



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS - INIA
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA - FIA

BOLETÍN INIA N° 59

ISSN 0717-4829

ESTRATEGIAS DE RIEGO PARA ENFRENTAR SITUACIONES
DE ESCASEZ DE AGUA EN FRUTALES

“RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN OLIVOS”

RAÚL FERREYRA E.
GABRIEL SELLÉS VAN S.
IVÁN SELLÉS M.



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE AGRICULTURA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS - INIA
FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA - FIA

“RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO EN OLIVOS”.

ESTRATEGIAS DE RIEGO PARA ENFRENTAR SITUACIONES DE ESCASEZ DE AGUA EN FRUTALES.

RAÚL FERREYRA E.
Centro Regional de Investigación V Región
GABRIEL SELLÉS VAN S.
IVÁN SELLÉS M.
Centro Regional de Investigación La Platina

Santiago, Chile, 2001

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

Autores:

Raúl Ferreyra E. (M.Sc.)

Centro Regional de Investigación V Región

Gabriel Sellés Van S. (Ph.D.)

Iván Sellés M.

Centro Regional de Investigación La Platina

Especialistas en Riego y Drenaje

Boletín INIA N° 59

Este boletín fue editado por el Centro Regional de Investigación La Platina, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura.

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y el autor.

Cita bibliográfica correcta:

Ferreyra E., Raúl; Sellés V., Gabriel y Sellés M., Iván. 2001. "Riego Deficitario Controlado en Olivos". Estrategias de Riego para Enfrentar Situaciones de Escasez de Agua en Frutales. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 59. 48 p.

Diseño: Jorge Berríos V.

Diagramación: Luis Puebla L.

Impresión: Impresos CGS Ltda. - Telefófono: 5432212

Cantidad de ejemplares: 500.-

Santiago, 2001

TABLA DE CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	5
REQUERIMIENTOS DE AGUA EN EL OLIVO	6
EFFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO	8
ESTADOS FENOLÓGICOS DEL OLIVO	10
Desarrollo reproductivo	10
Crecimiento vegetativo	14
EFFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO EN DISTINTAS ETAPAS FENOLÓGICAS	15
Brotación	15
Floración y cuajado del fruto	16
Crecimiento del fruto	16
Primera fase de crecimiento del fruto	17
Segunda fase de crecimiento del fruto	18
Tercera fase de crecimiento del fruto	18
EXPERIENCIA CON RDC EN CHILE	21
Estado hídrico del suelo	26
Estado hídrico de las plantas	27
Potencial hídrico xilemático	27
Conductancia estomática	31
Crecimiento vegetativo	33
Producción	36
Carga frutal	37
Tamaño de frutos	38
Contenido de aceite (extracto etéreo)	41
CONCLUSIONES	43
BIBLIOGRAFÍA	44

INTRODUCCIÓN

El agua dulce es uno de los recursos naturales que, en mayor medida, ve aumentado su uso al incrementarse la actividad económica en prácticamente todos los sectores productivos y todos los niveles tecnológicos. El carácter limitado del recurso condiciona de esta manera el desarrollo futuro de zonas económicas enteras, obligando entonces a buscar estrategias de conservación y ahorro.

Gran parte de la superficie chilena posee un clima entre árido y semiárido, lo que significa que existen períodos de déficit hídrico en que la precipitación es menor a la evaporación potencial, período que llega incluso hasta doce meses, de acuerdo a la estacionalidad de las lluvias. Esto significa que tales zonas solamente pueden desarrollar una agricultura medianamente productiva con el apoyo del riego. Sin embargo, como se dijo anteriormente, este recurso es limitado, por lo que es imprescindible buscar estrategias de ahorro.

El primer paso en el mejor uso del agua para fines de riego fue el desarrollo del riego por goteo, que permitió aumentar la eficiencia de uso desde un 45% aproximadamente en riego gravitacional tradicional al orden del 90%. Pese a ello, los volúmenes anuales de agua requeridos para un cultivo siguen siendo altos, y puede resultar insuficiente el caudal disponible incluso con eficiencias de aplicación cercanas al 100%, siendo necesario encontrar nuevas estrategias de ahorro, como el uso de cultivos más resistentes al estrés hídrico o con mejor capacidad de extracción de humedad desde el suelo.

En este sentido se ha estudiado, desde la década de los 80, estrategias de riego que consideran la restricción del suministro hídrico en alguna etapa del desarrollo de la planta, de manera que no afecte en forma significativa los rendimientos, calidad del fruto ni el desarrollo normal de la planta. La base de esta estrategia consiste en aplicar un riego deficitario en períodos

no críticos, es decir, en etapas fenológicas en las cuales la falta de agua no afectaría seriamente la producción y calidad del fruto.

En este contexto, el olivo es una especie particularmente interesante, ya que tiene alta tolerancia a la sequía, pero responde muy bien al riego. En otras zonas del mundo y en algunas de Chile se cultiva como especie de secano, o bien en zonas de suministro hídrico restringido. Se considera que una precipitación anual de 400 a 500 mm son suficientes para la producción del olivo, aunque existen referencias de huertos de secano en zonas con precipitaciones del orden de 200 mm. En Chile ocupa un poco más de 3.000 hectáreas, las que se concentran principalmente en la zona norte (I y III regiones), con producciones anuales que fluctúan entre 6.000 y 12.000 toneladas, destinadas principalmente a la preparación de aceitunas y una mínima proporción a aceite.

REQUERIMIENTOS DE AGUA EN EL OLIVO

Los requerimientos de agua de un cultivo dependen de una serie de factores, entre los que se cuentan factores climáticos (viento, temperatura, humedad relativa) y del cultivo (desarrollo, marco de plantación, características de las hojas). Los factores ambientales se resumen en una variable denominada Evapotranspiración Potencial de referencia (ET_0), y se define como la evapotranspiración que ocurre en una pradera de gramíneas de 10 cm de altura, la que no está sujeta a restricciones hídricas, edáficas ni fitosanitarias.

Este valor de ET_0 , puede ser medido directamente, o, más frecuentemente, estimado a través de modelos matemáticos de variables climáticas. El método más simple para estimarlo es a través de la evaporación directa desde un tanque o bandeja de agua con características específicas (Figura 1) en condiciones conocidas de viento y distancia a una superficie evaporante. La evaporación desde la bandeja es corregida por un valor llamado Coeficiente de Bandeja (K_p) en base a las condiciones antes mencionadas.

Por su parte, la ET_0 estimada por este u otro método se relaciona con la Evapotranspiración Potencial del cultivo (ET_c) por medio de otro coeficiente: el coeficiente de cultivo (K_c). Este coeficiente debe incorporar in-

formación acerca del estado de desarrollo del cultivo, del estado fenológico y de la distancia de plantación. En el caso particular del olivo, este coeficiente es bastante constante durante todo el año, ya que el desarrollo del árbol no pasa por las etapas de brotación y defoliación propias de la mayoría de los frutales que se cultivan en Chile.

Beede y Goldhamer (1994) han determinado que el olivo consume entre un 55 a un 65% de la ET_0 , siendo la máxima proporción en los meses de otoño y primavera. Los valores encontrados por otros investigadores se muestran en el Cuadro 1. En otro estudio (Goldhamer *et al.*, 1994), se encontró que, aplicando un K_c constante a lo largo del año, cuando se utiliza entre un 55 y un 85% de la ET_0 los árboles no muestran signos de estrés.

Otro factor a considerar es la densidad de la plantación. Los valores antes mencionados se obtuvieron para huertos con un 50-60% de cubrimiento.

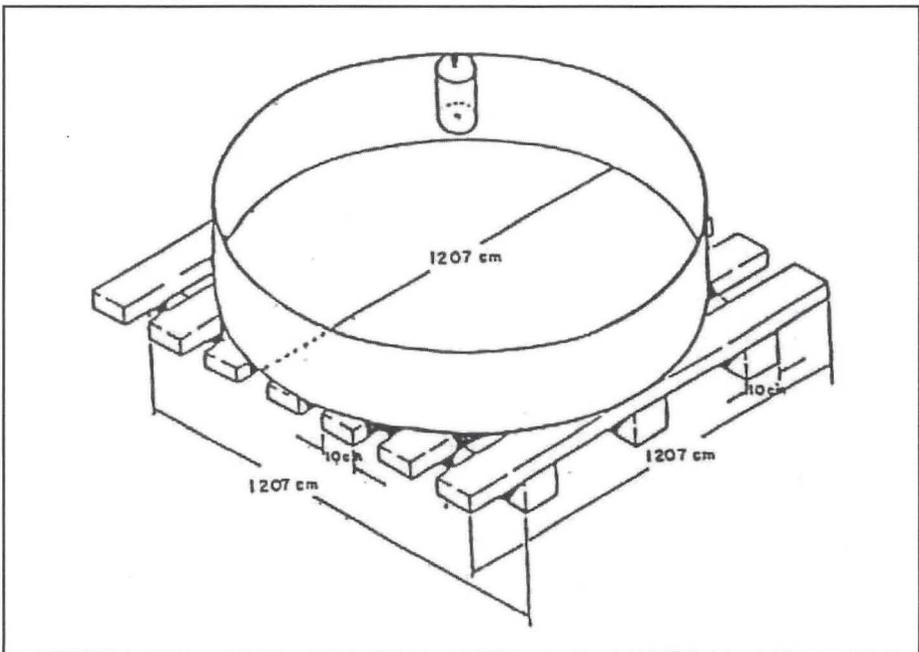


Figura 1. Bandeja de evaporación clase A USWB.

Cuando un huerto está en crecimiento, las necesidades máximas de evaporación serán menores al mismo huerto adulto. También sucede que los huertos de más baja densidad no llegan a cubrir el suelo en la proporción en que lo hacen los huertos densos. En estos casos, el coeficiente de cultivo deberá ser corregido por la relación entre suelo cubierto y suelo desnudo. En el Cuadro 1 se presentan valores de Kc obtenidos por diversos investigadores en distintos lugares.

Cuadro 1. Valores de Kc obtenidos por distintos investigadores para olivos

Localidad	Kc*
Córdoba, España ¹	0,45 – 0,65
Creta, Grecia ²	0,60 – 0,75
California, EE.UU. ³	0,55 – 0,65
California, EE.UU. ⁴	0,75

*Los valores bajos se aplican a enero y febrero.

¹Fereres y Orgaz, 1995.

²Michelakis *et al.*, 1994.

³Goldhamer *et al.*, 1994.

⁴Beede y Goldhamer, 1994.

EFFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO

Existen bastantes investigaciones que indican que el olivo tiene características que le permiten afrontar con éxito los períodos de sequía. Estas características incluyen estructuras de sus hojas que le permiten inmovilizar el aire cerca de los estomas, aumentando la resistencia a la difusión de vapor de agua (Grammatikopoulos *et al.*, 1994; Liakoura *et al.*, 1997); un adecuado control estomático, que evita la evapotranspiración cerrando los estomas cuando las condiciones de sequedad lo requiere (Fernández *et al.*, 1997); un alto potencial hídrico xilemático, que le permite extraer agua desde el suelo cuando la humedad de éste se encuentra incluso bajo el Punto de Marchitez Permanente (PMP) y un alto módulo elástico de sus

células, que también ayuda a extraer agua de suelos normalmente considerados secos (Dichio *et al.*, 1997). Xiloyannis *et al.* (1999) encontraron que el olivo es capaz de obtener humedad del suelo hasta $-2,5$ MPa, es decir, 1 MPa por debajo del PMP. Estos autores también señalan otras formas de adaptación a la sequía, como el mantenimiento de un alto turgor en las células de las raíces, evitando o retardando la separación de las raíces de las partículas de suelo.

No obstante estas adaptaciones, el olivo tiene una buena respuesta al riego. Michelakis *et al.* (1994), quien comparó durante doce años plantas regadas cuando el potencial del suelo alcanzó valores de $-0,02$ MPa, plantas regadas con potencial de suelo de $-1,5$ MPa y plantas no regadas, encontró que no hubo diferencias entre plantas regadas, independientemente de la frecuencia y el método de riego utilizado, pero todas ellas tuvieron un mayor desarrollo vegetativo (altura de plantas, volumen de copa y perímetro de tronco) que las plantas sin riego. Otras investigaciones demuestran que este cultivo responde muy bien a la aplicación de riego, favoreciendo el desarrollo vegetativo y frutal de la especie y su estado nutricional. En este sentido, Celano *et al.* (1999) encontraron que la aplicación de riego aumenta el crecimiento de la canopia, y disminuye la relación raíz/canopia, así como aumenta el contenido de elementos minerales y de materia seca. Metheney *et al.* (1994) encontraron que un riego adecuado produce un mayor crecimiento de brotes. Nuzzo *et al.* (1997) reportan que las plantas regadas exploran un volumen de suelo mayor, tienen una mayor área foliar y producción, y coinciden en que el mayor efecto se produce en el crecimiento aéreo por sobre el crecimiento de raíces. Patumi *et al.* (1999) encontraron que la aplicación de riego aumenta la producción de los árboles. Proietti y Antognozzi (1996) encontraron que la aplicación de riego aumenta el valor comercial del fruto, incrementando el tamaño y la relación pulpa/carozo, coincidiendo con Goldhamer *et al.* (1994), quienes afirman que el riego aumenta la cantidad de frutos y el valor comercial de ellos. Andrulakis *et al.* (1997) encontraron que la aplicación de riego incrementó en forma significativa los niveles de N en las hojas, y redujo la caída estacional en el contenido de este elemento que ocurre en otoño. Otros elementos minerales (P, K y Mn) también fueron mayores en hojas de plantas regadas.

Goldhamer *et al.* (1994) aplicaron distintas proporciones de la evapotranspiración potencial (ET_0) en forma constante, desde el 16% hasta el 85%. Obtuvieron que el número de frutos por planta se incrementaba en la medida que la proporción de ET_0 aumentaba. Esto ocurrió hasta que a la planta se aplicaba el 55% de la ET_0 , y posteriormente no aumentó el número de frutos. En cuanto a la producción total, esta aumentó en forma constante hasta aplicar el 75% de la ET_0 , en una curva de tipo sigmoídea (Figura 2). También el valor comercial del producto aumentó en la medida en que se aumentó Kc hasta un valor de 0,75, y posteriormente disminuyó o se mantuvo.

Otro efecto del riego, que se ha observado, tiene relación con la alternancia de años con alta y baja carga frutal (llamados años “on” y años “off” respectivamente), la que se reduce cuando se aplica riego. Psyllakis (1976) estudió el comportamiento de la alternancia respecto del régimen hídrico en los siguientes parámetros: tamaño medio de brotes, número de racimos florales por metro de brote, número de flores por racimo, número de flores fértiles, número de frutos cuajados, caída de frutos entre cuajado y cosecha, tamaño medio de frutos y contenido de aceite de los frutos. Luego de cuatro años de observaciones, este autor encontró que la aplicación de riego reduce la variabilidad de estos caracteres entre años “on” y años “off”, favoreciendo el número de racimos florales, flores fértiles y frutos en los años “off”.

ESTADOS FENOLÓGICOS DEL OLIVO

Como ya se indicó, las estrategias de Riego Deficitario Controlado (RDC) están basadas en la aplicación de restricciones hídricas en períodos fenológicos bien definidos, en base a los procesos que pueden verse afectados y su importancia en el rendimiento y desarrollo del cultivo. Un esquema del ciclo fenológico del olivo se presenta en la Figura 3.

Desarrollo reproductivo

El olivo se caracteriza por desarrollar sus estructuras reproductivas en dos años, formando e induciendo las yemas florales en un año, y desarrollando

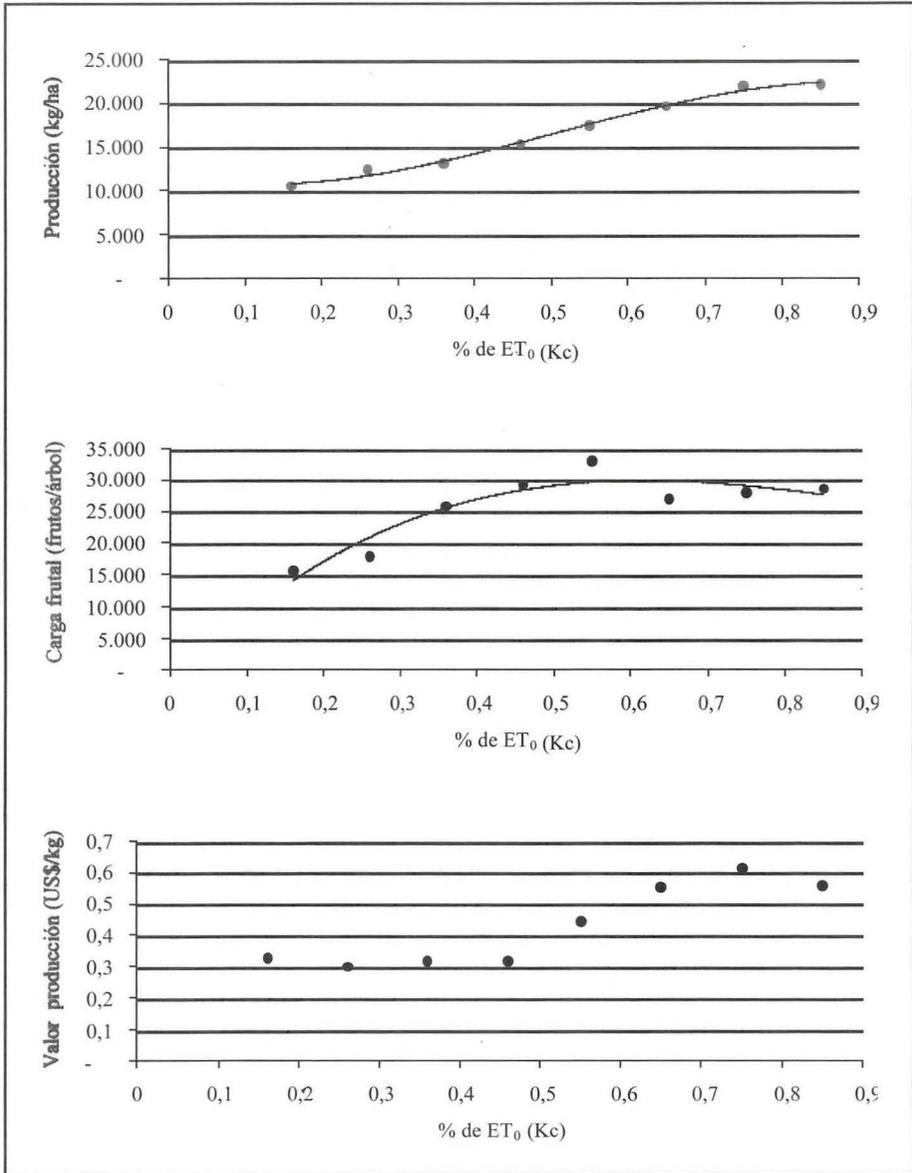


Figura 2. Relación entre el coeficiente de cultivo (Kc) utilizado y la producción total, la carga frutal y el valor de la producción (tomado de Goldhamer *et al.*, 1994).

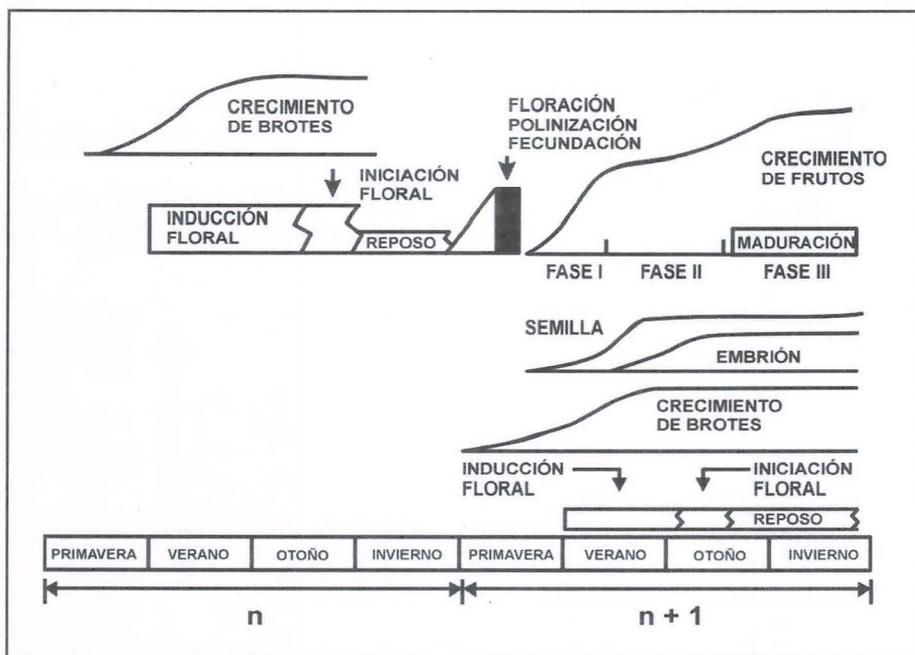


Figura 3. Esquema del ciclo biológico del olivo (extractado de Rallo, 1995).

las estructuras florales en el siguiente. Cada planta desarrollará flores masculinas y femeninas, las que pueden o no ser autocompatibles. La floración del olivo suele ser abundante, pero sólo una muy pequeña proporción de ellas produce frutos viables. Troncoso *et al.* (1978, citados por Lavee *et al.*, 1996) especifica que el 25% de los ovarios es retenido por la planta hasta después de la caída de pétalos, pero sólo un 2% de la población floral produce frutos que llegan a madurar. De cualquier manera, Grigs *et al.*, 1975 (citados por Lavee *et al.*, 1996) consideran que el desarrollo del 1% de la población floral en frutos es suficiente para asegurar una buena producción comercial.

La capacidad de las yemas para convertirse en florales depende de los estímulos e inhibiciones que reciba durante su desarrollo. La presencia de embriones durante el período de crecimiento vegetativo parece inhibir la inducción de las yemas florales, probablemente debido al ácido giberélico

que ellos producen. Fernández-Escobar *et al.* (1992) encontraron que la aplicación de ácido giberélico en árboles sin frutos 4 a 24 semanas después de plena flor inhibe la floración en la siguiente temporada. Por otra parte, la remoción de frutos (Lavee *et al.*, 1982) o de semillas (Stutte y Martin, 1986; Fernández-Escobar *et al.*, 1992) 7 a 8 semanas después de flor incrementa la floración de retorno. Incrementos en el tamaño y altas concentraciones de ARN en yemas de árboles sin producción se detectan desde principios de verano (Navarro *et al.*, 1990, citado por Rallo *et al.*, 1994), pudiendo estar indicando una inducción e iniciación floral continuada.

Los efectos inhibitorios de los frutos sobre la inducción floral hacen del olivo una especie añera por excelencia. Ramos y Rallo (1999) demostraron que el factor que más importancia tiene en el desarrollo de las estructuras florales es la floración del año precedente, por sobre temperatura de desarrollo, acumulación de frío o presencia de hojas.

La brotación de las yemas florales —ubicadas en posición lateral en el brote formado en la temporada anterior— inicia el desarrollo de inflorescencias y flores, en un proceso secuencial y continuo hasta floración, proceso conocido como diferenciación floral y que demanda una gran cantidad de nutrientes y asimilados. Rallo *et al.* (1994) sitúan la brotación de yemas florales a inicios de primavera.

El proceso de diferenciación floral comprende el desarrollo de todos los órganos reproductivos, tanto masculinos como femeninos. Al momento de la antesis, tanto el saco embrionario como los granos de polen se encuentran maduros.

Posterior a la floración, existe un período de abscisión masiva de flores y frutos, el que se prolonga por aproximadamente siete u ocho semanas. La polinización y fertilización son seguidas por el desarrollo del óvulo, lo que es crucial para el desarrollo del ovario por medio del estímulo hormonal que la proporciona el endosperma de la semilla (Durán-Grande e Izquierdo-Tamayo, 1964, citados por Tombesi, 1994). Solamente un óvulo, probablemente el primero en ser fertilizado, se desarrolla, dejando rezagados y posteriormente abortando los otros tres. El crecimiento del ovario

gatilla un proceso competitivo que determina la caída de las flores pistiladas y los frutos menos desarrollados que se encuentran cerca de él. El crecimiento inicial del ovario está caracterizado por una división celular generalizada, dando origen en aproximadamente un mes a la identificación de las tres partes del fruto: endocarpio, mesocarpio y exocarpio. Durante este tiempo, las células del mesocarpio crecen y gotas de gasa se destacan en su protoplasma, mientras que el endocarpio crece hasta prácticamente completar su tamaño final (Tombesi, 1994). Al completar esta primera fase del desarrollo el fruto presenta entre un 20 a 25% de su tamaño final.

El fin de la abscisión de flores y posteriormente frutos es más o menos contemporáneo con la masiva esclerificación del endocarpio y el rápido desarrollo del embrión. En un período que va desde los 45 a 60 días hasta los 90 días después de plena flor, las células del endocarpio se esclerifican, formando el carozo. Prácticamente ningún incremento de tamaño en el mesocarpio ocurre durante este período.

Una vez formado el carozo y desarrollado el embrión, un nuevo y sustancial crecimiento ocurre en el mesocarpio, manteniéndose por alrededor de dos meses para finalmente detener su crecimiento. La finalidad de este rápido crecimiento en las células del mesocarpio es crear espacio donde las distintas sustancias serán acumuladas después, durante la maduración del fruto.

Crecimiento vegetativo

El crecimiento vegetativo, por su parte, se produce en dos períodos bien definidos: desde principios de primavera a principios de verano, y a mediados de otoño. Estos dos flujos de crecimiento, en condiciones de baja carga frutal, pueden confluir en uno solo (Rallo *et al.*, 1994). De hecho, el crecimiento total que presentan los árboles está fuertemente ligado a la producción presente, siendo mucho menor en los años “on” que en los años “off” (Rallo y Suárez, 1989, citados por Rallo *et al.*, 1994).

Las yemas vegetativas brotan un poco más tarde que las florales y crecen hasta inicios del verano. Este período de crecimiento es el más fuerte, y

coincide con el rápido cambio que sucede a la iniciación floral. El cuajado de los frutos marca una fuerte declinación en el crecimiento vegetativo.

A inicios de otoño ocurre un segundo período de crecimiento vegetativo, especialmente en árboles con baja carga frutal y con aportes hídricos de algún tipo (riego o precipitaciones).

EFFECTOS DEL DÉFICIT HÍDRICO EN DISTINTAS ETAPAS FENOLÓGICAS

Brotación

Al igual que otras especies de climas templados, el olivo requiere de un período de vernalización para reactivar su crecimiento. En esta especie el crecimiento vegetativo se reinicia en las yemas terminales con el aumento de la temperatura en primavera y se reduce con la formación de flores y cuajado de frutos (Tombesi, 1994; Loussert y Brousse, 1980). En este período la demanda evaporativa de la atmósfera es relativamente pequeña, y es poco probable que ocurra un déficit hídrico de importancia, especialmente si han ocurrido precipitaciones durante el invierno. Sin embargo, Bini *et al.* (1997) han determinado que el riego en este período favorece el crecimiento vegetativo y la floración de retorno.

Algunos períodos relacionados con el desarrollo de órganos florales resultan críticos para la floración y producción potencial. Un estrés hídrico y/o nutricional entre brotación hasta seis semanas antes de antétesis reduce el número de flores por inflorescencia e incrementa el aborto de pistilos (Hartmann y Panetsos, 1962, citados por Rallo *et al.*, 1994). También el desarrollo del saco embrionario, desde 20 días antes de plena flor hasta floración puede verse afectado por estrés, ya sea hídrico o nutricional (Extremera *et al.*, 1988, citados Rallo *et al.*, 1994). Psyllakis (1976) encontró que la aplicación de riego en esta etapa aumenta el número de flores pistiladas (las que dan origen a frutos).

La fuerte competencia entre centros de crecimiento vegetativo y reproductivo, incluyendo nutrientes minerales (los que son aportados por

movilización desde órganos de reserva y captación por las raíces) hace muy dependiente a ambos tipos de desarrollo. Rallo y Suárez (1989, citados por Rallo *et al.*, 1994) encontraron que el crecimiento vegetativo total se afecta fuertemente por la carga frutal presente.

Floración y cuajado del fruto

La floración del olivo se produce en brotes de segundo año, formando grupos de flores en las que se encuentran flores masculinas y femeninas. La formación de ellas se inicia a principios de primavera, seguida por el proceso de floración y cuajado de los frutos. Estos procesos implican una actividad metabólica acelerada, consumiendo gran cantidad de nutrientes. La cuaja del olivo rara vez supera el 25% de las flores femeninas, y aún de los frutos cuajados, un gran porcentaje de ellos es abortado prematuramente, no formando frutos viables hasta la cosecha más del 1% de las flores. Estas características se ven disminuidas en alguna proporción cuando existe riego (Iannotta *et al.*, 1996). Bini *et al.* (1997) encontraron que la aplicación de riego en primavera y verano favorece el crecimiento de los brotes y la floración de retorno, probablemente debido a una mayor formación de yemas susceptibles de ser inducidas a florales.

Sin embargo, la formación de frutos está controlada por muchos factores, entre los que se encuentra el crecimiento vegetativo de la temporada anterior, la cantidad de inflorescencias y la calidad de las flores, factores más relacionados con los balances nutricionales y hormonales internos que con el riego.

Crecimiento del fruto

El fruto del olivo es una drupa, compuesta de tres capas de tejido: exocarpio, mesocarpio y endocarpio. Su desarrollo se ajusta a una curva del tipo doble sigmoídea como el mostrado en la Figura 4, en la que pueden reconocerse claramente tres fases o etapas de crecimiento, las que son normalmente denominadas etapas I, II y III, y que se caracterizan por presentar procesos fisiológicos distintos.

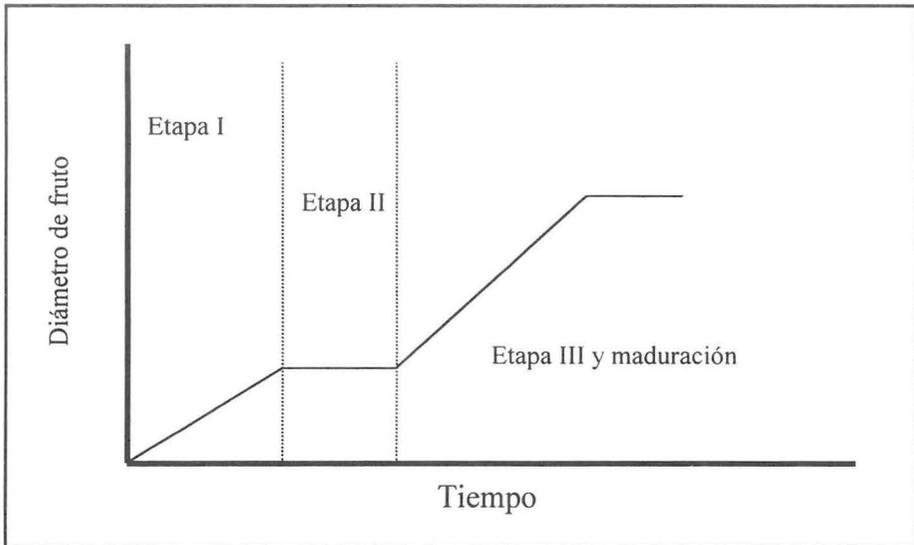


Figura 4. Esquema del crecimiento de los frutos del olivo.

Primera fase de crecimiento del fruto

Inmediatamente después del cuajado del fruto, este aumenta fuertemente su tamaño, debido a la división y expansión celular de las tres capas de tejido. El crecimiento del endocarpio es especialmente importante, ya que durante esta fase se desarrolla hasta alcanzar prácticamente su tamaño final. Proietti y Antognozzi (1996) encontraron que cuando el suministro hídrico se restringía en este período, los frutos presentaban un menor número de células en el mesocarpio. Inglese *et al.* (1994) señalan a este período del crecimiento del fruto como el más importante para los cultivares destinados a producción de aceite, especialmente por el efecto del déficit hídrico sobre el crecimiento vegetativo y la floración de retorno, mientras que los cultivares para aceitunas requerirían un suministro continuo durante todo el año.

Segunda fase del crecimiento del fruto

Durante este período, que se extiende aproximadamente desde los 45 días después a plena flor (DDPF) hasta los 90 DDPF, el crecimiento del fruto disminuye hasta casi detenerse, tanto en diámetro como en peso fresco. Durante este tiempo se esclerifica el endocarpio (endurecimiento de carozo) y se desarrolla el embrión de la semilla.

No se cuenta con información sobre restricciones hídricas en este período en particular, pero durante esta época se produce la inducción floral, y comienza la iniciación, por lo que es posible que déficits en este período puedan significar una pérdida de flores en la siguiente temporada.

Tercera fase de crecimiento del fruto

Una vez desarrollada la semilla y endurecido el carozo, el fruto retoma un crecimiento acelerado, debido a la expansión celular de las células de mesocarpio. Este crecimiento continúa hasta el cambio de color en la células del exocarpio, lo que marca el inicio de la maduración del fruto. La maduración del fruto va acompañada de una reducción en el agua total del fruto y un aumento del contenido de aceite (Tombesi, 1994). Inglese *et al.* (1996), trabajando con el cultivar Carolea en Lameza Terme, Italia, con 480 mm de precipitación anual promedio, encontraron que la aplicación de 80 mm suplementarios de riego en esta etapa aumentó el tamaño del fruto. Al mismo tiempo se observó un aumento del contenido de aceite y de potasio de los frutos, y un retraso en la maduración. También observaron una disminución en el porcentaje de frutos caídos antes de cosecha, y cambios en la composición del aceite debido al riego (Figura 5).

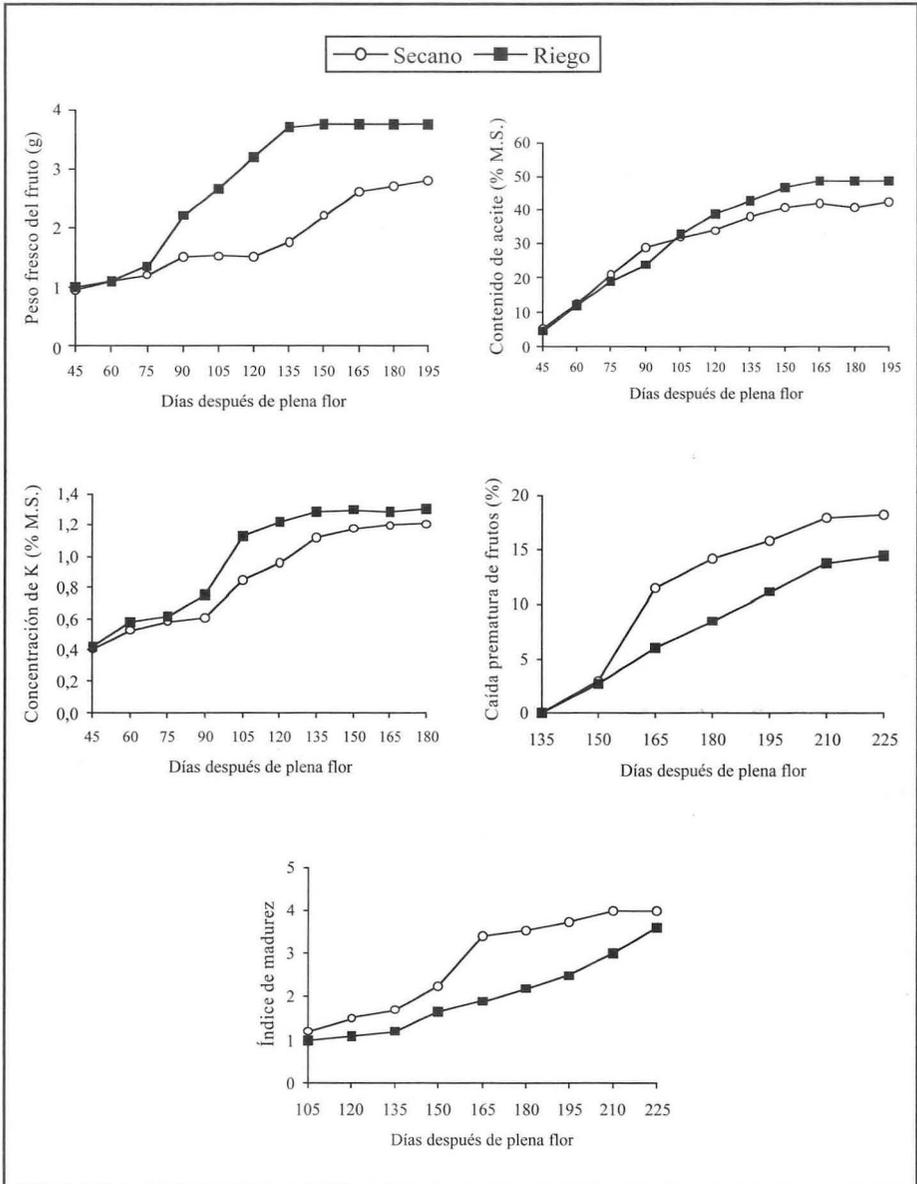


Figura 5. Efectos del riego en la etapa III de crecimiento del fruto sobre: peso fresco de frutos, concentración de aceite y potasio del fruto, caída prematura de frutos e índice de madurez. Extractado de Inglesse *et al.*, 1996.

Cuadro 2. Efectos del déficit hídrico de crecimiento y producción del olivo (extractado de Fereres y Orgaz, 1995, modificado y adaptado al hemisferio sur)

Proceso	Período	Efecto del déficit hídrico
Crecimiento vegetativo	Todo el año (especialmente octubre-diciembre).	Reducción del crecimiento y del número de flores al año siguiente.
Desarrollo de yemas florales	Junio – octubre.	Menor número de flores. Menor número de flores perfectas. Menor proporción de flores pistiladas.
Floración	Noviembre.	Floración incompleta.
Cuajado de frutos	Noviembre-diciembre.	Aumenta el añerismo. Mayor aborto ovárico.
Crecimiento inicial del fruto	Diciembre-enero.	Menor tamaño del fruto (menor cantidad de células por fruto).
Crecimiento final del fruto	Febrero – Cosecha.	Menor tamaño del fruto (menor tamaño de células). Mayor contenido de K en los frutos. Adelanto de la madurez.
Acumulación de aceite	Abril – Cosecha.	Menor contenido de aceite en el fruto.

EXPERIENCIA CON RDC EN CHILE

La ocurrencia de períodos de sequía ha llevado a pensar en los sistemas de Riego Deficitario Controlado (RDC) como estrategia para minimizar los impactos que en la agricultura tiene la restricción de agua. En este sentido, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), con el apoyo del Fondo para la Innovación Agraria (FIA) realizó entre los años 1998 a 2001 un proyecto destinado a obtener programas de riego que contemplen RDC para el cultivo de los olivos.

El ensayo fue realizado entre las temporadas agrícolas 1998/99 a 2000/01, en la localidad de Tierras Blancas, comuna de San Felipe, V Región, en el predio Chacra Santa Isidora perteneciente al Sr. Heriberto Figueroa. Comprende una superficie de 1,1 ha aproximadamente, de olivos cv. Sevillana de 8 años de edad y plantados en curvas de nivel, en un marco promedio de 5 x 5 m, con los cultivares Empeltre y Ascolana Ternera como polinizantes (15% de las plantas).

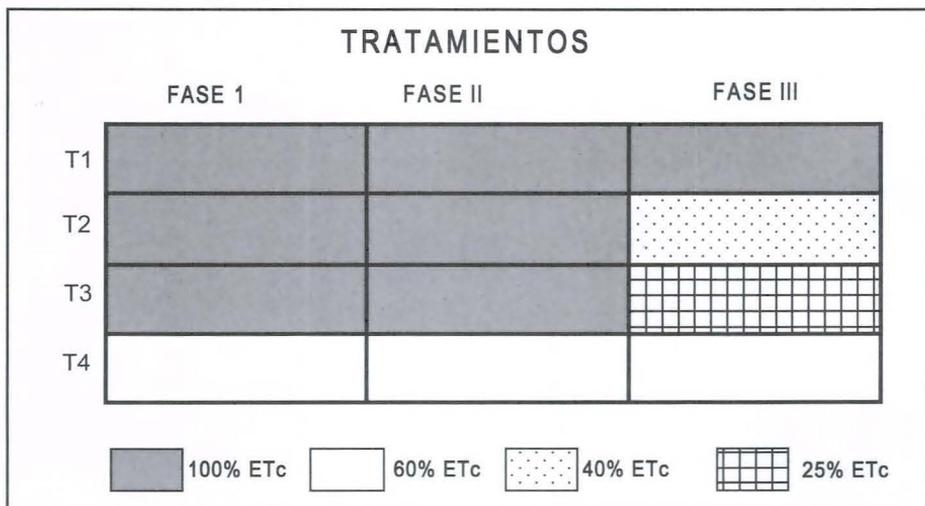
La primera y última temporada correspondieron a años de baja carga frutal (años off) en tanto que la temporada 1999/2000, correspondió a un año de alta carga (año on)

El clima de la zona es de tipo mediterráneo, con marcada concentración invernal de las precipitaciones y un verano prolongado y seco. El período de lluvias está concentrado entre los meses de mayo y agosto, con magnitudes entre los 250 y 450 mm anuales. El período seco es de ocho meses. En invierno cae aproximadamente el 70% de las precipitaciones anuales y durante los meses de verano solamente el dos por ciento. La humedad del aire está principalmente influida por el relieve y la distancia al océano, caracterizando a la zona de Aconcagua con veranos de humedad relativa homogénea, entre 55 y 65%, mientras que en invierno oscila entre 60% en el sector oriental y 85% en el occidental. La temperatura media anual de la zona alcanza los 16 °C, con máximas superiores a los 32 °C en verano y mínimas cercanas a los 2,5 °C.

Antes de la aplicación del ensayo, el huerto se regaba por surcos en contorno, por lo que se instaló un sistema de riego por microaspersión, con un

emisor autocompensado de 45 L/h por planta. Los tratamientos de riego fueron:

- T1: Tratamiento testigo. Se regó con el equivalente para suplir el 100% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante toda la temporada.
- T2: Riego con 100% de la ETc desde reactivación del crecimiento hasta completar la fase II de crecimiento del fruto y 40% de la ETc en la fase III de crecimiento del fruto.
- T3: Riego con 100% de la ETc desde reactivación del crecimiento hasta completarse la fase II de crecimiento del fruto y 25% de la ETc en la fase III de crecimiento del fruto.
- T4: Riego con 60% de la ETc durante toda la temporada.



La evapotranspiración del cultivo (ETc), se calculó en base a la ecuación (Allen *et al.*, 1998):

$$ETc = E_b * K_p * K_c$$

Donde:

ETc: Evapotranspiración potencial del cultivo (mm/día).

Eb: Evaporación de bandeja (mm/día).

Kp: Coeficiente de bandeja.

Kc: Coeficiente de cultivo.

El valor de coeficiente de bandeja se estableció en 0,7 (Allen et al 1998). El coeficiente de cultivo se obtuvo de resultados publicados por Goldhamer *et al.* (1994), considerándose un valor de 0,7 para toda la temporada.

Las cargas de agua que se aplicaron tomaron en cuenta la eficiencia de aplicación del método de riego por microaspersión, considerada en 85%.

En el Cuadro 3 se muestran las cargas promedio de agua aplicadas, de las tres temporadas a cada tratamiento durante la temporada de riego (octubre a abril). La cantidad total promedio de agua aplicada al tratamiento T1 (100% ETc) alcanzó a 7.720 m³ ha⁻¹ por temporada., el tratamiento que recibió la menor cantidad de agua corresponde al T4. Los mayores volúmenes de agua se aplicaron desde brotación a fin de la etapa II (octubre a fines de enero).

Cuadro 3. Volumen promedio de agua de riego aplicada en los tratamientos (m³ ha⁻¹)

	Riego programado (m ³ ha ⁻¹)			
	T1	T2	T3	T4
Brotación a fin etapa II	4.261	4.261	4.261	2.557
Inicio etapa III a cosecha	3.459	1.321	785	2.075
Total m ³ ha ⁻¹	7.720	5.582	5.046	4.632
% de ETc total	100,0	72,3	65,3	60,0
% de Ahorro	0,0	27,7	34,6	40,0



Huerto de olivos con producción.



Frutos de olivos variedad Sevillana en último estado de crecimiento.



Porómetro de flujo estable para medir conductancia estomática.



Cámara de presión o Bomba Scholander, con hoja cubierta. Se utiliza para medir potencial hídrico xilemático.



Pecíolo de una hoja en la tapa de una Bomba de Scholander. Cuando la presión en la cámara es equivalente a la tensión de la savia, la savia aparece por el pecíolo.

Los volúmenes de agua de riego que recibieron los tratamientos en cada temporada de investigación, se presentan en el Cuadro 4. En el mismo cuadro se ha incluido la cantidad de precipitaciones que ocurrieron en el período, las que significaron un aporte adicional de agua. Las precipitaciones se concentraron fundamentalmente entre los meses de junio a septiembre. El año más seco corresponde a la temporada 1998/1999, año de inicio del ensayo, donde la precipitaciones fueron de 27,9 mm. Esto quiere decir que las plantas iniciaron su desarrollo en condiciones de un suelo muy seco. En las temporadas siguientes las precipitaciones fueron de 222,4 y 333,1 mm, para las temporadas 1999/2000 y 2000/01 respectivamente. Durante esta última temporada, 49,3 mm de lluvia cayeron en el mes de marzo del 2001. Las precipitaciones normales en el sector del ensayo son de 250 mm.

Cuadro 4. Aporte anual de agua de riego y precipitaciones en los diferentes tratamientos en cada año del ensayo (mm)

Tratamiento	Temporada 98/99			Temporada 99/00			Temporada 00/01		
	Riego	Lluvia	Total	Riego	Lluvia	Total	Riego	Lluvia	Total
T1	621,9	27,9	649,8	836,3	222,4	1.058,7	858,5	333,1	1.191,6
T2	480,2	27,9	508,1	591,1	222,4	813,5	603,2	333,1	936,3
T3	444,8	27,9	472,7	529,8	222,4	752,2	539,3	333,1	872,4
T4	373,1	27,9	401,0	501,8	222,4	724,2	515,1	333,1	848,2

Estado hídrico del suelo

El estado hídrico del suelo fue evaluado mediante la medición del potencial mátrico, utilizando tensiómetros. Los tensiómetros se instalaron a dos profundidades, 30 cm y 60 cm, en todos los tratamientos.

Los valores medidos presentaron una alta variabilidad, y en muchas situaciones los valores de potencial mátrico del suelo fueron inferiores a los de rango de lectura del instrumento (0 a -70 KPa). Sin embargo, indicaron una tendencia del comportamiento del estado hídrico del suelo bajo los distintos tratamientos de riego. En el régimen de 100% de ETc los

tensiómetros se mantuvieron en un rango de entre -10 a -40 KPa durante toda la temporada de riego. Estos valores fueron similares para los tratamientos T2 y T3 sólo hasta fines de la etapa II de crecimiento del fruto. Posteriormente las lecturas tensiométricas aumentaron, llegando incluso a superar el rango de medición del tensiómetro. En el tratamiento T4 (60% de ETC), el potencial mátrico del suelo tendió a ser menor que en los otros tratamientos entre brotación y fines de la fase II en respuesta a la menor cantidad de agua aplicada.

En el régimen de 100% de ETC las lecturas tensiométricas presentaron su mayor variación a 30 cm de profundidad, manteniéndose con una menor variación los potenciales mátricos medidos a 60 cm. Lo anterior indicaría que la mayor parte del agua extraída por los árboles provino de los primeros 30 cm de suelo. En cambio en los otros tres tratamientos el potencial mátrico disminuyó en ambas profundidades (30 y 60 cm). Es necesario señalar que en un número importante de oportunidades los tensiómetros se encontraron fuera del rango de funcionamiento, lo que indica que el potencial mátrico del suelo disminuyó bajo los -80 KPa.

Estado hídrico de las plantas

El estado hídrico de la planta no sólo depende del estado hídrico del suelo sino también de la demanda evaporativa atmosférica y de las características de la planta, tales como la distribución radicular y la conductancia hidráulica (Jones *et al.*, 1985). Por tal razón se evaluó directamente el estado hídrico de la planta a través del potencial hídrico xilemático y de la conductancia estomática.

Potencial hídrico xilemático

El potencial hídrico xilemático se midió por el método de la bomba de presión (Scholander *et al.*, 1965), de acuerdo a la metodología descrita por Meyer y Reicosky (1985). Las mediciones se realizaron en ramillas de un año, ubicadas en el tercio medio del árbol, al mediodía solar, momento considerado en que las plantas presentan su potencial diurno más bajo. Se midió una ramilla por árbol en 9 árboles por tratamiento, a lo largo de la temporada de crecimiento.

En las figuras 6a, 6b y 6c se muestra la evolución del potencial hídrico xilemático medido a mediodía en las tres temporadas de ensayo. El comportamiento del potencial xilemático fue similar en los tres años para los diferentes tratamientos, en el sentido que durante las fases I y II del crecimiento del fruto todos los tratamientos que recibieron 100% de ETc (T1, T2 y T3), presentaron valores similares, los que fluctuaron entre $-1,63$ y $-1,06$ MPa en las tres temporadas. En cambio el tratamiento T4 (60% de ETc), para el mismo período presentó valores que fluctuaron entre -2 y $-1,26$ MPa, en respuesta a la menor carga de agua aplicada desde inicios de temporada. Cabe señalar, sin embargo, que los valores más bajos de potencial en este tratamiento (-2 MPa) se presentaron en la primavera de la temporada 1998/99, luego de un invierno de precipitaciones anormalmente bajas (29,7 mm). En las temporadas siguientes, con mayores lluvias en invierno, los valores fluctuaron entre $-1,6$ y $-1,3$ MPa en este tratamiento.

Posteriormente, durante la etapa III y hasta mediados del mes de marzo, los potenciales hídricos de las plantas sujetas a tratamientos de estrés durante esta fase de desarrollo del fruto (T2, 40% de ETc, y T3, 25% de ETc) bajan hasta llegar a valores mínimos de -2 MPa en el tratamiento T2 y de entre $-2,1$ a $-3,4$ en el tratamiento T3. El tratamiento T4 en este período presentó valores similares a T2 y superiores a T3.

Los valores medidos de potencial xilemático están en el rango señalado por otros autores. Moreno *et al.* (1996) y Fernández *et al.* (1997) tanto en árboles regados (entre -1 y -2 MPa) como en árboles no regados, entre -1 y -3 MPa. Por otra parte, Fernández *et al.* (1997), encontraron que árboles regados con un tercio del ETc presentaron potenciales hídricos similares que plantas bien regadas, lo que podría atribuirse a un adecuado control estomático de las pérdidas de agua.

La disminución del potencial xilemático de los árboles bajo los tratamientos T2 y T3 durante la fase III responde a las mayores condiciones de demanda evaporativa y, principalmente a la disminución de los aportes de agua de riego, durante este período (Figura 7).

Como ya se ha indicado, el potencial xilemático medido durante la fase II se mostró estrechamente ligado con las precipitaciones invernales. En efec-

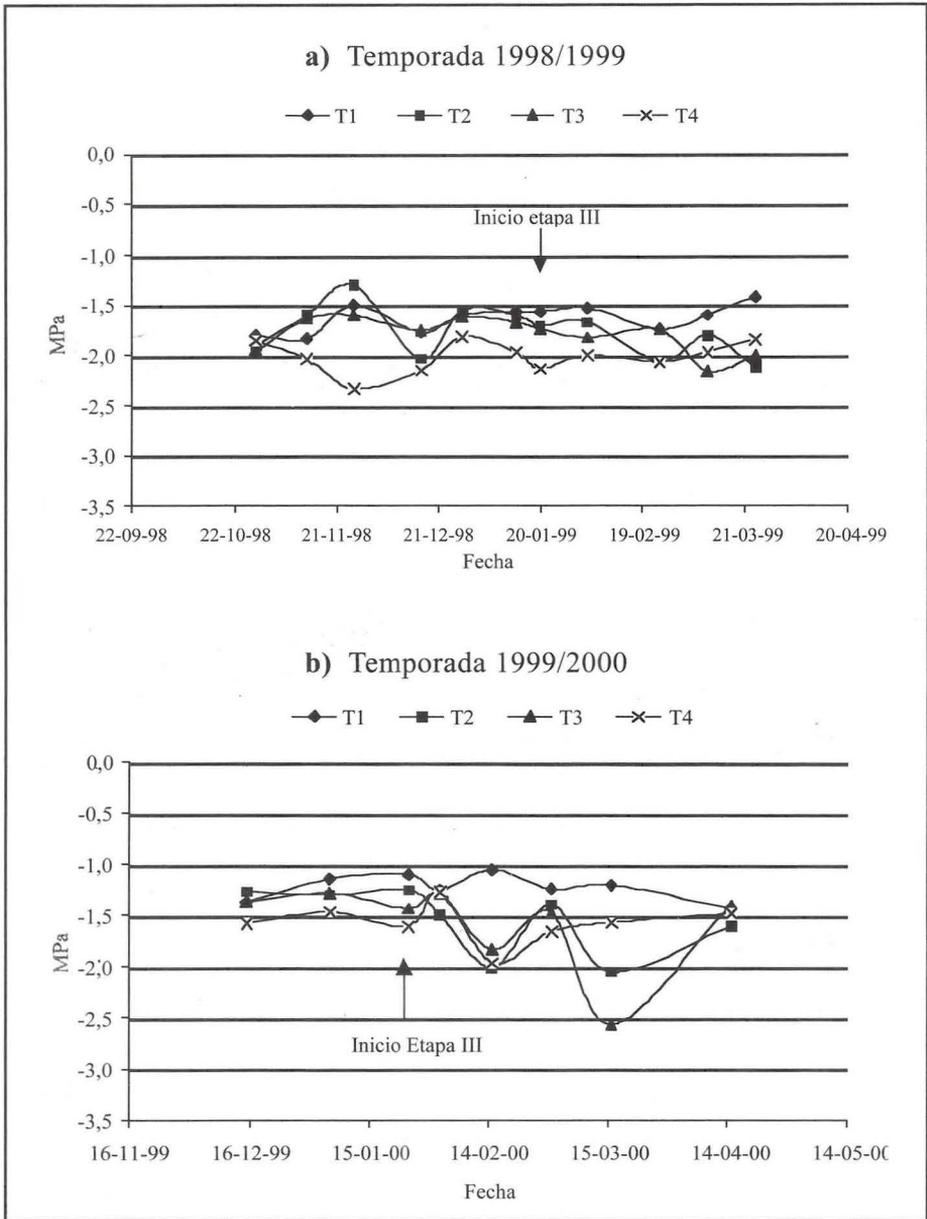


Figura 6. Potencial xilemático a mediodía (MPa), medido en los diferentes tratamientos de riego.

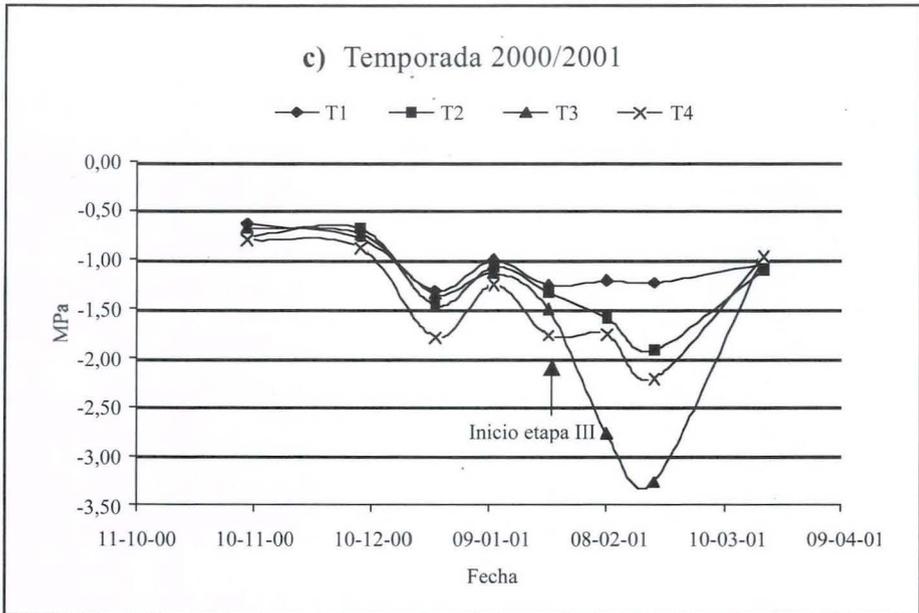


Figura 6. Potencial xilemático a mediodía (MPa), medido en los diferentes tratamientos de riego.

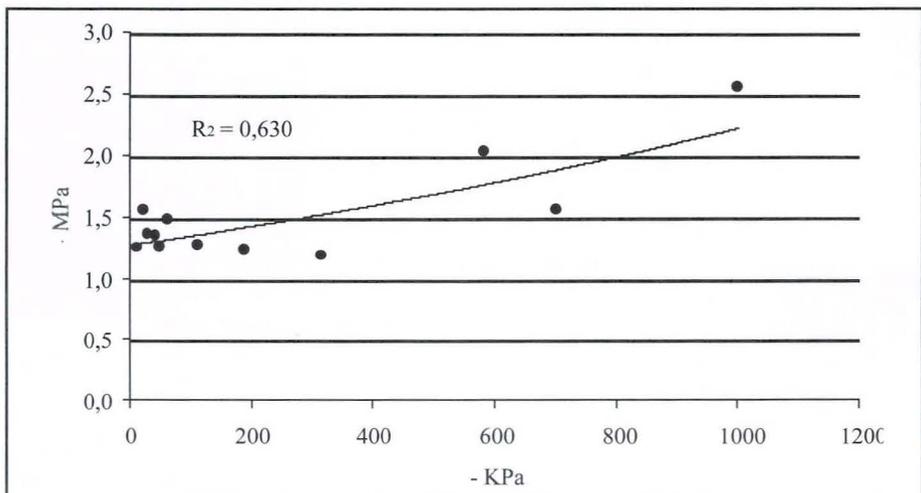


Figura 7. Relación entre el potencial xilemático (MPa), medido a mediodía y el potencial mátrico del suelo (KPa).

to, los potenciales hídricos medidos durante esta fase, en la temporada 1998/99, cuando las precipitaciones invernales fueron del orden de 29 mm, fueron inferiores a los medidos en las temporadas siguientes, donde las precipitaciones fueron superiores a los 200 mm (Figura 8).

Lo anterior demostraría la importancia de las lluvias invernales en la recuperación de la humedad del suelo, quedando esta disponible para ser absorbida por las plantas. El hecho de que el fenómeno se observa tanto en plantas bien regadas como las regadas en forma deficitaria (60% de ETc) se podría atribuir a que las raíces de las plantas exploran un volumen de suelo mayor al mojado por los microaspersores. La profundidad de raíces del olivo puede alcanzar hasta 1 m de profundidad (Poli 1986), pudiendo extenderse lateralmente hasta unos 2,5 m del árbol (Fernández *et al.*, 1991).

Conductancia estomática

La conductancia estomática (gs) se estimó a partir de la resistencia estomática (rs, gs = 1/rs) medida un porómetro de flujo estable Li 1600

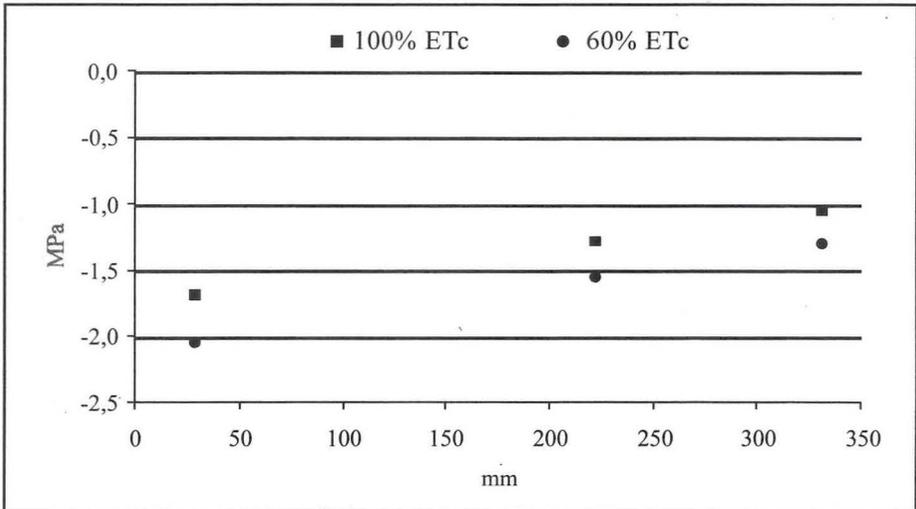


Figura 8. Relación entre el Potencial Hídrico Xilemático (Ψ_x), medido en la fase II (MPa) y las precipitaciones invernales de la temporada (mm), en los tratamientos con 100% de ETc (T1) y 60% de ETc (T4).

(LI-Cor inc, Lincoln, Nebraska, EUA). Las mediciones se realizaron a las 10:00 horas, momento en que los estomas se encuentran completamente abiertos (Fernández *et al.*, 1997). Se midió la conductancia de una hoja por planta, con características de hoja adulta, ubicada en el tercio medio del árbol y expuesta al sol, en 21 plantas por tratamiento, en los mismos días que se midió el potencial hídrico.

Este parámetro también se manifestó como importante para determinar el estado hídrico de las plantas. La Figura 9 muestra la evolución de la conductancia estomática durante la temporada 1999/2000 en los árboles con distintos tratamientos de riego. Se observa que el comportamiento de la conductancia estomática es similar al comportamiento presentado por el potencial xilemático (Figura 6b). Una vez iniciadas las restricciones hídricas de los tratamientos T1 y T2 en la fase III, la conductancia estomática de las plantas en ambos tratamientos disminuye respecto del testigo bien regado. El tratamiento regado con el 60% de la ETC durante toda la temporada tendió a presentar una conductancia estomática inferior a los otros tratamientos durante la fase II de crecimiento del fruto. El tratamiento bien regado (T1) presentó conductancias estomáticas que fluctuaron entre 0,8 y 0,4 cm s^{-1} . En las plantas bajo situaciones de estrés, la

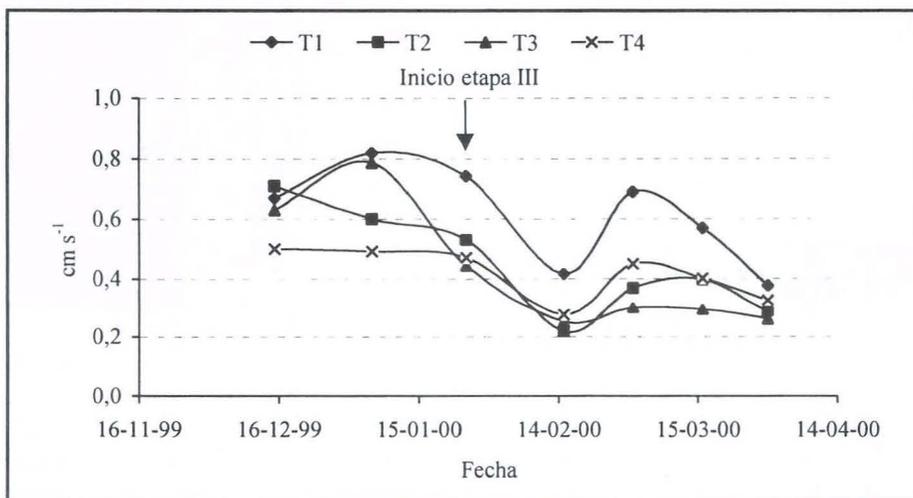


Figura 9. Conductancia estomática (gs, cm s^{-1}) en la temporada 1999/2000.

conductancia estomática llegó a valores de $0,25 \text{ cm s}^{-1}$. Valores similares a los medidos en el tratamiento T1 han sido determinados por Fernández *et al.* (1997) en olivos cultivar Manzanillo bajo condiciones de riego, en tanto que en árboles no regados los valores fluctuaron entre $0,6$ y $0,3 \text{ cm s}^{-1}$, en condiciones de máximo estrés ($-3,5 \text{ MPa}$).

La relación entre el potencial xilemático medido a mediodía y la conductancia estomática se presenta en la Figura 10.

De la figura anterior se desprende que la conductancia estomática disminuye regularmente con el potencial hídrico, no existiendo un valor umbral de cierre estomático. Tendencias similares han sido observadas en olivos por Fernández *et al.* (1997) y en otras especies frutales por Fereres *et al.* (1979), Castel y Fereres (1982) y Torrecillas *et al.* (1988).

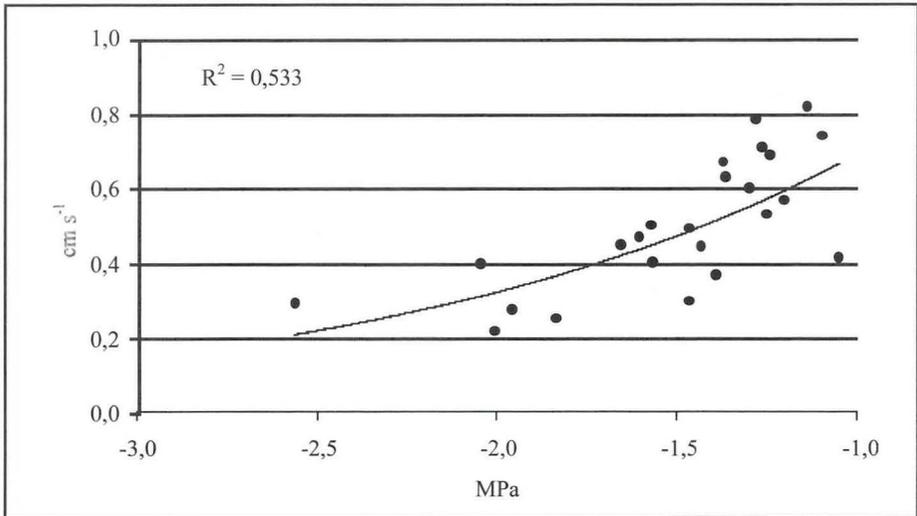


Figura 10. Relación entre el potencial hídrico xilemático (Ψ_x) medido a mediodía (MPa) y la conductancia estomática (gs, cm s^{-1}).

Crecimiento vegetativo

En forma periódica se midió el largo de brotes apicales en 12 plantas por tratamiento, los que se marcaron en la última yema formada para evitar

confundir crecimiento del ciclo anterior. De cada planta se seleccionaron cuatro brotes, cada uno orientado hacia un punto cardinal.

En la Figura 11 se presenta la curva típica de crecimiento de brotes observada en los árboles regados con 100% de la ETc. El mayor crecimiento de brotes se observa entre primavera y mediados de verano, durante el desarrollo de las etapas I y II de crecimiento del fruto. Posteriormente, cuando los frutos inician su tercera fase de crecimiento, el crecimiento del brote se detiene.

Metheney *et al.* (1994) encontraron que el crecimiento de brotes se veía disminuido por déficit hídricos inducidos por la aplicación permanente de niveles de agua equivalentes al 55% de la ETc del cultivo. Michelakis *et al.* (1994), en el cultivar Kalamon, encontró un menor desarrollo (altura de plantas, volumen de copa y perímetro de tronco) entre árboles regados y no regados, sin embargo, las diferencias entre estos parámetros no eran claras cuando los riegos se realizaron con potenciales mátricos del suelo de -200 KPa o de -1.500 KPa.

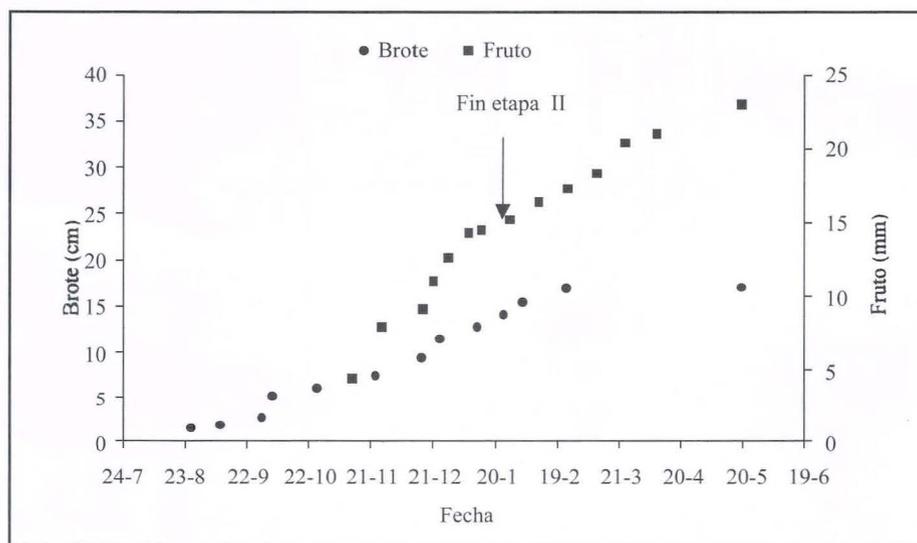


Figura 11. Crecimiento de brotes (cm) y de frutos (mm) en árboles regados con 100% de la ETc (temporada 1998/99).

En el presente estudio no se observaron diferencias significativas en el crecimiento longitudinal de los brotes en ninguna de las tres temporadas (Cuadro 5). El mayor crecimiento de brotes se produce durante la primavera y mediados de verano, antes de que se inicie la fase III de crecimiento de fruto (Figura 10), por lo cual es lógico de esperar que no existan diferencias entre los tratamientos que en este período recibieron 100% de ETc, T1, T2 y T3. Estos dos últimos fueron sujetos a déficit hídrico una vez que el crecimiento de los brotes prácticamente se había completado. En relación al tratamiento T4, al que se le aplicó el 60% de ETc desde inicios de temporada, a excepción de la temporada 1998/99, las precipitaciones invernales superaron los 200 mm, lo que habría permitido acumular una cantidad de agua en el suelo, la que fue utilizada por la planta, mitigando los aportes reducidos de agua en este período, como se refleja en los potenciales hídricos xilemáticos (Figura 2b y 2c). Durante el primer año de ensayo, a pesar de las mayores condiciones de estrés a las que se vieron sujetas las plantas del T4 en primavera, (Figuras 6a y 8) no se detectó diferencias en el crecimiento de las ramillas, lo que podría atribuirse a una alta variabilidad observada entre los distintos árboles. En este tratamiento se observó un menor desarrollo de ramillas laterales que en los otros tratamientos, en la temporada 1998/99, sin embargo este parámetro no fue cuantificado.

Cuadro 5. Largo final del brote apical (cm) en las distintas temporadas y tratamientos

Temporada	T1	T2	T3	T4
1998/99	12,55 a	14,69 a	8,33 a	14,21 a
1999/00	17,01 a	17,88 a	18,31 a	19,69 a
2000/01	13,91 a	8,49 a	12,41 a	10,35 a

Letras distintas en cada fila indican diferencia significativa (LSD 95%).

Producción

En cada temporada se cosecharon individualmente 6 árboles por tratamiento, a los cuales se les pesó la producción total. De cada árbol se extrajo una muestra representativa de frutos, los que fueron pesados individualmente y diferenciando cada árbol.

Como ya se ha indicado, el olivo es un árbol que se caracteriza por su alternancia en la producción, existiendo años de baja producción (años off) seguidos de años de alta producción (años on). En este ensayo las temporadas 1998/99 y 2000/01, correspondieron a años de baja carga y la temporada 1999/2000 correspondió a un año de alta carga frutal.

En el presente ensayo, en variedad Sevillana, la producción sufrió importantes variaciones interanuales debido a la carga frutal que presentaron los árboles como consecuencia del añerismo que caracteriza a esta especie, no observándose diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los tres años de ensayo (Cuadro 6). La producción es consecuencia de la cantidad de frutos presentes en el árbol y del tamaño de los frutos. Los efectos producidos por los tratamientos de riego sobre estos componentes del rendimiento no habrían sido lo suficientemente fuertes para afectar la producción final de los árboles bajo las condiciones de riego que se establecieron en el ensayo.

Los resultados obtenidos por otros investigadores muestran resultados claros del efecto del riego cuando se comparan situaciones con y sin riego, sin embargo, cuando se comparan distintos regímenes de riego los resultados no son tan evidentes. Nuzzo *et al.* (1997), en el cv. Coratina, y Michelakis *et al.* (1994), en el cv Kalamon, encontraron mayores rendimientos en plantas regadas que aquellas no regadas, sin embargo, estos últimos autores no encontraron diferencias entre los diferentes tratamientos de riego que utilizaron, concluyendo que un buen desarrollo de la planta, producción y calidad de fruto y una adecuada economía de agua se lograba cuando los riegos se realizan cada vez que el potencial mátrico del suelo llega a $-1,5$ MPa. Por otra parte, Goldhammer *et al.* (1994), en el cv Manzanillo, encontraron un 48% de disminución de rendimientos al reducir la cantidad de agua aplicada durante toda la temporada de 100% de la

ETc al 55% de la ETc. Inglese *et al.* (1996), en el cv. Carolea, encontraron mayores producciones en árboles regados en la fase III de crecimiento de frutos que en árboles no regados. Estas diferencias se podrían atribuir a diferencias entre los distintos cultivares, y a las diferentes condiciones ambientales existentes en los lugares de ensayo (disponibilidad de agua en el suelo, lluvia, temperatura, entre otros factores).

Carga frutal

La carga frutal, a la cosecha, que presentaron los árboles de los diferentes tratamientos durante las tres temporadas se presenta en el Cuadro 6. En las dos temporadas de baja producción (1998/99 y 2000/01), no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, presentando una alta variabilidad entre árboles, en particular en el primer año de ensayo. En la temporada de alta carga (año on, 1999/2000) existieron diferencias con el tratamiento T4, el cual presentó un menor número de frutos por árbol a la cosecha que los otros tres tratamientos (Cuadro 6). Michelakis *et al.* (1994), encontró que en años de alta carga se caían menos frutos en árboles bien regados que en árboles sujetos a déficit o sin riego, cosa que no sucedía en años de baja carga. En el caso de este ensayo, el menor número de frutos a la cosecha no se podría atribuir a una caída de frutos en la temporada, puesto que este fenómeno no se observó. Goldhammer *et al.* (1994) encontraron que déficit hídricos severos (entre 40 y 25% de la ETc) durante toda la temporada disminuían la carga frutal en relación a plantas que recibieron mayores aportes de agua. La causa del fenómeno observado en este ensayo en el año de alta carga no está clara, pero se podría atribuir una menor inducción floral en la temporada anterior, en respuesta al mayor déficit hídrico (Figura 6a) que presentaron las plantas en el T4 desde inicios del período de crecimiento, y a un menor número de ramillas laterales que se observaron en este tratamiento.

Cuadro 6. Carga frutal, peso de frutos a la cosecha y producción total de fruta de los tratamientos en cada temporada

	Temporada		
	1998/99	1999/00	2000/01
Frutos/árbol (x 1.000)			
T1	0,93 a	19,37 a	1,13 a
T2	0,56 a	18,06 a	1,00 a
T3	0,66 a	19,73 a	1,12 a
T4	1,17 a	15,92 b	1,13 a
g/fruto			
T1	8,98 a	3,70 a	7,75 a
T2	7,60 b	3,84 a	7,08 b
T3	7,16 c	3,35 b	6,72 c
T4	6,93 c	3,82 a	6,98 bc
kg/árbol			
T1	8,3 a	71,8 a	7,3 a
T2	4,3 a	69,3 a	7,3 a
T3	4,7 a	66,1 a	6,3 a
T4	8,1 a	60,8 a	7,7 a

Letras distintas en cada fila indican diferencia significativa (LSD 95%).

Tamaño de frutos

En los olivos cultivados para producir aceitunas de mesa (como el cultivar Sevillana) el tamaño del fruto es la variable de calidad que más fuertemente influye en el precio del producto, por lo que en este tipo de explotaciones es un objetivo importante alcanzar calibres altos.

Dado que en el olivo existen años de alta carga frutal y años con baja carga frutal, además de las condiciones hídricas de la planta, el tamaño del fruto está estrechamente relacionado con la carga frutal presente. En los años de alta carga frutal, dada la fuerte competencia que existe entre ellos por agua y nutrientes, los frutos son más pequeños que en los años de baja carga frutal (Figura 12).

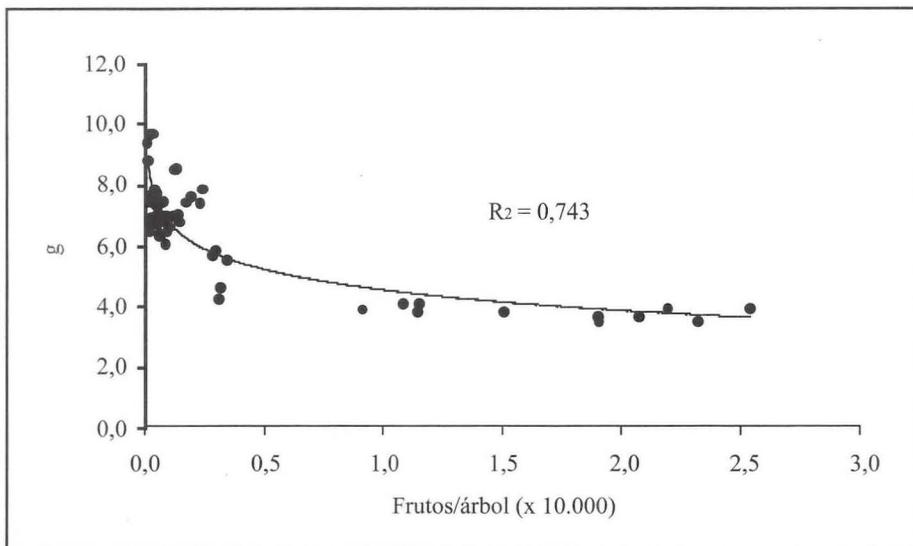


Figura 12. Relación entre el número de frutos por árbol y el peso final de los frutos a la cosecha.

Aplicaciones de agua equivalentes a un 60% de la ETC desde inicios de brotación hasta el término de la fase II de desarrollo del fruto provocaron una reducción del diámetro del fruto al término de esta fase sólo durante un año de baja carga frutal (1998/1999), no observándose diferencias en el año de alta carga frutal (1999/2000) como muestra el Cuadro 7. Es necesario señalar, sin embargo, que la temporada 1998/1999, correspondió a un año de bajas precipitaciones invernales (29,7 mm), lo que generó que el tratamiento de 60% presentara desde temprano en la temporada potenciales hídricos xilemáticos del orden de los -2 MPa (Figura 6a). No se realizaron mediciones de diámetro de frutos durante la segunda temporada de baja producción (2000/01), donde el estado hídrico de las plantas fue más alto (Figura 6c).

Cuadro 7. Tamaño del fruto (mm) al completarse la etapa II en árboles con y sin déficit en las temporadas de alta y baja producción

% ETc aplicado en las etapas I y II	Tamaño del fruto (mm) al completarse la etapa II	
	Alta carga	Baja carga
100%	12,70 a	16,24 a
60%	12,74 a	14,99 b

Letras distintas en cada fila indican diferencia significativa (LSD 95%).

Un fenómeno similar al descrito se observa al comparar el peso final del fruto a la cosecha entre las plantas regadas durante todo el período de crecimiento con 100% T1 y 60% de la ETc T4 (Cuadro 6). Diferencias significativas en el peso del fruto a la cosecha entre ambos tratamientos se observaron sólo en las temporadas de baja carga frutal (1998/99 y 2000/01). Durante la temporada de alta carga frutal el tamaño de los frutos fue similar en los tratamientos T1 y T4. Lo anterior indicaría que en períodos de alta carga frutal, la competencia que se genera entre los frutos por nutrientes y asimilados sería más importante que el efecto de un déficit hídrico moderado durante toda la temporada. Michelakis *et al.* (1994), en la variedad Kalamon, no encontraron diferencias en el tamaño del fruto entre árboles regados y no regados, sin embargo, la diferencia de tamaño de los frutos tendió a ser mayor en los años de menor carga frutal.

Por otra parte, aplicaciones de déficit hídrico sólo en la fase III de crecimiento del fruto (tratamientos T2 y T3), afectaron el peso final de los frutos a la cosecha (Cuadro 6). Restricciones hídricas severas (aplicación del 25% de la ETc, T3) afectaron el peso final del fruto tanto en los años de baja carga (1998/99, 2000/01) como en el año de alta carga (1999/2000). La aplicación de un 25% de la ETc durante la fase III de crecimiento de Figura 5. Efectos del riego en la etapa III de crecimiento del fruto sobre: peso fresco de frutos, concentración de aceite y potasio del fruto, caída prematura de frutos e índice de madurez. Extractado de Ingles *et al.*, 1996.

fruto significó que las plantas alcanzaran potenciales hídricos xilemáticos mínimos de entre $-2,5$ a $-3,3$ MPa en los meses de febrero a marzo (figuras 6a a 6c). Déficit hídricos severos en la etapa III afectan el tamaño del fruto a la cosecha, independiente de la carga frutal presente en los árboles. Este tratamiento presentó un tamaño de frutos a la cosecha similar al T4, que recibió restricción hídrica durante toda la temporada, durante los años de baja carga. Incluso durante el año de alta carga, el tamaño del fruto fue mayor en el tratamiento T4.

Restricciones de agua más moderadas en esta fase (40% ETc, T2) afectaron el peso final del fruto sólo en los dos años de baja carga frutal (Cuadro 6). Este tratamiento (T2), sin embargo, presentó un mayor peso de frutos a la cosecha que T3 y similar a T4 en dos de las tres temporadas estudiadas. Las diferencias entre ambos tratamientos se produjeron en el año de bajas precipitaciones (1998/99). Baratta *et al.* (1985) y Inglese *et al.* (1996) señalan que aplicaciones de agua durante el período de crecimiento del mesocarpo (fase III) aumentan el peso de la fruta.

Contenido de aceite (extracto etéreo)

A pesar de que cv. Sevillana es un cultivar de mesa, una vez realizada la cosecha, se realizó una muestra compuesta de 150 frutos de cada tratamiento, a la que se le determinó el porcentaje de materia seca y extracto etéreo.

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de riego en ninguno de los tres años de ensayo (Cuadro 8). Sin embargo, en los años de baja producción, el contenido de grasas de los frutos fue más alto que en la temporada de alta producción, manifestando una estrecha dependencia de la carga frutal (Figura 13).

Cuadro 8. Contenido de grasa (Extracto etéreo, en % base materia seca)

Tratamiento	98/99	99/00	00/01
T1	56,35 a	38,77 a	57,43 a
T2	56,65 a	46,94 a	54,54 a
T3	56,45 a	32,95 a	53,99 a
T4	55,65 a	43,46 a	58,00 a

Letras distintas en cada fila indican diferencia significativa (LSD 95%).

Estos resultados concuerdan con los de Michelakis *et al.* (1994), quienes señalan que el contenido de aceite no parecer estar afectado por los regímenes de riego, sino más bien con la carga frutal de los árboles, siendo el contenido de aceite mayor en los años de baja carga que en los años de alta producción.

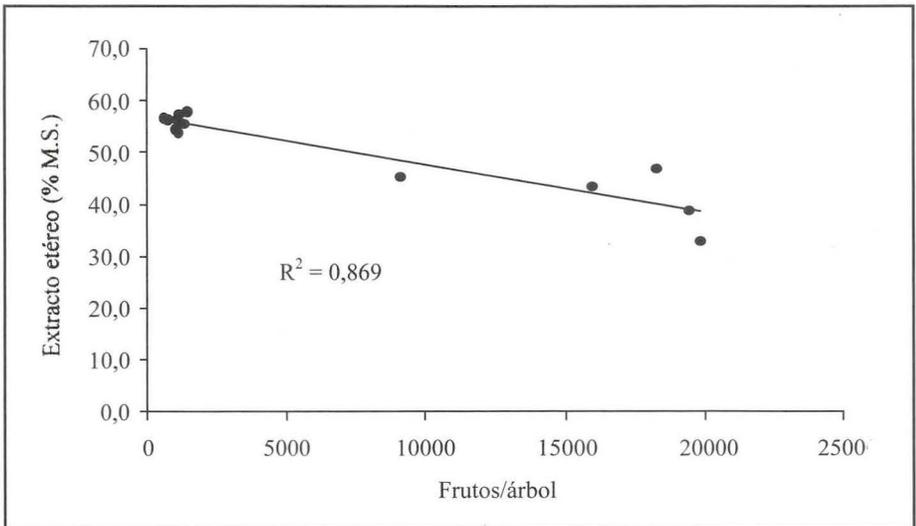


Figura 13. Relación entre el extracto etéreo (contenido de aceite) y la carga frutal.

CONCLUSIONES

El ensayo realizado en Olivos cv. Sevillana permite sacar algunas conclusiones de interés, no obstante ellas se ven limitadas por el hecho que esta especie, por sus características fisiológicas presenta una gran variabilidad productiva de un año a otro, dificultando la interpretación de los resultados en ensayos de corto plazo:

- Las condiciones de humedad de suelo a principios de primavera que otorgan las precipitaciones invernales son importantes para el desarrollo del cultivo. En años con inviernos secos se debiera restituir la humedad del suelo mediante riego, aun cuando durante la temporada se riegue en forma deficitaria.
- Restricciones hídricas severas durante la fase III de crecimiento del fruto (aplicación del 25% de la ETc) representan una economía de agua del 35%, sin embargo, se afecta el peso final del fruto, tanto en años de baja carga como de alta carga. Restricciones menos severas en esta etapa (aplicación del 40% de la ETc), afectan el tamaño del fruto sólo en los años de baja carga frutal.
- Una mejor estrategia de riego deficitario parece ser reducción pareja del agua aplicada equivalente al 60% de la ETc del cultivo durante toda la temporada. Con esta estrategia se logra una economía de agua del 40% y no viéndose afectado el peso final de los frutos, respecto de las otras estrategias de restricción hídrica.
- Esta estrategia de déficit permanente, sin embargo, produjo una fuerte baja en la carga frutal de la temporada “on”, la que parece tener su origen en la temporada anterior. Futuras investigaciones en este sentido son necesarias para determinar su origen.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, D.; RAES, D. and SMITH, M. 1988.** Crop evaporation: Guidelines for computing water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper 56, Roma.
- ANDROULAKIS, I.; LOUPASSAKI, M. and SCHWABE, W. 1997.** The content of mineral elements in the leaves of the olive cv. Koroneiki in relation to irrigation and the time of sampling. *Acta Horticulturae* 449: 401-409.
- BEEDE, R.H. and GOLDHAMER, D. 1994.** Olive Irrigation Management. *En: Olive Production Manual.* Universidad de California Pub. 3353.
- BARATTA, B.; CARUSO, T.; Di MARCO, L. y INGLESE, P. 1985.** Effeti dell'irrigazione sulle caratteristiche delle olive nela cv. "Nocellara del Belice". *Frutticoltura* 3 (4): 61-66.
- BINI, G.; SAPIA, L.; BRICCOLI BATI, C. y TOSCANO, P. 1997.** Irrigazione dell'olivo con sistemi a microportata. *L'Informatore Agrario* 22: 37-44.
- CASTEL, J. and FERERES, E. 1982.** Responses of young almond trees to two drought periods in the field. *J. Hort. Sci.* 57: 175-187.
- CELANO, G.; DICHIO, G.; MONTANARO, A.; PALESE, M. and XILOYANNIS, C. 1999.** Distribution of dry matter and amount of mineral elements in irrigated and non-irrigated olive trees. *Acta Horticulturae* 474: 381-384.
- DICHIO, B.; NUZZO, V.; XILOYANNIS, C.; CELANO, G. and ANGELOPOULOS, K. 1997.** Drought stress-induced variation of pressure-volume relationships in *Olea europaea* L. Cv. "Corantina". *Acta Horticulturae* 449: 83-89.
- ESCOBAR, H. 1981.** Fenología del olivo del valle de Azapa. *En: Primeras Jornadas Olivícolas Nacionales.* Universidad de Tarapacá.

- FERERES, E.; CRUZ-ROMERO, G.; HOFFMAN, G. and RAWLINS, S. 1979.** Recovery of orange trees following severe water stress. *J. Appl. Ecol.* 16: 833-842.
- FERERES, E. y ORGAZ, F. 1995.** El riego del Olivar. VII Simposio Científico-Técnico Expoliva. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba. Cuadernos de Fitopatología, 3^{er} Trimestre, 1995. p. 119-123.
- FERNANDEZ, J.; MORENO, F.; CABRERA, F.; ARUUE, J. and MARTÍN-ARANDA, J. 1991.** Drip irrigation, soil characteristics and the root distribution and root activity of olive trees. *Plant and Soil* 133: 239-251.
- FERNANDEZ, J.; MORENO, F.; GIRÓN, I. and BLÁZQUEZ, O. 1997.** Stomatal control of water use in olives trees leaves. *Plant and Soil* 190: 179-192.
- FERNANDEZ-ESCOBAR, R.; BENLLOCH, M.; NAVARRO, C. and MARTIN, G.C. 1992.** The time of floral induction in the olive. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 117 (2): 304-307.
- GOLDHAMER, D.; DUNAI, J.; FERGUSON, L.; LAVEE, S. and KLEIN, I. 1994.** Irrigation requirements of olive trees and responses to sustained deficit irrigation. *Acta Horticulturae* 356: 172-175.
- GRAMMATIKOPOULOS, G.; KARABOUR-NIOTIS, G.; KYPARISSIS, A.; PETROPOULOU, Y. and MANETAS, Y. 1994.** Leaf Hairs of Olive (*Olea europaea*) prevent stomatal closure by Ultraviolet-B radiation. *Australian Journal of Plant Physiology* 21: 239-301.
- GUERRERO, A. 1988.** Nueva olivicultura. Ed. Mundi-prensa. Madrid. 269 p.

- INGLESE, P.; BARONE, P. and GULLO, G. 1996.** The effect of complementary irrigation on fruit growth, ripening pattern and oil characteristics of olive (*Olea europaea* L.) cv Carolea. Journal of Horticultural Science 71: 257-263.
- JONES, M.G.; LAKSO, A.N. and SYVERSTER, J.P. 1985.** Physiological control of water status in temperate and subtropical fruit trees. Hort. Rev. 7: 301-344.
- LAVEE, S.; AVIDAN, B. and BEN-TAL, Y. 1982.** Effect of fruit size and yield on the fruit-removal-force within and between olive cultivars (*Olea europaea*). Scientia Horticulturae 17 (1): 27-32.
- LAVEE, S.; RALLO, L.; RAPOPORT, H.F. and TRONCOSO, A. 1996.** The floral biology of the olive: effect of flower number, type and distribution on fruitset. Scientia Horticulturae 66: 149-158.
- LIAKOURA, V.; STEFANO, M.; MANETAS, C.; CHOVELAS, C. and KARABOURNIOTIS, G. 1997.** Trichome density and its UV_B protective potential are affected by shading and leaf position on the canopy. Environmental and Experimental Botany 38: 223-229.
- LOUSSERT, R. y BROUSSE, G. 1980.** El Olivo. Madrid, Mundi-prensa. 533 p.
- MICHELAKIS, N.; VOUYOUCALOU, E. and CLAPAKI, G. 1994.** Plant growth and yield of olive tree cv. Kalamon, to different levels of soil water potential and methods of irrigation. Acta Horticulturae 356: 205-214.
- METHENEY, P.; FERGUSON, L.; GOLDHAMER, D. and DUNAI, J. 1994.** Effects of irrigation on Manzanillo olive flowering and shoot growth. Acta Horticulturae 356: 168-171.
- MORENO, F.; FERNANDEZ, E.; CLOTHIER, B. and GREEN, S. 1996.** Transpiration and root water uptake by olive trees. Plant and Soil 184: 85-96.

- NUZZO, V.; XILOYANNIS, C.; DICHIO, G.; MONTANARO, G. and CELANO, G. 1997.** Growth and yield in irrigated and non-irrigated olive trees cultivar Corantina over four years after planting. *Acta Horticulturae* 449: 75-82.
- OSORIO, A. 1981.** Diagnóstico y técnicas de riego en olivos en el valle de Azapa. Primeras Jornadas Olivícolas Nacionales. Universidad de Tarapacá. p. 272-303.
- PATUMI, M.; D'ANDRIA, R.; FONTANAZZA, G.; MORELLI, G.; GIORIO, P. and SORRENTINO, G. 1999.** Yield and oil quality of trained trees of three cultivars of olive (*Olea europaea* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Horticultural & Biotechnology* 74 (6) 729-737.
- PASTOR, M.; CASTRO, J. y ORGAZ, F. 1995.** Posibilidades de utilización de programas de riego deficitario en olivar tradicional de la provincia de Jaén. VII Simposio Científico-Técnico Expoliva. Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba. Cuadernos de Fitopatología, 3^{er} Trimestre, 1995. p. 138-141.
- PASTOR, M. y ORGAZ, F. 1995.** Riego deficitario del Olivar, los programas de recorte de riego en Olivar. *Agricultura, revista agropecuaria. Suplemento Mayo Expoliva'95.* p. 46-52.
- PAVEL, E. and FERERES, E. 1998.** Low soil temperatures induce water deficits in olive (*Olea europaea*) trees. *Physiologia Plantarum* 104: 525-532.
- POLI, M. 1986.** The olive's alternating production pattern. *Olivae. Madrid.* 12: 7-27.
- PRIOETTI, P. and ANTOGNOZZI, E. 1996.** Effect of irrigation on fruit quality of table olives (*Olea europaea*) cultivar Ascolana tenera. *New Zeland Journal of Crop and Horticultural Science* 24: 175-181.

- PSYLLAKIS, N. 1976.** Methode d'étude des facteurs biologiques de la production chez l'olivier. *Olea Junio* 1976: 7-34.
- RALLO, L.; TORREÑO, P.; VARGAS, A. and ALVARADO, J. 1994.** Dormancy and alternate bearing in olive. *Acta Horticulturae* 356: 127-136.
- RAMOS, A. and RALLO, L. 1999.** Effect of the bearing condition of the tree, chilling and defoliation on the forced budburst of olive cuttings at different temperatures. *Acta Horticulturae* 474: 251-254.
- SCHOLANDER, P.F.; HAMEL, H.T. HEMMINGSEN, E.A. and BRADSTREET, E.D. 1964.** Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of Mangrove and some others plants. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.* 51: 119-225.
- STUTTE, G.W. and MARTIN, G.C. 1986.** Effect of light intensity and carbohydrate reserves on flowering in olive. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 111 (1) 27-31.
- TOMBESI, A. 1994.** Olive fruit growth and metabolism. *Acta Horticulturae* 356: 225-232.
- TORRECILLAS, A.; RUIZ-SANCHEZ, M. C.; LEON, A. and GARCIA, A. 1988.** Stomatal response to leaf water potential in almond trees under drip irrigated and non irrigated conditions. *Plant Soil* 112: 151-153.
- XILOYANNIS, C.; DICHIO, B.; NUZZO, G. and CELANO, G. 1999.** Defense strategies of olive against water stress. *Acta Horticulturae* 474: 423-426.

