas entre los otros tres tratamientos de riego deficitario (**2.500-I, 2.500-L y 1.250 m³/ha**). Sin embargo en los años secos 1999 y 2000, con pluviometrías de 230 y 356 mm respectivamente, sí que se obtienen unas diferencias claras entre los tratamientos de riego deficitario. El olivar de secano no tuvo producción en el 1999, observándose en esta finca un incremento de producción a medida que aumenta

4. Resultado de los ensayos de riego deficitario

la cantidad de riego aportada. No se observan diferencias de producción entre el tratamiento **2.500-I** con riego septiembre-abril y el tratamiento **2.500-L** con riego marzo-octubre. Además en los años secos se observa un rendimiento graso significativamente más bajo en los olivos de secano que en los de riego, debido al fuerte estrés hídrico padecido por los árboles durante el verano.

Tabla 4.4

PRODUCCIONES DE ACEITUNA Y ACEITE OBTENIDAS EN LA FINCA PICHILÍN EN LOS AÑOS 96-00. LOS VALORES DE CADA AÑO Y COLUMNA SEGUIDOS DE LETRAS DIFERENTES DIFIEREN SIGNIFICATIVAMENTE AL NIVEL $P < 0.05$ SEGÚN EL TEST DE MÍNIMA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA

Año	Tratamiento	Producción (kg/olivo)	Aceite (kg/olivo)	Rto. graso %	Número frutos
1996	FAO	71,33 a	18,92 a	26,52 a	18.671 b
	2.500 I	67,70 a	17,41 a	25,72 a	21.646 ab
	2.500 L	75,70 a	18,68 a	24,68 ab	24.940 a
	1.250	78,66 a	18,38 a	23,37 b	30.694 a
	Secano	54,40 b	13,29 b	24,43 ab	21.890 ab
1997	FAO	72,19 a	16,53 a	22,92 a	26.216 a
	2.500 I	64,98 a	15,65 a	24,14 a	19.365 ab
	2.500 L	46,70 ab	11,11 ab	23,90 a	12.630 ab
	1.250	24,24 b	6,15 b	25,14 a	5.900 b
	Secano	67,84 a	16,29 a	24,35 a	25.065 a
1998	FAO	53,75 b	13,55 a	24,98 a	16.130 b
	2.500 I	65,82 ab	13,99 a	21,41 b	27.053 a
	2.500 L	69,63 a	15,65 a	22,68 ab	26.783 a
	1.250	71,87a	15,10 a	21,19 b	31.577 a
	Secano	35,29 c	7,81 b	22,33 ab	9.204 b
1999	FAO	77,25 a	18,79 a	24,31 b	23.658 a
	2.500 I	50,06 b	12,91 ab	25,88 a	17.253 ab
	2.500 L	47,17 b	12,26 ab	26,24 a	13.057 b
	1.250	28,54 b	7,53 b	26,44 a	8.969 b
	Secano	0	0	0	0
2000	FAO	96,42 a	21,80 a	22,35 ab	31.617 a
	2.500 I	69,10 b	15,17 b	23,08 a	29.059 a
	2.500 L	73,35 b	16,03 b	22,95 a	30.440 a
	1.250	58,87 e	11,96 c	20,37 b	25.278 b
	Secano	28,69 d	5,23 d	17,76 c	17.272 c

Continúa

Continuación tabla 4.4

Año	Tratamiento	Producción (kg/olivo)	Aceite (kg/olivo)	Rto. graso %	Número frutos
1996-1998	FAO	71,52 a	17,16 a	24,07 a	23.460 a
	2.500 I	56,93 b	13,38 b	23,81 a	20.214 ab
	2.500 L	57,47 b	13,72 ab	24,27 a	18.974 b
	1.250	46,72 bc	10,88 bc	24,26 a	16.932 b
	Secano	33,86 e	7,92 c	23,39 a	11.211 c
1999-2000	FAO	86,84 a	20,30 a	23,37 a	27.638 a
	2.500 I	59,59 b	14,04 b	23,56 a	23.156 b
	2.500 L	60,27 b	14,15 b	23,48 a	21.749 b
	1.250	43,71 c	9,75 c	22,30 a	17.124 c
	Secano	14,35 d	2,61 d	18,19 b	8.636 d
1996-2000	FAO	74,18 a	17,92 a	24,16 a	23.258 a
	2.500 I	63,53 b	15,02 b	23,64 a	22.927 a
	2.500 L	62,51 b	14,73 b	23,56 a	21.571 a
	1.250	52,44 b	11,82 c	22,54 b	20.479 a
	Secano	38,99 c	8,53 d	21,88 b	14.633 b

En esta finca la producción media de aceite y aceituna de los 5 años (**Tabla 4.4**) aumenta con el aumento de la dotación de riego, con incrementos de cosecha con respecto al secano del 38% en el olivar regado con 1.250 m³/ha, de un 72% en el olivar regado con 2.500 m³/ha, y finalmente con un 110% para el regado para cubrir las máximas necesidades del cultivo. Teniendo en cuenta que el número medio de frutos producidos por olivo es bastante similar (diferencias no significativas) entre todos los tratamientos regados, significativamente mayor que el del secano, cabe interpretar que la aportación diferencial de agua se ha traducido en un aumento de la capacidad de llenado de los frutos durante el verano, momento en que el estrés hídrico estival diferencial, como consecuencia de los tratamientos de riego, puede reducir la capacidad de crecimiento de la aceituna.

El aumento de producción en **regadío** se fundamentó tanto en el aumento del número de frutos producidos por olivo con respecto al secano, debido al **mayor volumen de copa (Tabla 4.6)**, como en la mayor **capacidad de llenado** de los frutos.

4. Resultado de los ensayos de riego deficitario

Tabla 4.5

PRODUCCIONES DE ACEITUNA Y ACEITE OBTENIDAS EN LA FINCA LA LOMA EN LOS AÑOS 96-00. LOS VALORES DE CADA AÑO Y COLUMNA SEGUIDOS DE LETRAS DIFERENTES DIFIEREN SIGNIFICATIVAMENTE AL NIVEL $P < 0.05$ SEGÚN EL TEST DE MÍNIMA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA

Año	Tratamiento	Producción (kg/olivo)	Aceite (kg/olivo)	Rto. graso %	Número frutos
1996	FAO	67,90 ab	18,75 ab	27,55 ab	14.933 ab
	1.500 I	85,75 a	22,08 a	25,97 b	23.034 a
	1.500 L	71,66 ab	20,01 ab	28,18 a	15.888 ab
	750	60,23 ab	16,70 ab	27,73 ab	16.581 ab
	Secano	53,82 b	14,45 b	26,90 ab	13.777 b
1997	FAO	127,40 a	31,48 ab	24,74 bc	32.309 a
	1.500 I	132,36 a	30,83 ab	23,21 c	36.174 a
	1.500 L	131,03 a	34,09 a	26,01 b	32.841 a
	750	121,84 a	30,84 a	25,32 bc	39.941 a
	Secano	80,62 b	23,11 b	28,62 a	18.676 b
1998	FAO	131,63 a	30,37 a	23,15 a	47.623 a
	1.500 I	107,98 abc	26,14 a	24,02 a	36.267 a
	1.500 L	100,88 bc	24,26 ab	24,08 a	30.788 a
	750	99,51 ab	23,17 a	23,29 a	39.605 a
	Secano	88,37 c	18,35 b	20,77 b	32.722 a
1999	FAO	44,62 a	12,02 a	26,90 a	9.662 a
	1.500 I	29,28 abc	8,00 ab	27,32 a	7.202 a
	1.500 L	17,35 bc	4,80 b	27,66 a	3.149 ab
	750	6,07 c	1,69 b	27,83 a	1.434 b
	Secano	0	0	0	0
2000	FAO	192,43 a	47,39 a	27,16 b	60.733 a
	1.500 I	134,32 b	31,77 b	27,04 b	46.922 ab
	1.500 L	124,93 b	32,10 b	30,59 a	35.899 b
	750	122,39 b	35,64 b	29,12 ab	45.797 ab
	Secano	30,11 c	6,18 c	22,76 c	10.847 c
1996-1998	FAO	108,98 a	26,86 a	25,01 ab	31.622 a
	1.500 I	108,69 a	26,35 a	24,42 b	31.825 a
	1.500 L	101,19 a	26,12 a	26,14 a	26.506 ab
	750	93,86 a	23,92 a	25,48 ab	32.042 a
	Secano	74,27 b	18,64 b	25,44 ab	21.725 b

Continúa

Continuación tabla 4.5

Año	Tratamiento	Producción (kg/olivo)	Aceite (kg/olivo)	Rto. graso %	Número frutos
1999-	FAO	118,52 a	29,70 a	25,06 a	35.198 a
2000	1.500 I	81,80 b	19,88 b	24,30 a	27.062 b
	1.500 L	71,14 b	18,45 b	25,93 a	19.524 c
	750	64,23 b	16,29 b	25,33 a	23.616 bc
	Secano	15,05 c	3,09 c	20,53 b	5.423 d
1996-	FAO	112,78 a	28,00 a	24,83 a	33.052 a
2000	1.500 I	97,94 ab	23,76 b	24,26 a	29.920 a
	1.500 L	89,17 b	23,05 b	25,91 a	23.713 b
	750	81,98 ab	20,59 ab	25,12 a	28.672 ab
	Secano	50,58 c	12,42 c	24,55 a	15.204 c

En la **Tabla 4.5** mostramos los datos de producción de la finca La Loma - Jódar (olivar adulto tradicional). Los resultados son hasta cierto punto similares a los obtenidos en la finca Pichilín, observándose también claras diferencias entre los años lluviosos (1996-1998) y los años secos, 1999 y 2000, en los que la pluviometría solo alcanzó respectivamente 194 y 322 mm . En esta finca no se observan diferencias significativas en la producción media de 5 años entre los 3 tratamientos de riego deficitario, producciones que son inferiores al riego para máxima producción FAO y superiores todas ellas al tratamiento de secano; fundamentándose igualmente el aumento de producción en el aumento del número de frutos producidos por olivo, como consecuencia del mayor volumen de copa obtenido a lo largo de los años de duración del ensayo (**Tabla 4.6**). En los años lluviosos no se observan diferencias significativas en los rendimientos grasos del fruto producido en los distintos tratamientos de riego, incluso con respecto al secano, mientras que en los años secos ocurre una situación similar a la observada en la finca Pichilín (olivar intensivo), donde el secano presenta un rendimiento graso significativamente **mucho más bajo**.

Sin embargo, en los años secos, las diferencias de producción entre tratamientos regados sí fueron significativas, obteniéndose mayor cosecha en el tratamiento **FAO** que en los que recibieron dosis de riego deficitario, mientras que la producción en el secano fue muy baja.

En este ensayo el aumento medio de producción de aceite en los tratamientos regados con dosis deficitarias (**1.500-I, 1.500-L y 750**) con respecto al secano fue de entre el 85% y el 100%. El incremento de producción del tratamiento denominado FAO con respecto al secano fue del 125%.



4. Resultado de los ensayos de riego deficitario

Tabla 4.6

VOLUMENES DE COPA (m³/ha) PARA LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS EN LAS TRES PARCELAS DE ENSAYO. PERIODO 1997-2000. LOS VALORES DE CADA COLUMNA Y AÑO SEGUIDOS DE LETRAS DIFERENTES DIFIEREN SIGNIFICATIVAMENTE AL NIVEL P<0.05 SEGÚN EL TEST DE MÍNIMA DIFERENCIA SIGNIFICATIVA

Finca	Tratamiento	1997	1998	1999	2000
PICHILIN	FAO	7.325 a	9.107 a	10.589 a	14.032 a
	2.500 I	6.864 a	7.372 ab	9.122 ab	11.354 bc
	2.500 L	7.618 a	8.878 a	10.272 a	13.090 ab
	1.250	7.760 a	8.835 a	10.778 a	13.051 ab
	Secano	6.963 a	6.235 b	8.229 b	9.292 c
LA LOMA	FAO	6.450 ab	6.824 ab	7.069 ab	10.191 ab
	1.500 I	6.353 ab	6.544 ab	6.450 b	8.072 c
	1.500 L	6.210 b	6.525 ab	6.700 b	9.040 bc
	750	7.689 a	7.923 a	8.199 a	10.655 a
	Secano	6.004 b	5.549 b	5.857 b	7.904 c

En la **Tabla 4.6** mostramos la evolución de los volúmenes de copa de los olivos, en las diferentes fincas y años, observándose un aumento del tamaño de copa de los olivos para todos los tratamientos en el periodo 1996-2000, consecuencia de los tres años lluviosos (1996-1998), así como de los diferentes tratamientos de agua de riego aplicados. Los datos mostrados están bastante en consonancia con las producciones, de modo que conocidos estos datos puede afirmarse que el aumento de producción parece estar relacionado con el aumento de tamaño de los árboles y con ello el mayor número de frutos producidos por olivo. Si el suministro de agua asegura un adecuado llenado de los frutos en otoño, el final es un aumento de la producción. Los datos de volumen de copa presentados permiten además explicar algunos de los datos de producción de difícil explicación, como es el hecho de que los árboles de partida (año 1996) del tratamiento 750 m³/ha fueron en La Loma significativamente mayores que los del tratamiento 1.500 m³/ha, lo que podría explicarse por el hecho reiterado, accidental e involuntario rebosamiento de un depósito de agua que proporciona a algunos olivos de este tratamiento riegos imposibles de cuantificar y computar.

Igualmente en dicha **Tabla 4.6** se observan, para los tratamientos 2.500 I y 2.500 L en Pichilín, y entre 1.500 I y 1.500 L en La Loma, diferencias en el volumen de copa de los olivos. Parece (diferencias no significativas), como si el déficit hídrico al que se somete en verano a los olivos en el tratamiento con riego septiembre-abril (**I**), se traduce en una reducción del crecimiento vegetativo (menor volumen de copa), con respecto al tratamiento con riego continuo en el periodo marzo-octubre (**L**), técnica que podría facilitar, bien utilizada, el manejo de las plantaciones (frenado del crecimiento)

cuando estén próximas a alcanzar un volumen de copa poco manejable para el olivero, lo que le ocasionaría problemas de tratamiento de plagas y enfermedades, poda, recolección, etc.

A partir de los datos presentados en las **Tablas 4.4 y 4.5** que muestran las producciones medias de aceite obtenidas en los diferentes tratamientos de riego en los dos experimentos, y teniendo en cuenta los consumos anuales medios de agua (**Tabla 4.3**), hemos realizado la **Tabla 4.7** en la que se calculan las **eficiencias medias en el uso del agua de riego** para los cuatro tratamientos de riego y para cada uno de los dos ensayos, definiendo como eficiencia:

$$\text{Eficiencia} = (\text{Producción riego} - \text{Producción en seco}) / \text{Dosis de riego}$$

expresando las producciones en kg/olivo y la dosis de riego en m³/ha

Vemos como las eficiencias son similares en ambas fincas, observándose que a medida que aumentamos la cantidad de agua aportada por olivo disminuye la eficiencia, lo cual es mucho más patente en la finca La Loma, en donde en el tratamiento FAO pasamos de obtener 0,5 Kg de aceite por metro cubico aportado en los tratamientos regados con 1.500 m³ / ha y año, a obtener 0,34 Kg en el tratamiento FAO regado con 2.948 m³ / ha y año. Teniendo en cuenta estos datos, y en la situación habitual de no disponer de suficiente cantidad de agua para regar toda la superficie con la dosis óptima, nos inclinamos por adoptar estrategias de riego deficitario controlado, que permiten con la misma agua aumentar la superficie total regada y obtener mayor cantidad de aceite. Con el riego deficitario de 750 m³/ha, la eficiencia fue aún mucho mayor.

Tabla 4.7

CÁLCULO DE LA EFICIENCIA MEDIA EN EL USO DEL AGUA DE RIEGO PARA LOS DATOS OBTENIDOS EN LOS AÑOS 1996 A 2000 EN LOS ENSAYOS DE PICHILÍN (OLIVAR CON 200 OLIVOS/ha) Y LA LOMA (OLIVAR CON 65 OLIVOS/ha)

Finca	Tratamiento	Riego (m ³ /olivo)	Producción aceite (Kg/olivo)	Riego-Secano	Eficiencia (Kg / m ³)
Pichilín	FAO	20.26	17.92	9.39	0.46
	2.500 - I	12.56	15.02	6.49	0.52
	2.500 - L	12.28	14.73	6.20	0.50
	1.250	6.09	11.82	3.29	0.54
	Secano	0.00	8.53		
La Loma	FAO	45.35	28.00	15.58	0.34
	1.500 - I	22.20	23.76	11.34	0.51
	1.500 - L	22.56	23.05	10.63	0.47
	750	11.45	20.59	8.17	0.71
	Secano	0.00	12.42		

4.4. CONCLUSIONES

En las condiciones edafoclimáticas de la zona estudiada **la respuesta al riego** del olivar está condicionada por factores tales como la **pluviometría**, que en el año medio cubre un porcentaje importante de las necesidades máximas del cultivo, existiendo una gran incertidumbre sobre la pluviometría total anual, siendo frecuentes los años secos que hacen peligrar la producción del olivar. Además; la **gran capacidad de almacenamiento de agua de los suelos**, muy elevada (gran capacidad de retención y profundidad), que permite almacenar las lluvias de invierno para su posterior 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 pequeñas dotaciones se cubren las necesidades 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.

Las dotaciones de riego propuestas por el organismo regulador de la cuenca para las concesiones de agua (1.500 m³/ha) parecen relativamente adecuadas en **olivar tradicional** en años de pluviometría media y alta, 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** (200-300 olivos/ha) en las que los 1.500 m³/ha resulta claramente insuficiente incluso en años húmedos.

Teniendo en cuenta la buena retención de agua de los suelos y siempre que se disponga de un sistema de riego con suficiente cobertura, no parece ser un inconveniente el hecho de **aplicar una cierta 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 de su aportación a lo largo de todo el año. En los suelos con problemas de encharcamiento hay que tratar de evitar las aportaciones invernales de agua de riego que ocasionen problemas de asfixia radical, lo que afectaría negativamente a la producción.

En situaciones de baja disponibilidad de agua, lo normal en la cuenca, parece más eficaz regar una mayor superficie aplicando programas de **riego deficitario**.

Una restricción en la dotación de agua durante el verano parece traducirse en una reducción del crecimiento de los olivos, por lo que bien manejada esta estrategia, podría ser una buena **herramienta para controlar el vigor** de la plantación.

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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DETTORI S., 1987. Estimación con los métodos de la F.A.O. de las necesidades de riego de los cultivos de mesa en Cerdeña. OLIVAE 17:30-35.
- DOORENBOS J., PRUITT W.O., 1977. Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio F.A.O.: Riego y Drenaje nº 24 Roma.
- GOLDHAMER D.A., DUNAI J., FERGUSON L., 1994. Irrigation requirements of olive trees and responses to sustained deficit irrigation. Acta Horticulturae, 356: 172-175.
- HARTMANN H.T., OPITZ K.W., BENTEL J.A., 1986. La producción oleícola en California. OLIVAE, 11: 24-49.
- MICHELAKIS N., 1995. Efecto de las disponibilidades en agua sobre el crecimiento y rendimiento de los olivos.
- PASTOR M., CASTRO J., MARISCAL M.J., VEGA V., ORGAZ F., FERERES E., HIDALGO J., 1999. Respuesta del olivar tradicional a diferentes estrategias y dosis de agua de riego. Invest. Agr.: Prot. Veg. Vol. 14 (3), 1999.

5

CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO. EFECTO DE LA SALINIDAD EN EL OLIVAR

V. Vega (1)

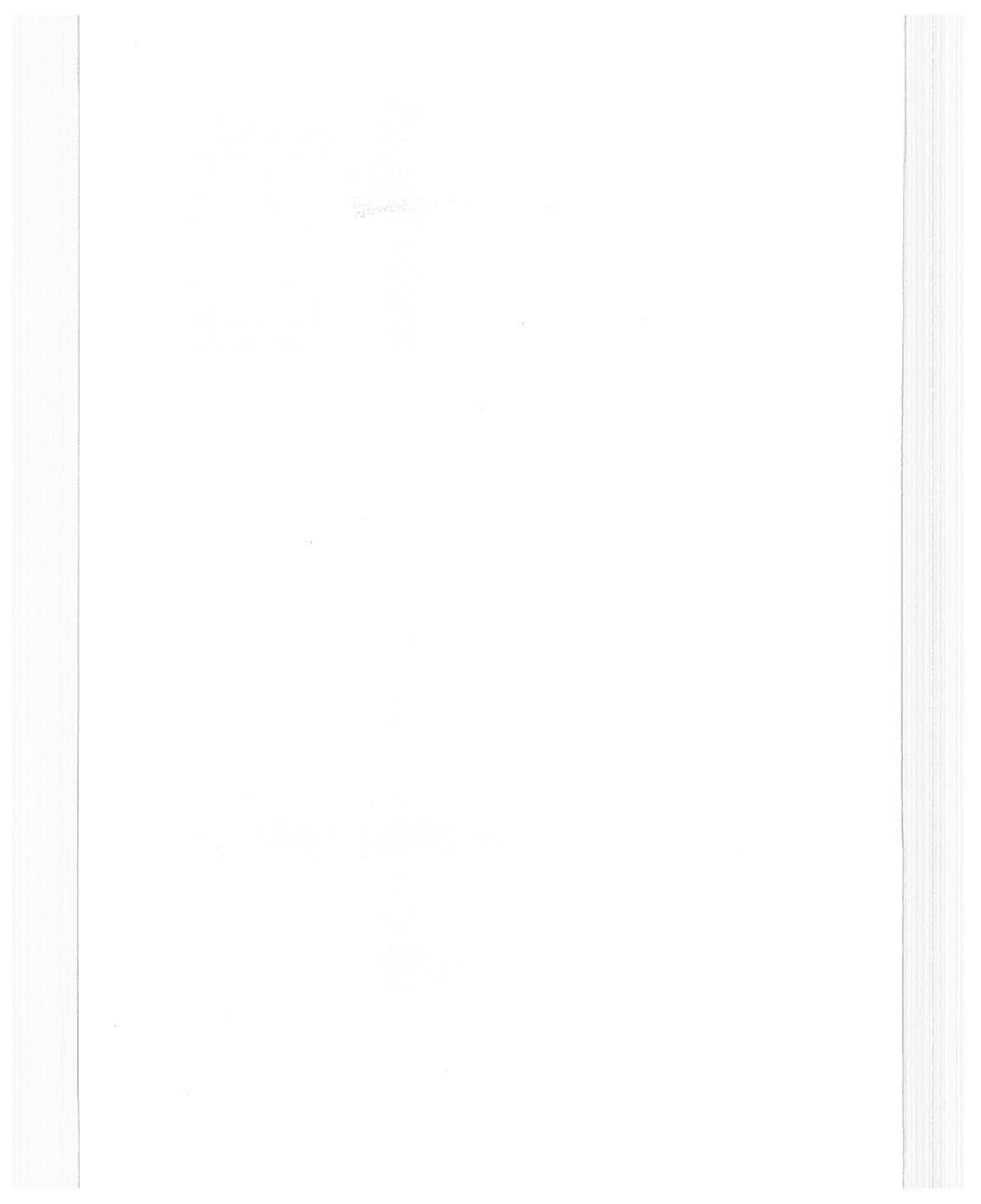
J. Rojo (2)

M. Fernández (2)

J. Hidalgo (1)

M. Pastor (1)

(1) C.I.F.A. "Alameda del Obispo" Córdoba. (2) C.I.F.A. "La Mojonera" Almería.
Consejería de Agricultura y Pesca



5.1. INTRODUCCIÓN

El aumento creciente de las necesidades de agua para abastecimiento urbano e industrial y la escasez de la misma, sobre todo en países de zonas áridas o semiáridas, como los de la cuenca mediterránea, hace que cada vez exista menor cantidad de agua de buena calidad para el riego agrícola. La utilización de aguas con altos contenidos de sales parece que puede ser un recurso muy importante a medio y largo plazo para el desarrollo de áreas de cultivo de determinadas especies en regadío.

No cabe duda, que todo esto tiene que ir acompañado de estudios sobre la tolerancia de las especies y variedades, incluidos la prospección genética y la realización de cruzamientos y selección para mejorar su capacidad para tolerar condiciones adversas provocadas por este elevado contenido de sales tanto en el agua de riego como en el suelo, así como la realización de estudios sobre las diversas técnicas de manejo del riego y suelos en los cultivos, y tecnologías del riego y drenaje, que hagan que el impacto sobre la productividad de los suelos y el medio ambiente sea mínimo.

La optimización de la producción conlleva la aplicación de un conjunto de prácticas de manejo en las que el tipo de cultivo, la calidad del agua y las propiedades físicas y químicas del suelo tienen una gran importancia.

5.2. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua para el riego es un concepto relativo y depende de múltiples factores entre los que se encuentran el cultivo a regar, el suelo, el clima (fundamentalmente pluviometría) y el sistema de riego y su manejo.

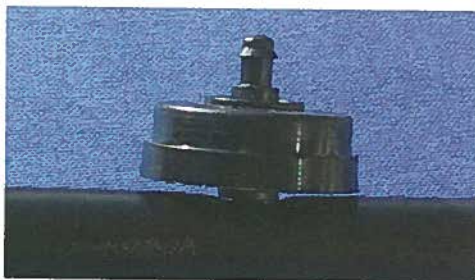


Foto 5.1 El riego por goteo de alta frecuencia es el método más adecuado para el riego con aguas salinas.



La clasificación de las aguas, según FAO, se realiza en base al grado de restricción de su uso, utilizando tres criterios:

- **Salinidad:** Representa la cantidad total de sales inorgánicas disueltas en el agua. Los iones más frecuentes son sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), potasio (K^+), bicarbonato (HCO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) y cloruro (Cl^-) expresándose la cantidad de cada uno de ellos presente en la disolución en meq/l o mmol/l o mg/l.

La conductividad eléctrica a 25 °C es el término más utilizado para representarla siendo las unidades empleadas para su medida y sus equivalencias las siguientes:

$$\begin{aligned} \text{dS/m} &= \text{mS/cm} = \text{mmho/cm} \\ \mu\text{S/cm} &= \mu\text{mho/cm} \\ \text{mg/l} \\ 1000 \mu\text{S/cm} &= 1 \text{ mS/cm} \\ 1 \text{ mS/cm} &\Leftrightarrow 10 \text{ meq/l} \Leftrightarrow 640 \text{ mg/l} \\ \text{Presión osmótica (atm)} &= 0.36 \times \text{CE (dS/m)} \end{aligned}$$

- **Sodicidad:** Afecta a la estabilidad estructural del suelo. El índice más utilizado es la relación de absorción de sodio (**SAR**) definido como:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}{2}}}$$

viniendo expresados Na^+ , Ca^{++} y Mg^{++} en meq/l, valores que nos proporciona el análisis del agua de riego.

Teniendo en cuenta la posibilidad de precipitación de algunas sales, es más conveniente utilizar el **SAR ajustado**, calculado como:

$$\text{SARaj} = \frac{\text{Na}^+ \cdot \text{Fc}}{\sqrt{\frac{\text{Ca}_{\text{eq}} + \text{Mg} \cdot \text{Fc}}{2}}}$$

siendo **Fc** un factor de concentración dependiente de la fracción de lavado y profundidad de suelo y **Ca_{eq}** la concentración de Ca estimada en la solución del suelo obtenida por el procedimiento gráfico propuesto por FAO, procedimiento descrito por Pizarro (1990).

- **Tóxicidad iónica específica:** La presencia de iones en los tejidos de las plantas a concentraciones superiores a las toleradas origina, dependiendo de la naturaleza y concentración de los iones, lesiones características en ellos. Como ejemplo de ello podemos citar los iones **sodio, cloruro y boro**. Generalmente se suelen presentar síntomas específicos más severos en los cultivos leñosos que en los herbáceos.

5.3. EFECTOS DE LA SALINIDAD SOBRE EL CRECIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Los cultivos y los distintos cultivares de un mismo cultivo, presentan diferente tolerancia a la salinidad. Hay multitud de datos en cuanto a la respuesta de distintos cultivos a la salinidad basados en estudios realizados bajo unas condiciones estándar determinadas. En ellos se observa que el rendimiento de los distintos cultivos no se ve reducido hasta que la salinidad rebasa un **umbral**, a partir del cual el rendimiento empieza a disminuir de forma lineal (Mass y Hoffman). Matemáticamente lo anterior se expresa por la siguiente ecuación lineal simple:

$$Y_r = 100 - p \cdot (CE_{es} - CE_u)$$

Siendo:

Y_r = Rendimiento relativo expresado en % de la producción obtenida en condiciones normales.

P = % de disminución del rendimiento por unidad de aumento de la CE del extracto saturado del suelo.

CE_{es} = Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo expresado en dS/m.

CE_u = Valor umbral de la conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo a partir del cual se produce una disminución del rendimiento.

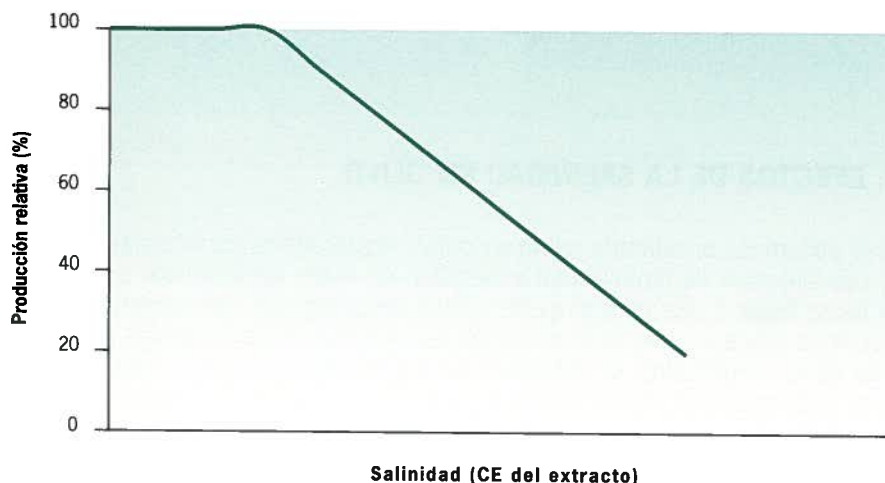


Figura 5.1 Modelo de variación de la producción con la salinidad en los cultivos (Maas y Hoffman)

El valor de la conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo que hace el rendimiento del cultivo igual a 0 nos sirve para evaluar **la máxima tolerancia a la salinidad** del mismo, así como para calcular las necesidades de lavado del suelo.

Hay una respuesta diferencial del cultivo a la salinidad en función de las condiciones climáticas y edáficas, manejo agronómico y del riego, variedad y sensibilidad del mismo en cada uno de sus estados vegetativos o reproductivos.



Foto 5.2 Filtro automático de mallas que proporciona muy buenos resultados en las modernas instalaciones.

La reducción del crecimiento y del rendimiento son atribuibles básicamente a una disminución del potencial osmótico de la solución del suelo reduciendo las disponibilidades de agua para el cultivo, o a una concentración elevada de algunos iones en los tejidos de la planta (Na y Cl principalmente) y/o a una deficiencia nutricional causada por iones antagonistas (Cl⁻ y NO₃⁻ por ejemplo).

La presencia de sales eleva el componente osmótico del potencial de agua del suelo, lo que se traduce finalmente en un gasto extra de energía para la extracción de una determinada cantidad de agua.

5.4. EFECTOS DE LA SALINIDAD EN OLIVO

El olivo podemos considerarlo como un cultivo moderadamente tolerante a la salinidad. Los síntomas de fitotoxicidad específica por sales suelen tardar en aparecer, pero hasta llegar a ese estado existen otros síntomas que son característicos de condiciones salinas, como la disminución del crecimiento de los brotes y el acortamiento de los entrenudos, la reducción del tamaño de las hojas y frutos, la alteración en la composición de los tejidos de la planta y de los ácidos grasos presentes en el aceite , el aumento de la materia seca, el rendimiento graso y la extractabilidad industrial del aceite, así como la disminución de la humedad del fruto y finalmente la reducción de la producción.

Estudios recientes realizados con olivos jóvenes cultivados en pequeños contenedores de plástico han demostrado una respuesta diferencial en cuanto al crecimiento de las distintas variedades frente a la aplicación de aguas salinas (Benlloch y col., 1994; Tattini y col., 1992). Así, las variedades Pajarero y Leccino son consideradas como moderadamente sensibles; Gordal, Manzanilla, Hojiblanca, Frantoio y Koroneiki como moderadamente tolerantes; y Picual y Lechín como tolerantes. Sin embargo, la tolerancia de los árboles adultos cuando se les cultiva en condiciones de campo puede ser distinta a la obtenida con plantas jóvenes creciendo en contenedores.

En comparación con otras especies arbóreas, el olivo es más tolerante que los cítricos pero menos que la palmera (**Tabla 5.1**). Bernstein afirma que la productividad se ve reducida en un 10% cuando la CE del extracto saturado del suelo se sitúa entre 4-6 dS/m, y que este valor puede llegar a 6-8 dS/m cuando el suelo contiene elevados niveles de calcio, siendo éstos valores mayores que los presentados en la **Tabla 5.1**.

Tabla 5.1

DESCENSOS DE PRODUCCIÓN ESPERADOS DEBIDO A LA SALINIDAD DEL AGUA DE RIEGO (dS/m) (MASS Y HOFFMAN, 1977)

CULTIVO	0 %		10 %		25 %		50 %		100 %
	CEes	CEag	CEes	CEag	CEes	CEag	CEes	CEag	CEes
OLIVO	2,7	1,8	3,8	2,6	5,5	3,7	8,4	5,6	14,0
CITRICOS	1,7	1,1	2,3	1,6	3,2	2,2	4,8	3,2	8,0
PALMERA DATILERA	4,0	2,7	6,8	4,5	10,9	7,3	17,9	12,0	32,0

CEes= CE del extracto saturado del suelo; CEag= CE del agua de riego

Otros autores (Rugini y Fideli, 1990) afirman que el límite de tolerancia del olivo cuando se riega con aguas que contienen sólo sales de cloruro sódico (NaCl) está en 8 g/l (12 dS/m aproximadamente). Sin embargo, podría tolerar mayores niveles de CE si las sales de NaCl sólo representan una pequeña proporción sobre las sales totales.

Considerando la tolerancia definida de acuerdo con los criterios de Mass y Hoffman (1977), el umbral de tolerancia podría situarse alrededor de 4 dS/m y puede llegar a 6 dS/m en variedades más adaptadas a la salinidad, mientras que la disminución relativa del rendimiento podría estar en torno al 7,7-5,5% respectivamente (pendiente de la recta) por cada unidad de aumento de la CE del extracto saturado.

5.5. UN EXPERIMENTO EN CAMPO

El efecto que la salinidad tiene sobre olivos en crecimiento en condiciones de campo está siendo estudiado en la actualidad. Se trata de un olivar joven plantado en primavera de 1977 en La Cañada (Almería) localidad con una muy baja pluviometría, ideal para este tipo de experimentos. Se emplearon plantas de un año de edad obtenidas por autoenraizamiento bajo nebulización de estaquillas semileñosas de la variedad Arbequina y formado con un solo tronco. Durante el primer año (1997) los olivos de los distintos tratamiento salinos se regaron con agua de buena calidad y de la misma conductividad, estableciéndose al año siguiente (1998) los tratamientos salinos diferenciales. Estos se prepararon con ayuda de una máquina de riego, a base de cloruro sódico, pero corrigiendo con cloruro cálcico el valor del SAR hasta valores comprendidos entre 8 y 10, de modo que el suelo no sufriese un deterioro que enmascarase los resultados, aplicando igualmente una fracción de lavado del 40-50%.



Foto 5.3 Olivar de 3 años de edad en la Cañada (Almería) en donde se realiza un ensayo para caracterizar la respuesta del olivo a la salinidad aplicándose aguas con diferentes niveles de conductividad eléctrica.

En las **Figuras 5.2 y 5.3** se presentan los datos de pérdida relativa de **producción de aceituna y de aceite** en función de la CE del agua de riego aplicada a lo largo de la campaña (valor en este caso muy próximo al del extracto saturado), correspondientes a las dos primeras cosechas recogidas, años 1999 y 2000.



5. Calidad del agua de riego. Efecto de la salinidad en el olivar

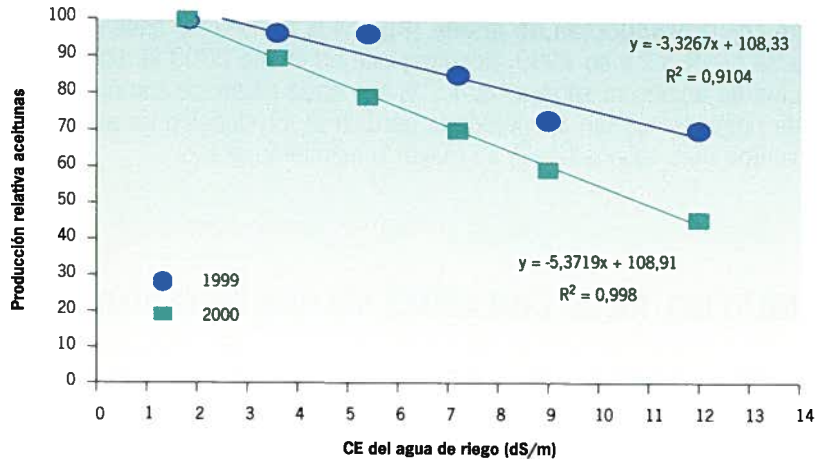


Figura 5.2 Producciones relativas de aceitunas en los años 1999 y 2000 en olivos regados con aguas de distinta conductividad eléctrica. Olivar de la variedad 'Arbequina' La Cañada (Almería).

Se observa una disminución más acentuada de las producciones (**Figura 5.2**) en el año 2000 que en el 1999 debido fundamentalmente al menor volumen de copa de los árboles (datos no presentados) sometidos a los riegos con aguas de mayor salinidad, que se va acentuando a medida que pasan los años. Los datos presentados en el gráfico muestran igualmente una pérdida de producción en 1999 de 3,3 % (pendiente de la recta de regresión) por cada dS/m de aumento de la CE del agua de riego, mientras que en el año 2000 dicha pérdida de producción se eleva ya hasta el 5,3 %.

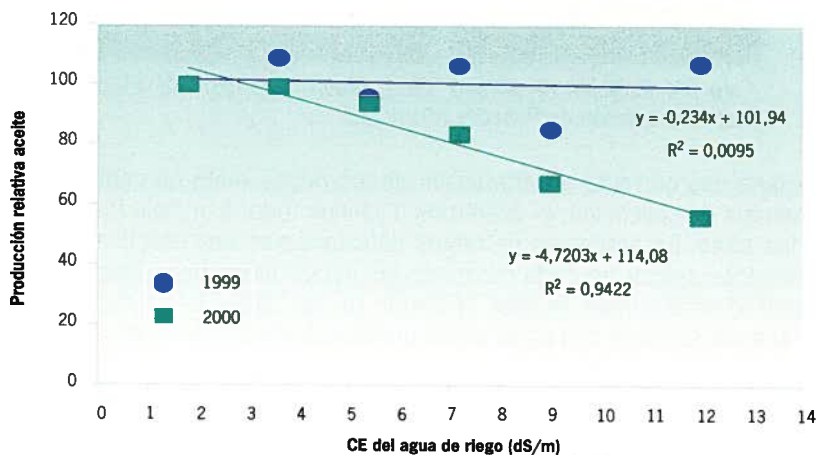


Figura 5.3 Producciones relativas de aceite en los años 1999 y 2000 en olivos regados con aguas de distinta conductividad eléctrica. Olivar de la variedad 'Arbequina' La Cañada (Almería).

Igual ocurre con la **producción de aceite (Figura 5.3)**. En este caso no se observa pérdida de producción en 1999, mientras que en el año 2000 la disminución de la producción de aceite se sitúa en el 4,7 % por cada dS/m de aumento de la CE del agua de riego. No es tan acentuada la pérdida de producción de aceite porque los tratamientos más salinos tienen un mayor rendimiento graso.

5.6. MANEJO DEL RIEGO CON AGUAS SALINAS EN OLIVAR

Cuando se riegue con aguas salinas debemos de evitar una acumulación de sales en el suelo y zona radical del olivo, además de mantener permanentemente, dentro de lo posible, un contenido de agua en el suelo relativamente alto. En el primer caso hemos de aplicar una mayor cantidad de agua de la que la planta necesita, lo que se conoce como **agua de lavado**, necesaria para arrastrar las sales a zonas del suelo que no perjudiquen al olivo, y en segundo lugar aumentar la frecuencia de riego para que el potencial del agua en el suelo no disminuye excesivamente.



Foto 5.4 Estación de filtrado mixta, provista de filtro de arena y malla. Instalación en Posadas (Córdoba).

Es necesaria una correcta programación de los riegos tanto en cantidad como en los momentos de aplicación, si queremos disminuir todo lo posible los efectos nocivos de las sales. La aplicación de riegos deficitarios es una práctica desaconsejada, debiéndose aplicar en cada momento las necesidades del cultivo más un volumen complementario para realizar el lavado de las sales. La cantidad de agua a aportar cuando se riega con agua salina puede calcularse del modo siguiente:

$$R_b = R_n / (1 - NL)$$

Siendo:

R_n = necesidades de riego cuando se emplea agua de buena calidad

R_b = necesidades de riego cuando se emplea agua salina



La cantidad de agua necesaria para el lavado se suele obtener en base a un coeficiente o fracción (NL) calculado como:

$$NL = CE_{ag} / 2 * maxCE_{es}$$

siendo

NL= fracción de la lavado, es el coeficiente a aplicar para mayorar las necesidades de riego calculadas sin considerar las sales presentes en el agua de riego.

CE_{ag}= Conductividad eléctrica del agua de riego (dS/m).

maxCE_{es}= Conductividad eléctrica del extracto saturado del suelo que hace que el rendimiento del cultivo sea 0. No existen valores muy fiables de este parámetro, Mass y Hoffman (**Tabla 5.1**) lo cifran en 14 dS/m.

Por ejemplo, si pretendemos regar un olivar con un agua que tiene una CE_{ag} = 4 dS/m, y la dosis de agua diaria, si se emplease agua de buena calidad, fuese **R_n = 100 litros/día**, la dosis de riego a emplear (**R_b**) será:

$$NL = 4 / (2 \times 14) = 0,14 \qquad R_b = 100 / (1 - 0,14) = 116 \text{ l / día}$$

El **lavado** está estrechamente relacionado con el desarrollo del cultivo y con su rendimiento, con el sistema de riego y con las propiedades físicas del suelo. Para un manejo eficiente del lavado se recomienda:

- la utilización de aguas para el mismo de CE menor que la que tiene el suelo, y si es posible más bajas que la del agua de riego;
- el lavado en periodos frios en los que la evapotranspiración es baja;
- no aplicarlo en cada riego, sobre todo cuando hay problemas de drenaje en el suelo ya que puede provocar un estado de saturación permanente en el sistema radicular con lo perjudicial que esto es para el olivo;
- evitar en lo posible malas hierbas que dejen canales o poros en el suelo que puedan conllevar un drenaje preferencial disminuyendo así la eficacia del lavado;
- la utilización de mejorantes del suelo como el yeso o el ácido sulfúrico (en suelos calizos) entre otros porque liberan el sodio y aumenten la permeabilidad del mismo favoreciendo el lavado.

El **sistema de riego** tiene mucha influencia en la producción del cultivo y en la acumulación y distribución de las sales en el perfil del suelo. Así, los riegos localizados de alta frecuencia que mantienen una continua humedad elevada en el suelo son muy aconsejables, aunque se puedan presentar problemas puntuales de obstrucción de emisores (problema a resolver manteniendo un adecuado pH del agua de riego). En estos sistemas las sales se van concentrando en la periferia de los bulbos húmedos, por lo que en caso de lluvias se hace obligado el continuar regando para que no haya una redistribución de sales en el interior que puedan dañar el cultivo ("**Cuando llueva, riegue**").

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENLLOCH, M., MARÍN, L., FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R., 1994. Salt tolerance of various olive varieties. *Acta Hort.*, 356: 215-217.
- MAAS, E.V., HOFFMAN, G.O., 1977. Crop salt tolerance-Current assessment. *J. Irrig. Drain. Div. Proc. Amer. Soc. Eng.* 103: 115-134.
- PIZARRO, F., 1990. Riegos localizados de alta frecuencia. *Goteo. Microaspersión. Exudación.* Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 2ª ed. 131-139.
- RUGINI, E., FEDELI, E., 1990. Olive as an oilseed crop. In: *Bio-technology in Agriculture and Forestry* (Bajaj, Y.P.S., ed.), Legume and oilseed Crops I. Vol. 1: 593-641 Springer, Berlin.
- TATTINI, M., BERTONI P., CASELLI, S., 1992. Genotypic responses of olive plants to sodium chloride. *J. Plant Nutr.* 15(9): 1.467-1.485.



6

**FERTILIZACIÓN
DEL OLIVAR
REGADO POR
GOTEO**

Miguel Pastor (*)
Victorino Vega (*)

(*) C.I.F.A. Alameda del Obispo. Córdoba. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía

6.1. INTRODUCCIÓN

El abonado es una práctica de cultivo que tiene por objeto restituir al suelo los nutrientes que la planta extrae, o enriquecer éste cuando la concentración en uno o varios elementos es insuficiente como para asegurar la correcta alimentación del olivar.

Aunque en condiciones normales el coste económico del abonado del olivar no es muy alto, comparado con el de otras prácticas culturales, el abonar correctamente no es una técnica sencilla, debiendo encomendarse la programación del abonado a **un técnico especialista**.



Foto 6.1 Laboratorio para análisis foliares instalado por Caja Rural Jaén, instrumento que permite un asesoramiento en fertirriego a los agricultores.

En la programación del abonado debe tenerse en cuenta simultáneamente los siguientes factores:

- el tipo de suelo y su contenido en elementos fertilizantes, considerando la capacidad de este para bloquear o adsorber los nutrientes,
- la productividad media del olivar y el desarrollo vegetativo de los árboles,
- las extracciones de nutrientes por la cosecha
- el historial del abonado realizado en años anteriores,
- el estado nutritivo del árbol determinado mediante el análisis de hojas en muestras realizados en el mes de julio (la información que nos suministra esta analítica es solo orientativa porque se desconoce con suficiente precisión cuales son los patrones de referencia para las diferentes zonas y variedades),
- eventuales síntomas visuales de deficiencias,
- contenido en nutrientes de las aguas empleadas para el riego, así como otras eventuales aportaciones.

En base a todo ello se podrá hacer un **programa sostenible de abonado** que permita una buena producción, y además mantener a largo plazo la fertilidad del suelo.

En los olivares regados por goteo, en los que la producción se suele elevar muy por encima de la de secano, la aplicación de abonos junto con el agua de riego nos parece fundamental, especialmente en los años secos, en los que el árbol debe extraer del bulbo humedecido, de reducida dimensión en la mayoría de las instalaciones (2 goteros por olivo), todos los nutrientes, por lo que si no se fertirriega acabaremos por empobrecer esta zona del suelo, y muy probablemente ocasionando deficiencias nutritivas, como ya se ha documentado en otros cultivos. Este hecho ya se ha observado en algunas comunidades de regantes de Jaén, especialmente en el año 1999, y en general en todos los años secos. La **Figura 6.1** ilustra la problemática anterior. Por ejemplo, en una situación en la que se disponía de un suelo con un contenido adecuado de potasio, y que es capaz de ceder el potasio con facilidad, y un olivar muy productivo (más de 10t/ha), y se siguieron las indicaciones del análisis foliar, no aportándose en este caso cantidad alguna de potasio al observarse niveles de potasio en hoja por encima del adecuado, se produjo a largo plazo un empobrecimiento del suelo en este elemento. Vemos como el suelo que llevaba ya 15 años cultivándose de olivar se observaron niveles de K asimilable en torno al 25% más bajos que en el olivar que solo llevaba 7 años de cultivo.



6. Fertilización del olivar regado por goteo

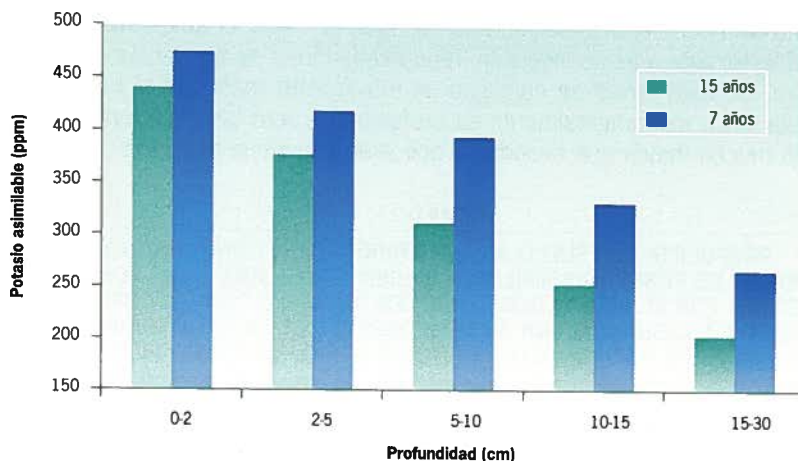


Figura 6.1 Contenido de potasio asimilable (ppm) en suelo, en dos parcelas de olivar que vegetan en idéntico suelo en parcelas contiguas distantes 25 metros, en las que no se han realizado abonados de potasio desde la plantación como consecuencia del diagnóstico foliar. Ambas parcelas regadas por goteo sostienen una producción media de aceitunas superior a 10.000 Kg/ha

En una primera aproximación las extracciones de nutrientes de un olivar por cada tonelada de cosecha, incluyendo producción de frutos, hojas, brotes y madera, y teniendo en cuenta asimismo la eficiencia del abonado debido a las pérdidas por lixiviación, y bloqueo de nutrientes, podrían cifrarse en **15 Kg de N, 4 Kg de P₂O₅, 25 Kg de K₂O**; por lo que a un olivar con una producción de 5.000 Kg/ha (50 Kg/olivo si tuviese una densidad de plantación de 100 árboles por hectárea) habría que restituirle anualmente:

$$\begin{aligned}75 \text{ Kg /ha de N} &= 750 \text{ g/olivo N} \\20 \text{ Kg /ha de P}_2\text{O}_5 &= 200 \text{ g/olivo P}_2\text{O}_5 \\125 \text{ Kg /ha de K}_2\text{O} &= 1.250 \text{ g/olivo K}_2\text{O}\end{aligned}$$

Parte del nitrógeno (N) podría aportarse como abonado de fondo a final del invierno (20-25%) y el resto en fertirrigación, a lo largo de todo el período de riego. Sin embargo, si el olivar viene siendo bien abonado en años anteriores, y si comienza pronto la campaña de riegos (mes de marzo), puede aportarse la totalidad del N en fertirrigación muy fraccionada, a lo largo de la campaña. En los cítricos, árbol de parecido comportamiento al olivar, se ha demostrado que las primeras necesidades de **N**, al principio de la primavera, las cubre el árbol movilizándolo sus propias reservas en madera y hojas, por lo que no se considera necesario su aportación hasta abril. Probablemente en el olivar ocurra algo parecido. Si aplicásemos este criterio probablemente evitaríamos pérdidas por lixiviación de nitratos cuando sucediesen primaveras lluviosas.

El **fósforo** (P_2O_5) debe aportarse junto con el agua de riego. El **ácido fosfórico** (52% P_2O_5) es el fertilizante más aconsejable, recomendándose su aportación en el período marzo-mayo. De esta forma se consigue un movimiento razonable del fósforo en el suelo (**Tabla 6.1**), fundamentalmente en profundidad, pero también horizontalmente, movimiento mucho mayor que cuando se aplica en superficie de forma convencional.

Tabla 6.1

RESPUESTA DEL SUELO A LA FERTIRRIGACIÓN CON FÓSFORO. CONTENIDO DE FÓSFORO ASIMILABLE (OLSEN) EN EL SUELO, BULBOS Y ZONA NO AFECTADA POR EL RIEGO LOCALIZADO, EN UN SUELO CON UN CONTENIDO EN CARBONATO CÁLCICO SUPERIOR AL 50%, DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DURANTE TRES AÑOS DE 0,75 Kg/OLIVO Y AÑO DE ÁCIDO FOSFÓRICO (52% P_2O_5)

	DISTANCIA AL EMISOR			FUERA DEL BULBO
	0 cm	25 cm	50 cm	
0-20 cm	22,6	10,4	3,3	2,4
20-40 cm	35,5	20,7	1,7	1,4
40-60 cm	28,3	8	1,3	0,6

Finalmente el **potasio** (K), que es el nutriente que mayores problemas nutricionales plantea en la mayor parte del olivar de Andalucía, a pesar de que muchos de los suelos son ricos en este elemento. Sin embargo el K se encuentra adsorbido por las arcillas del suelo, no estando en muchos casos disponible para la planta, existiendo asimismo un considerable bloqueo por el carbonato cálcico, muy abundante en estos suelos. Una forma muy eficaz de suministrar el potasio al olivo es mediante aplicaciones foliares (2-4 tratamientos al año) en las épocas de mayor actividad vegetativa, tal como vemos en los datos presentados en la (**Figura 6.2**), en la que se observa un aumento medio de producción del 30% con respecto al olivar no tratado con potasio.



Foto 6.2 Hojas de olivo que muestran unos claros síntomas de deficiencia en potasio después de una gran cosecha.

Se han mostrado eficaces desde el punto de vista de la producción las pulverizaciones con **nitrate potásico** (1,5 y 2,5%), **sulfato potásico** (2,5%), **cloruro potásico** (2%) y **carbonato potásico** (1%). En el caso del nitrato potásico mostraron similar eficacia las pulverizaciones empleando concentraciones del 1,5 % y con el 2,5 %, lo que sugiere que es más eficaz el aumento del número de aplicaciones que el aumento de la dosis de fertilizante empleada en cada aplicación.



6. Fertilización del olivar regado por goteo

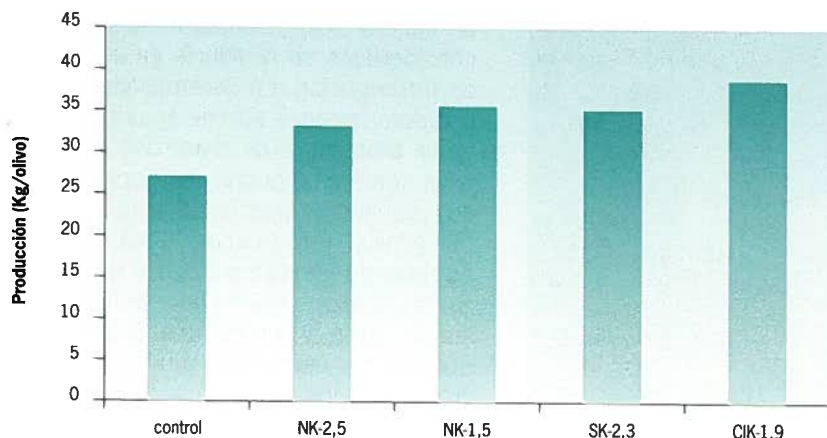


Figura 6.2 Respuesta del olivar de riego a aportaciones foliares con diferentes abonos potásicos. El trabajo ha sido realizado durante 5 años en Córdoba en un olivar con marco 6x6 m regado anualmente con 1.500 m³/ha de agua. Los abonos empleados han sido nitrato potásico (NK), sulfato potásico (SK) y cloruro potásico (ClK), realizándose anualmente 3 aplicaciones (primavera, verano, otoño). A continuación del tipo de abono empleado se expresa la dosis aplicada (%).

Mediante la aportación de potasio en fertirrigación se consigue un enriquecimiento del bulbo en potasio asimilable, tanto en profundidad como horizontalmente (**Tabla 6.2**). Sin embargo, los efectos sobre el olivo suelen tardar 2 a 3 años en manifestarse, habiéndose observado unos considerables aumentos en el contenido de **K** en hoja en olivares fertirrigados. Tras 2-3 años de aplicación en fertirrigación, el abonado potásico acaba siendo rentable desde el punto de vista de la producción, con la condición de que no se varíe la posición de los goteros, lo que permite enriquecer permanentemente el bulbo húmedo.

La utilización de soluciones fertilizantes que contengan nitrato, cloruro o sulfato potásico es siempre recomendable. Podría programarse la aportación del 20-25% del K en forma foliar, y el resto junto con el agua de riego (80-75%).

Tabla 6.2

RESPUESTA DEL SUELO A LA FERTIRRIGACIÓN POTÁSICA. CONTENIDO DE POTASIO ASIMILABLE EN EL SUELO, BULBOS Y ZONA NO AFECTADA POR EL RIEGO LOCALIZADO (FUERA), EN UN SUELO CON UN CONTENIDO EN CARBONATO CÁLCICO SUPERIOR AL 50%, DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DURANTE TRES AÑOS 2,0 Kg/OLIVO Y AÑO DE NITRATO POTÁSICO (46% K₂O).

	DISTANCIA AL EMISOR			FUERA
	0 cm	25 cm	50 cm	
0-20 cm	320	485	410	180
20-40 cm	370	430	270	114
40-60 cm	365	335	157	96



Foto 6.3 Las 4 hojas centrales muestran claros síntomas de clorosis típica de deficiencia en hierro, normal en suelos muy calizos. En los extremos hojas normales de olivos sanos. Obsérvese como la clorosis ha reducido además el tamaño de las hojas.

En general solo estos nutrientes suelen ser considerados en Andalucía en un programa de fertirrigación. En determinados suelos y con determinados tipo de agua pueden aparecer problemas de carencias de **hierro**, cuya corrección podría realizarse, sin grandes problemas, inyectando junto con el agua 50 g/olivo (en marcos tradicionales) de **quelato de hierro Fe-EDDHA** (6% de riqueza en hierro), repartiendo esta dosis en marzo, junio y septiembre (**Figura 6.3**). Cuando los olivos son muy grandes o el grado de clorosis es grande también, es necesario comenzar la corrección con dosis mucho mayores, 100-150 gramos por planta, disminuyendo esta dosis en años sucesivos. Los tratamientos al suelo con fosfatos de hierro hidratados (**vivianita**), a largo plazo pueden dar un buen resultado, aunque en ocasiones puede tardar un cierto tiempo en manifestarse los resultados, aunque si el grado de clorosis es grande, habría que comenzar por recuperar los árboles rápidamente, aportando previamente **Fe-EDDHA** a la dosis más adecuada.

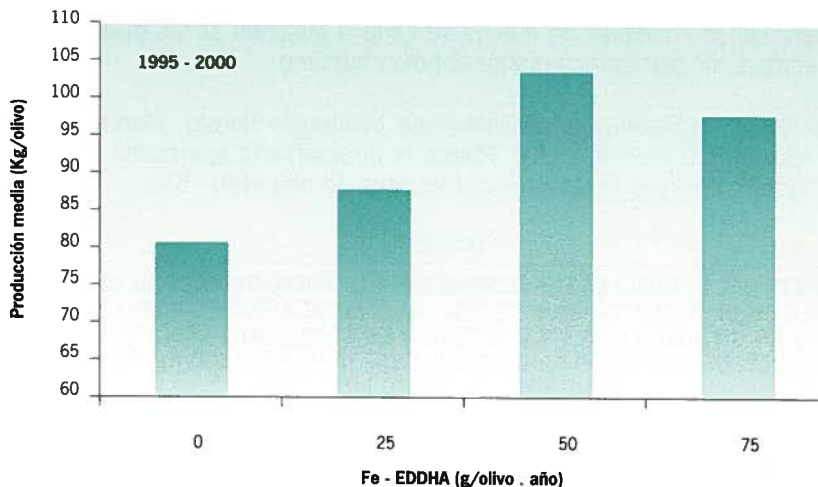


Figura 6.3 Respuesta de olivos adultos de riego a aportaciones anuales de Fe-EDDHA (Sequestrene) en fertirrigación, tras 6 años seguidos de realización sistemática de los tratamientos con quelato.



Los restantes elementos pueden suministrarse vía foliar cuando el análisis de hoja detecte niveles bajos o deficiencias, y en ocasiones al suelo. Es el caso de niveles bajos de **Ca**, en cuyo caso probablemente se imponga la necesidad de practicar una enmienda al suelo (**encalado**), como paso previo a la aplicación de un programa de fertirriego.

En muchas ocasiones el oliverero restringe la cantidad de dinero que quiere emplear en fertilización. En este caso la prioridad es suministrar siempre el elemento nutritivo que pueda encontrarse en niveles bajos o en deficiencia (**ley de los mínimos**), y si este hecho no ocurriera, el **nitrógeno** es el elemento que casi siempre suele ser más rentable, debiéndose recomendar casi siempre en Andalucía la aplicación foliar de **potasio**, que tiene un coste económico razonable cuando se aprovechan los tratamientos fitosanitarios para aportarlo.



Foto 6.4 Hojas que muestran una deficiencia típica en calcio, corroborada mediante el correspondiente análisis foliar. Los olivos vegetan en un suelo arenoso con pH próximo a 5. El encalado se hace necesario en estos casos.

6.2. PROGRAMACIÓN DEL FERTIRRIEGO

En base a lo expresado anteriormente, vamos a resolver un caso práctico, y simultáneamente presentaremos las herramientas básicas para llevar a cabo dicha programación.

El esquema a seguir es el siguiente:

- 1.- Evaluar las extracciones del cultivo en función de la capacidad productiva de la plantación.
- 2.- Estudiar los análisis de suelo, para conocer las posibilidades de que éste aporte o no las necesidades, y en determinados casos tratar de aumentar la fertilidad del suelo.
- 3.- Estudiar los análisis de agua de riego, ya que esta puede aportar, en ocasiones, una buena parte de las exigencias nutritivas (**N, Ca, Mg, K**). Por otro lado, el agua puede necesitar la aportación de correctores para evitar obturaciones de

los emisores (**ácido nítrico y/o fosfórico**), en cuyo caso hay que evaluar las aportaciones de **N** y **P** respectivamente.

- 4.- Conocer el estado nutritivo de la plantación (**análisis foliar**), con la finalidad de corregir al alza o a la baja la aportación de fertilizantes con respecto a las teóricas necesidades, teniendo en cuenta si el contenido en hoja de un determinado nutriente resulta ser deficiente o alto, respectivamente.
- 5.- Calcular las necesidades totales a aportar anualmente y su distribución a lo largo del período de riegos.
- 6.- Elegir los fertilizantes apropiados para fertirriego, y así cubrir las necesidades.

6.3. UN CASO REAL

Vamos a realizar un programa de abonado para un olivar tradicional dedicado a la producción de aceituna de almazara, plantado con 80 olivos/ha, que produce 5.800 Kg aceituna por hectárea, que recibe anualmente un volumen de agua de riego de 1.500 m³/ha con riegos en el período marzo-octubre con cantidades fijas mensuales de 187,5 m³/ha, programa de contrastada eficacia para un año de pluviometría media en la provincia de Jaén (ETo= 1.200 mm, pluviometría media 500 mm/año, y suelos profundos y arcillosos). En la **Tabla 6.3** se muestran los resultados del análisis de suelos realizado, así como la interpretación de los mismos. La **Tabla 6.4** muestra los resultados del **análisis foliar**, en muestreo realizado en el mes de julio, presentándose igualmente en la misma los valores adecuados de referencia (Freeman y col., 1994), para su interpretación. Finalmente la **Tabla 6.5** muestra los análisis del agua utilizada para el riego de este olivar.



Foto 6.5 Bomba de pistón en una clásica instalación de fertirrigación en olivar. El modelo de la fotografía permite regular con cierta facilidad el caudal inyectado.

Para el estudio e interpretación de los análisis de suelos y agua presentamos las **Tablas 6.6 a 6.9**, que ilustran la interpretación de los resultados de materia orgánica, el cálculo del nitrógeno aportado por la nitrificación del humus, fósforo (Olsen) y potasio asimilable.



Foto 6.6 Bomba inyectora de membrana de gran capacidad de inyección en una Comunidad de Regantes de 1.500 hectáreas en Torreperogil (Jaén).

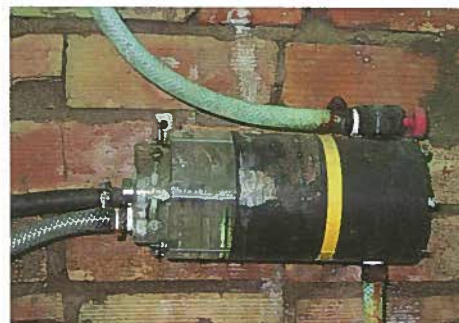


Foto 6.7 Detalle de bomba inyectora hidráulica, artilugio que permite trabajar sin necesidad de corriente eléctrica, consiguiéndose regular el caudal de inyección de solución fertilizante regulando asimismo la presión de suministro a la bomba. Puede programarse su funcionamiento mediante un sencillo y económico programador de jardín.

Las aportaciones de nutrientes por el agua de riego vienen dadas por la expresión:

$$\text{kg/ha NUTRIENTE} = \frac{[\text{NUTRIENTE}] \times \text{VR} \times \text{Ctr}}{100.000} \times \text{Ef}$$

[NUTRIENTE] = Concentración del nutriente en el agua de riego en mg/l

VR= volumen de riego (m³/ha);

Ctr= coeficiente de transformación (Nitrato= 22,6; Magnesio= 166,6; Potasio= 182)

Ef= factor de eficiencia en función del método de riego

NO₃= 0,85 ; Mg= 0,35; K= 0,85.

Para el tipo de agua con la que regamos (Tabla 5) la aportación anual de **nitrógeno** resultante es:

$$N = \frac{75,3 \times 1.500 \times 22,6}{100.000} \times 0,85 = 21,41 \text{ kg/ha}$$

Las aportaciones de **K** y **Mg** por agua de riego son en este caso resultan despreciables desde el punto de vista de la programación del abonado.

La **nitrificación del humus** del suelo (ver **Tabla 6.7**) aportaría anualmente **10 Kg N/ hectárea** en función de la materia orgánica y de contenido en carbonato cálcico, según análisis de suelos. Luego la aportación total de **N** por el agua de riego más la nitrificación será de **31,41 Kg/ha**.

El siguiente paso es el cálculo de las extracciones de nutrientes por la cosecha media de 5,8 t/ha de aceitunas:

$$\begin{aligned}N &= 5,8 \text{ t/ha} \times 15 \text{ kg/t} = 87 \text{ kg/ha} \\P_{205} &= 5,6 \text{ t/ha} \times 4 \text{ kg/t} = 23,2 \text{ kg/ha} \\K_{20} &= 5,8 \text{ t/ha} \times 25 \text{ kg/t} = 145 \text{ kg/ha}\end{aligned}$$

El **análisis de suelo (Tabla 6.3)** nos dice que el éste presenta valores muy bajos en P y alto en potasio, en función de la textura del suelo. Los datos del **análisis foliar (Tabla 6.4)**, realizados el verano anterior, nos dicen que los olivos presentan niveles bajos en **P** y **K**, por lo que son necesarias correcciones al alza; y niveles adecuados en **N, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu y B**, por lo que no se proponen correcciones para ellos.

Las **Tablas 6.10 a 6.12** muestran una propuesta para la corrección de las dosis de abonado N, P y K, inspirada en los valores propuestos por Legaz y col., (1995) en citricultura. En función de dichas tablas, proponemos:

Reponer las extracciones calculadas de **N** una vez hechas las reducciones por nitrificación de humus y por aportación del agua de riego.

$$N = 87,00 - 31,41 = 55,69 \text{ kg/ha}$$

Para el caso del **P**, al existir un alto contenido de carbonato cálcico en el suelo (>20%), existir un nivel muy bajo de **P** en suelo (**Tabla 6.3**) haber un nivel de **P en hoja** por debajo del adecuado (**Tabla 6.4**) y de acuerdo con la **Tabla 6.11**, se propone aumentar la dosis de restitución propuesta en un 120%, resultando unas necesidades totales de:

$$P_{205} = 23,2 \times (1+1,2) = 51,04 \text{ kg/ha}$$

En el caso del potasio se observa un nivel de **K asimilable** en suelo alto (**Tablas 6.3 y 6.9**), mientras que el análisis foliar (**Tabla 6.4**) muestra un nivel bajo, por lo que de acuerdo con la propuesta de corrección (**Tabla 6.12**): suelo con nivel alto en K y baja concentración de K en hoja, se propone una mayoración de las extracciones en un 10%.

$$K_2O = 145 \times (1+0,1) = 159,5 \text{ kg/ha}$$



Se propone aportar foliarmente el 20% del K, es decir **31,9 kg/ha**, mientras que en fertirrigación se aportaría el 80% restante, es decir **127,6 kg/ha de K₂O**.

Volviendo al **análisis de agua (Tabla 6.5)**, vemos como la concentración de **bicarbonato** es **alta**, lo que la experiencia y el cálculo del Índice de Langelier nos hace prever un cierto riesgo de obturación de los emisores, lo cual aconseja una acidificación preventiva del agua de riego. El cálculo de la dosis de **ácido nítrico** o **ácido fosfórico** necesarias puede realizarse siguiendo el procedimiento que posteriormente describiremos. Aplicando los cálculos correspondientes resultan unas necesidades para este tipo de agua de riego de **ácido nítrico** comercial de 278 cm³/m³, que aportan también las siguientes cantidades de nutrientes:

$$278 \text{ cm}^3/\text{m}^3 \times 1,30 \text{ g/cm}^3 \times 13\% \text{N} = 47 \text{ g N} / \text{m}^3 \text{ agua}$$

si se empleara **ácido fosfórico** comercial se necesitarían 99 cm³/m³ de agua, que aportarían:

$$99 \text{ cm}^3/\text{m}^3 \times 1,58 \text{ g/cm}^3 \times 52\% \text{P}_2\text{O}_5 = 81 \text{ g P}_2\text{O}_5 / \text{m}^3 \text{ agua}$$

Teniendo en cuenta que se aportan 188 m³/ha y mes. Las aportaciones mensuales por hectárea serían:

$$8,836 \text{ kg N/mes si se acidifica con } \mathbf{\text{ácido nítrico}}$$

$$15,228 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{mes si se acidifica con } \mathbf{\text{ácido fosfórico}}$$

En este momento ya estamos en condiciones de poder calcular la demanda mensual de N, P₂O₅ y K₂O por olivo; para ello en la **Tabla 6.13**, mostramos los porcentajes mensuales para el reparto de los fertilizantes, cifras adaptadas de Dominguez Vivancos (1993), así como las demanda resultante para cada uno de ellos. Se calculan como sigue las aportaciones mensuales de **N, P₂O₅ y K₂O**:

$$\begin{aligned} \mathbf{N} &= [\text{necesidades anuales} - \text{aporte por nitrificación del humus}] \times \\ &\quad \times \% \text{ mensual N} - \text{aporte por el agua de riego} = (87-10) \times \\ &\quad \times \% \text{ mensual} - \frac{21,41}{8 \text{ meses}} = 77 \times \% \text{ mensual N} - 2,66 \text{ (kg/ha)} \end{aligned}$$

$$\mathbf{P}_2\mathbf{O}_5 = 51,04 \times \% \text{ mensual P}_2\text{O}_5 \text{ (Kg/ha)}$$

$$\mathbf{K}_2\mathbf{O} = 127,6 \times \% \text{ mensual K}_2\text{O} \text{ (kg/ha)}$$

La aportación mensual por olivo resulta de dividir las cantidades anteriores por la densidad de plantación (olivos/ha), en este caso 80.

Estos resultados se muestran en las correspondientes casillas de la **Tabla 6.13**. Teniendo en cuenta estos cálculos de necesidades, es fácil comprender que la acidificación debe hacerse con **ácido fosfórico** durante los meses de marzo, abril y mayo; en junio y julio se acidificará con **ac. fosfórico** y **ac. nítrico**, en semanas alternas; mientras que en agosto, septiembre y octubre se empleará **ácido nítrico**, lo que se muestra en la **Tabla 6.14**, en la que incluyen las aportaciones en gramos por mes y olivo que se aporta con la acidificación del agua para evitar obturaciones. Asimismo se completa el programa de abonado, proponiéndose el empleo en este ejemplo de abonos sólidos solubles:

- Nitrato amónico (34,5%) soluble para cubrir las necesidades de Nitrógeno.
- Cloruro potásico (60%) para cubrir las necesidades de K₂O (al ser el agua de buena calidad)

Vemos también como, en este caso, la acidificación con ácido fosfórico ha cubierto las necesidades del olivar en fósforo.

El trabajo de programación concluye calculando la demanda por olivo de cada uno de los fertilizantes, lo cual es fácil de realizar utilizando la **Tabla 6.14**:

Nitrato amónico soluble 34,2% N = 1,090 kg/olivo

Cloruro potásico 60% K₂O = 2,660 kg fertirriego
+ 0,666 Kg foliar
3,326 kg/olivo

Ácido nítrico 13% N = $\frac{0,517 \text{ kg}}{0,13} = 3,97 \text{ kg} <> 3,05 \text{ litros}$

Ácido fosfórico 52% P₂O₅ = $\frac{0,638}{0,52} = 1,22 \text{ kg} <> 0,776 \text{ litros}$

Finalmente decir que una vez realizados los cálculos presentados en la **Tabla 6.14**, lo mejor es estudiar la posibilidad de emplear **soluciones ácidas** preparadas, ya que su manipulación es mucho más fácil, evitando los problemas que plantea la manipulación de los abonos sólidos solubles, y la preparación de soluciones madres, lo que siempre acaba, a corto o largo plazo, por ocasionar accidentes, vertidos, obturaciones, deterioro de los materiales, etc.



Tabla 6.3

ANÁLISIS DE SUELO		
	Valores	Interpretación
pH (1 : 2,5)	7,93	Alto
Materia orgánica oxidable (%)	1,09	Bajo
Fósforo asimilable (ppm)	8	Muy bajo
Potasio asimilable (ppm)	545	Alto
Carbonatos totales (%)	27,2	Alto
Calcio asimilable (meq/100 g)	23,6	Muy alto
Magnesio asimilable (meq/100 g)	2,46	Normal

Análisis granulométrico	
Arena total (%)	24
Limo (%)	16
Arcilla (%)	60
Clasificación textural	ARCILLOSA

Tabla 6.4

ANÁLISIS FOLIAR		
	Valores observados	Valores adecuados
N (%)	1,56	(1,5 - 2,00)
P (%)	0,09	(0,10 - 0,30)
K (%)	0,72	(> 0,80)
Ca (%)	1,48	(> 1,00)
Mg (%)	0,16	(> 0,10)
Mn (ppm)	42	(> 20)
Zn (ppm)	15	(> 10)
Cu (ppm)	47	(> 4)
B (ppm)	31	(> 19)

Tabla 6.5

ANÁLISIS DE LAS AGUAS DE RIEGO		
	Laboratorio	Calculado
Conductividad eléctrica (dS/m)	1,17	
pH	7,55	
Nitrógeno (p.p.m.)		
Nitratos	75,3	
Nitritos	0	
Amonio	1,13	
Cationes (meq/l)		
Calcio	7,08	
Magnesio	2,76	
Sodio	1,68	
Potasio	0,14	
		11,66
Aniones (meq/l)		
Bicarbonatos	5,95	
Cloruros	1,91	
Sulfatos	3,8	
		11,66
SAR		0,76
Sales disueltas (g/l)		0,7488

Tabla 6.6

INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO					
Tipo de Suelo	Niveles en M.O. (%)				
	Muy bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
Arenoso	0 - 0,40	0,41 - 0,80	0,81 - 1,50	1,51 - 2,00	> 2
Franco	0 - 0,60	0,61 - 1,20	1,21 - 2,00	2,01 - 2,50	> 2,5
Arcilloso	0 - 0,80	0,81 - 1,60	1,61 - 2,50	2,51 - 3,00	> 3,0



6. Fertilización del olivar regado por goteo

Tabla 6.7

SUMINISTRO ANUAL DE NITRÓGENO (Kg/ha) POR EL SUELO SEGÚN EL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y EL DE CARBONATO CÁLCICO

MATERIA ORGÁNICA (%)	CARBONATO CÁLCICO (%)	
	Menos del 20 %	Más del 20 %
menos de 1%	0	0
1 % a 1,5 %	15	10
1,5 % a 2,0 %	25	15
más de 2,0 %	40	25

Tabla 6.8

INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE FÓSFORO ASIMILABLE (ppm de P) EN SUELO

CULTIVO	TEXTURA (1)	OLSEN				
		Muy bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
RIEGO	Arenoso	0-6	7-12	13-18	19-30	31-48
	Franco	0-8	9-16	17-24	25-40	41-64
	Arcilloso	0-10	11-20	21-30	31-50	51-80

(1) Arenoso = Arenoso, arenoso - franco, franco -arenoso
 Franco = franco, franco-arcillo-arenoso, franco-limoso, limoso, arcillo-arenoso
 Arcilloso = franco-arcilloso, franco-arcillo-limoso, arcillo-limoso, arcilloso

Tabla 6.9

INTERPRETACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE POTASIO ASIMILABLE (ppm de K) EN SUELO

CULTIVO	TEXTURA (1)	EXTACCIÓN CON ACETATO AMÓNICO 1 N Y PH 7,0				
		Muy bajo	Bajo	Normal	Alto	Muy alto
RIEGO	Arenoso	0-75	76-150	151-235	236-390	391-625
	Franco	0-100	101-200	201-300	301-480	481-780
	Arcilloso	0-120	121-235	236-350	351-580	581-940

(1) Arenoso = Arenoso, arenoso - franco, franco -arenoso
 Franco = franco, franco-arcillo-arenoso, franco-limoso, limoso, arcillo-arenoso
 Arcilloso = franco-arcilloso, franco-arcillo-limoso, arcillo-limoso, arcilloso

Tabla 6.10

FACTOR DE CORRECCIÓN DOSIS DE ABONADO NITROGENADO

Nivel N en hoja	%	Factor de corrección % Δ
Muy bajo	< 1,40	+ 30
Bajo	1,40 - 1,50	+ 15
Normal	1,50 - 2,00	-
Alto	> 2,00	no abonar ese año

Tabla 6.11

FACTOR DE CORRECCIÓN DOSIS DE ABONADO FOSFÓRICO

Suelo	Análisis foliar (*)	Carbonato cálcico (%)	
		0 - 20	> 20
Muy bajo	MB	+ 100	+ 120
	B	+ 80	+ 100
	N	+ 60	+ 80
Bajo	MB	+ 80	+ 100
	B	+ 60	+ 80
	N	+ 40	+ 60
Normal	B	+ 30	+ 40
	N	+ 10	+ 20
	A	- 10	-
Alto	N	- 50	- 30
	A	- 100	- 60

+ Aumento de la dosis (%)

- Disminución de la dosis (%)

(*) MB: < 0,05; B: 0,06 - 0,09; N: 0,1; A: > 0,15

Tabla 6.12

FACTOR DE CORRECCIÓN DOSIS DE ABONADO POTÁSICO

Suelo	Análisis foliar (*)			
	Deficiente	Bajo	Adecuado	Alto
Muy bajo	+ 100	+ 70	+ 50	
Bajo	+ 50	+ 30	+ 20	
Normal		+ 20	=	- 40
Alto		+ 10	- 30	- 60

+ Aumento de la dosis (%)

- Disminución de la dosis (%)

(*) Deficiente: < 0,4; Bajo: 0,41 - 0,79; Adecuado: 0,80; Alto: > 1,00



6. Fertilización del olivar regado por goteo

Tabla 6.13

NECESIDADES MENSUALES DE FERTILIZANTES POR OLIVO

MESES	NITROGENO (N)		FOSFORO (P ₂ O ₅)		POTASIO (K ₂ O)	
	%	g/mes	%	g/mes	%	g/mes
Enero	0	0	0	0	0	0
Febrero	0	0	0	0	0	0
Marzo	5	14,7	25	159,5	0	0
Abril	10	62,8	30	191,4	0	0
Mayo	20	159,1	30	191,4	5	79,75
Junio	20	159,1	10	63,8	10	159,5
Julio	20	159,1	5	31,9	20	319
Agosto	15	111,0	0	0	20	319
Septiembre	5	14,7	0	0	20	319
Octubre	5	14,7	0	0	25	398,75
Noviembre	0	0	0	0	0	0
Diciembre	0	0	0	0	0	0
TOTAL	100	695	100	638	100	1.595

Tabla 6.14

APORTACIONES MENSUALES DE FERTILIZANTES POR OLIVO

MESES	ACIDIFICACIÓN AGUA RIEGO		FOLIAR		FERTIRRIGACIÓN (1)	
	Ac. Nitríco g N/mes	Ac. Fosfórico g P2O5/m	CIK (60%) g/olivo	NA (34,5%) g/ol.mes	AcF (52%) g/ol.mes	CIK (60%) g/ol.mes
Enero	0	0		0	0	0
Febrero	0	0		0	0	0
Marzo	22	159,5	222	0	0	0
Abril	0	191,4		182	0	0
Mayo	0	191,4	222	461	0	133
Junio	73	64		250	0	266
Julio	92	32		194	0	532
Agosto	110	0		3	0	532
Septiembre	110	0	222	0	0	532
Octubre	110	0		0	0	665
Noviembre	0	0		0	0	0
Diciembre	0	0		0	0	0
TOTAL	517	638,3	666	1.090	0	2.660

(1) NA = nitrato amónico (34,5%)

Ac F = ácido fosfórico (52%)

Cl K = cloruro potásico (60%)

Tabla 6.15

VALORES DE LOS PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN EL CÁLCULO DE pH_c

Suma de concentración (meq/l)	pK' ² -pK' ^c	p(Ca+Mg)	p(Alk)
0,05	2	4,6	4,3
0,1	2	4,3	4
0,15	2	4,1	3,8
0,2	2	4	3,7
0,25	2	3,9	3,6
0,3	2	3,8	3,5
0,4	2	3,7	3,4
0,5	2,1	3,6	3,3
0,75	2,1	3,4	3,1
1	2,1	3,3	3
1,25	2,1	3,2	2,9
1,5	2,1	3,1	2,8
2	2,2	3	2,7
2,5	2,2	2,9	2,6
3	2,2	2,8	2,5
4	2,2	2,7	2,4
5	2,2	2,6	2,3
6	2,2	2,5	2,2
8	2,3	2,4	2,1
10	2,3	2,3	2
12,5	2,3	2,2	1,9
15	2,3	2,1	1,8
20	2,4	2	1,7
30	2,4	1,8	1,5
50	2,5	1,6	1,3
80	2,5	1,4	1,1



6.4 ACIDIFICACIÓN DE LAS AGUAS DE RIEGO

Las aguas alcalinas, cuya utilización en riego por goteo suele dar problemas de obturación química de los emisores, hay que añadirles ácido para rebajar su pH hasta un valor en torno a 7, valor al que se aumentan de forma considerable la solubilidad de las sales de calcio. Para la acidificación de las aguas de riego pueden emplearse distintos ácidos, por su riqueza fertilizante el **ácido nítrico** (que aporta N) y el **ácido fosfórico** (que aporta fósforo), son los más recomendables, aunque también resultan eficaces el ácido clorhídrico y el sulfúrico.

La cantidad de ácido necesaria para conseguir dicho efecto puede determinarse determinándose en laboratorio la curva de neutralización, la cual nos dará la cantidad de ácido necesaria para conseguir el pH deseado. Otra solución es determinar la cantidad necesaria utilizando el análisis de aguas en función del **índice de Langlier (Is)**:

$$Is = \text{pH del agua} - \text{pHc}$$

Donde

$$\text{pHc} = (\text{pK}'_2 - \text{pK}'_c) + \text{p}(\text{Ca}) + \text{p}(\text{Alk})$$

siendo: pK'_2 el logaritmo con signo cambiado de la segunda constante de disociación del CO_3H_2 corregida para el valor de la fuerza iónica; pK'_c el logaritmo con signo cambiado de la segunda constante de disociación del CO_3Ca corregida para el valor de la fuerza iónica; $\text{p}(\text{Ca})$ el logaritmo cambiado de signo de la concentración molar de Ca; y $\text{p}(\text{Alk})$ el logaritmo con signo cambiado de la concentración equivalente de $\text{CO}_3\text{H} + \text{CO}_3$.

La **Tabla 6.15** se utiliza para calcular **pHc**, teniendo en cuenta que $(\text{pK}'_2 - \text{pK}'_c)$ es función de $\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na}$ (análisis de agua tabla 5), que **p(Ca + Mg)** es función de **Ca + Mg**; y que **p(Alk)** es función de **CO₃H + CO₃**. Las concentraciones se expresan en **meq/l**.

Si el valor de **Is** fuese positivo existiría riesgo de que se formen precipitados, y por tanto obturaciones. Para evitarlo, habría que subir el $\text{p}(\text{Alk})$ hasta un valor **p(Alk₂)**:

$$\text{p}(\text{Alk}_2) = \text{p}(\text{Alk}) + \text{Is}$$

Conocido $\text{p}(\text{Alk}_2)$, en la Tabla 15 puede obtenerse la correspondiente concentración de carbonatos y bicarbonatos del agua. Este será el valor al que hay que reducir la actual concentración de bicarbonato del agua, mediante la adición de ácido. La cantidad de ácido a añadir V_a (l/m^3) será:

$$V_a = f / N$$

Donde **f** = número de meq/l de $\text{CO}_3\text{H} + \text{CO}_3$ que hay que eliminar del agua; y **N** = normalidad del ácido (16 para el ácido nítrico; 45 para el ácido fosfórico).

A continuación vamos a calcular las aportaciones de ácido necesarias para eliminar los carbonatos y bicarbonatos del agua de riego que hemos empleado en el ejemplo (Tabla 6.5). Recordemos que teníamos un agua para riego de las siguientes características:

$$\text{pH} = 7,55$$

	meq / litro	pHc (tabla 6.15)
Ca + Mg + Na	11,66	2,3
Ca	7,08	2,45
CO ₃ + CO ₃ H	5,95	2,2
Total pHc =		6,95

$$\text{Is} = \text{pH} (\text{agua de riego}) - \text{pHc} = 7,55 - 6,95 = 0,60$$

$$p(\text{AlK}_2) = p(\text{Alk}) + \text{Is} = 2,20 + 0,60 = 2,80 \text{ al que corresponde } \rightarrow 1,50 \text{ meq/l (tabla 15)}$$

La concentración inicial de CO₃ + CO₃H debe disminuirse hasta 1,50 meq/l

$$f = 5,95 - 1,50 = 4,45 \text{ meq/l}$$

La cantidad de ácido nítrico, cuya normalidad es N = 16 , a añadir al agua de riego será:

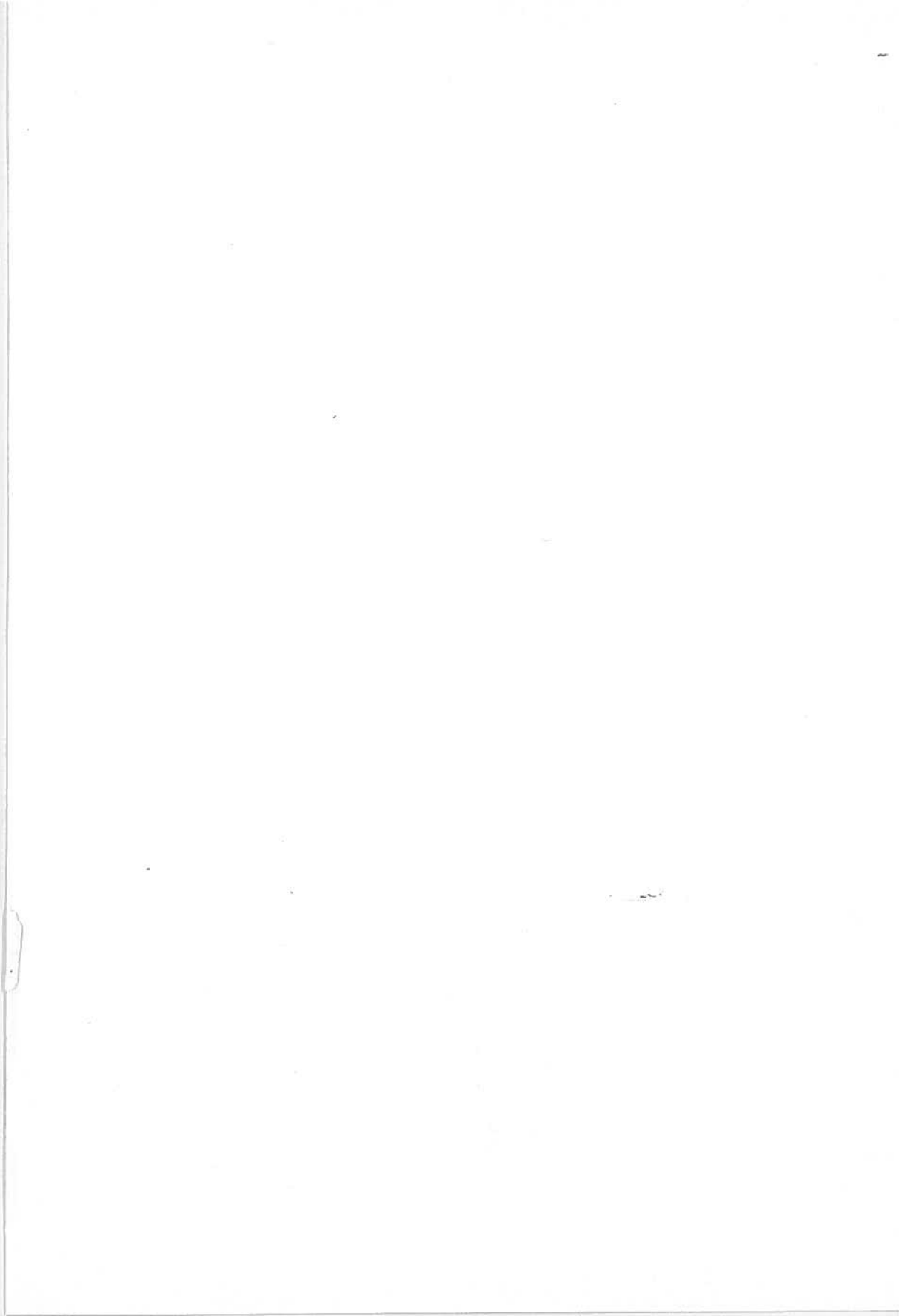
$$f/N = 4,45 / 16 = 278 \text{ cm}^3/\text{m}^3 \text{ de agua}$$

Si empleásemos ácido fosfórico la cantidad a emplear sería:

$$f/N = 4,45 / 45 = 99 \text{ cm}^3/\text{m}^3 \text{ de agua}$$

Si hubiésemos empleado la **curva de neutralización** para la determinación de la cantidad de ácido a adicionar probablemente obtendríamos unas necesidades mucho menores de ácido. Para el agua utilizada en el ejemplo (Tabla 5) la cantidad resultante de ácido nítrico necesaria para bajar el pH del agua hasta valores comprendidos entre 6,8 y 7,2 estaría en torno a los 50-60 cm³/m³ de agua, cifras que en realidad han resuelto el problema de la obturación química de los emisores.

Nuestra experiencia personal nos hace inclinarnos por la determinación de la **curva de neutralización** como método de trabajo en al prevención de obturaciones, lo cual reduce considerablemente el consumo de ácido, especialmente cuando se trabaja con aguas con un alto contenido en bicarbonato. De cualquier forma, siempre debe vigilarse la instalación, y si se observan irregularidades en el caudal de los emisores, y antes de que su obturación sea total, cada cierto tiempo realizar tratamientos de limpieza, aplicando durante un corto período de tiempo 30-45 minutos cantidades de ácido suficientes como para hacer descender el pH del agua de riego hasta valores de 2-2,5, interrumpiendo después, durante unas horas el suministro de agua.



AGRICULTURA



GANADERÍA



PESCA Y ACUICULTURA



POLÍTICA, ECONOMÍA Y SOCIOLOGÍA AGRARIAS



FORMACIÓN AGRARIA



CONGRESOS Y JORNADAS



R.A.E.A.



ISBN 84-8474-032-3



9 788484 740322

P.V.P.: 1.100 ptas.
6,61 €



JUNTA DE ANDALUCÍA

Consejería de Agricultura y Pesca