



# Estudio agronómico y fisiológico del albaricoquero en condiciones de infradotación hídrica

---

**Alejandro Pérez Pastor**

Directores: M<sup>a</sup> Carmen Ruiz Sánchez  
Rafael Domingo Miguel

---

Memoria presentada para optar al Grado de Doctor  
por la Universidad Politécnica de Cartagena  
Cartagena, 2001

El Ingeniero Agrónomo, Alejandro Pérez Pastor, disfrutó de una beca del Programa de Formación de Personal Investigador del Ministerio de Educación y Ciencia, durante el tiempo de realización de la presente Memoria de Tesis Doctoral.

El trabajo ha sido realizado en el Departamento de Riego y Salinidad del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC) y en el de Producción Agraria de la Universidad Politécnica de Cartagena (ETSIA-UPCT), encuadrándose en las actividades de los proyectos de investigación CICYT: ‘Estudio del sistema agua-suelo-planta en el cultivo del limonero y el albaricoquero bajo condiciones de riego deficitario controlado’ (AMB95-0071), ‘Respuesta de árboles frutales al riego deficitario: utilización de indicadores biológicos para la optimización del riego’ (HID96-1342-C04-03) y ‘Optimización de estrategias de riego deficitario controlado y manejo del suelo en el cultivo del albaricoquero en zonas con infradotación hídrica’ (HID1999-0951).



## Agradecimientos

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que han colaborado en la realización de esta Memoria, y sin cuya ayuda no hubiera sido posible la elaboración de la misma:

Al Prof. Arturo Torrecillas Melendreras, Jefe del Dpto. de Riego y Salinidad del CEBAS, por haberme introducido en este mundo de la investigación y por haber puesto a mi disposición todos los medios que se han necesitado y además por su amistad, que la tengo en gran estima.

A los Dres. M<sup>a</sup> Carmen Ruiz Sánchez y Rafael Domingo Miguel por su excelente labor de dirección, su calidad humana, sus atenciones hacia mí tanto en la realización de esta Tesis como a nivel personal, su complicidad y por su constante ayuda y estímulo.

Al Ing. Téc. Tomás Berenguer Hernández por su amistad y ayuda en la programación de las prácticas culturales realizadas en la explotación.

A D. José Antonio Tomás, propietario de la Finca *El Minglanillo*, por las facilidades prestadas en todo momento. Así como a D. Ginés Buendía y su hermano José por su colaboración y amistad.

A Dña. María García Abellán, D. José Soto Montesinos, D. José Soto Forca y Dña. M<sup>a</sup> Dolores Velasco, personal del Dpto. de Riego y Salinidad del CEBAS, por su inestimable ayuda y colaboración en la realización de los trabajos de campo y laboratorio.

Al Dr. José M<sup>a</sup> Abrisqueta García, por las innumerables horas de campo, ordenador y demás herramientas informáticas compartidas.

A los Dres. Juan Vera Muñoz, M<sup>a</sup> Jesús Sánchez Blanco, Juan José Alarcón Cabañero, Francisco Artés Calero, Luis Almela Ruiz y José Antonio Franco Leemhuis por poner a mi disposición todo cuanto de ellos he necesitado.

A mis compañeros M<sup>a</sup> Ángeles Morales, Emilio Nicolás, Pedro Rodríguez, Antonio Ruiz, José M<sup>a</sup> Cámara, Trino Ferrández, Rayza Galego, Cesario Jasso, Cañi, Silvia, Juan Antonio, Amari, Fina, Pilar, Ana, Pedro, Fuensanta, Arancha y Encarni por los bonitos momentos que hemos pasado juntos y por la amistad que de entre nosotros ha surgido.

A los Ing. Téc. Juan Pedro Pérez, Alejandro Giménez, M<sup>a</sup> José Pérez, Raúl García, M<sup>a</sup> José Martínez, Esther Sánchez y Bartolomé Ramírez por su ayuda eficiente en la toma de datos en los experimentos de campo y determinaciones analíticas.

A mi gran familia del CEBAS: Manuel Campoy, Emilio Nicolás, Antonio Gil, Andrés Marín, Jose Gutiérrez, Alicia Aragón, M<sup>a</sup> Carmen Rodríguez, Encarnita Aragón, Mercedes Medina, Ginés Marín, Federico, Loles y a los no mencionados.

A mi mujer Paqui y mi hijo David por su comprensión y apoyo moral, a mi hermano Joaquín, y sobre todo a mis padres Joaquín y María a quienes se lo debo todo.

*A Paqui y David*

*A mis padres y hermano*

*El vencer las dificultades es en todo gran parte del mérito. No se hacen grandes cosas sin grandes fatigas.*

*François-Marie Arouet*

# Índice general

<b>1. Justificación y Objetivos.</b>	1
<b>2. Antecedentes.</b>	
2.1. Programación y manejo del riego en frutales.	3
2.1.1. Introducción.	3
2.1.2. Métodos de cálculo de las necesidades hídricas.	4
2.1.3. Indicadores para la programación del riego.	9
2.2. Efectos de las condiciones hídricas adversas en la fisiología de los frutales.	14
2.2.1. Inundación.	14
2.2.2. Déficit hídrico.	17
2.3. Riego deficitario controlado.	23
2.3.1. Fundamentos.	23
2.3.2. Identificación de períodos críticos.	25
2.3.3. Investigaciones sobre RDC.	26
<b>3. Técnicas utilizadas.</b>	
3.1. Introducción.	33
3.2. Clima.	33
3.3. Suelo.	35
3.3.1. Estado hídrico.	35
3.3.2. Oxígeno disuelto y salinidad.	38
3.4. Planta.	39
3.4.1. Estado hídrico.	39
3.4.2. Concentración de nutrientes en hoja.	43
3.4.3. Floración, fructificación y caídas fisiológicas.	44
3.4.4. Crecimiento vegetativo.	45
3.4.5. Crecimiento del fruto.	48
3.4.6. Producción y calidad.	51
<b>4. Evaluación de la resistencia al encharcamiento de dos portainjertos.</b>	
4.1. Introducción.	53
4.2. Material y Métodos.	53
4.2.1. Condiciones experimentales.	53
4.2.2. Tratamientos.	55
4.2.3. Medidas.	57
4.3. Resultados y Discusión.	58
4.3.1. Relaciones hídricas	58
4.3.2. Crecimiento vegetativo	70
4.4. Conclusiones.	72

<b>5. Adaptación al déficit hídrico de plantas jóvenes.</b>	
5.1. Introducción.	75
5.2. Material y Métodos.	75
5.2.1. Condiciones experimentales.	75
5.2.2. Tratamientos.	76
5.2.3. Medidas.	77
5.3. Resultados y Discusión.	78
5.3.1. Período de preacondicionamiento.	78
5.3.2. Período de estrés y recuperación.	83
5.4. Conclusiones.	89
<b>6. Estudio fenológico. Caracterización del ciclo de cultivo.</b>	
6.1. Introducción.	91
6.2. Material y Métodos.	91
6.2.1. Condiciones experimentales.	91
6.2.2. Medidas.	99
6.3. Resultados y Discusión.	99
6.3.1. Estados fenológicos.	99
6.3.2. Caídas fisiológicas.	105
6.3.3. Crecimiento y desarrollo.	107
6.4. Conclusiones.	114
<b>7. Respuesta al riego deficitario controlado (RDC).</b>	
7.1. Introducción.	117
7.2. Material y Métodos.	117
7.2.1. Condiciones experimentales.	117
7.2.2. Tratamientos.	119
7.2.3. Medidas.	121
7.3. Resultados y Discusión.	124
7.3.1. Relaciones agua-suelo-planta.	124
7.3.2. Concentración de nutrientes en hoja.	144
7.3.3. Floración y fructificación. Caídas fisiológicas.	148
7.3.4. Crecimiento vegetativo.	151
7.3.5. Crecimiento del fruto.	163
7.3.6. Producción y calidad de la cosecha.	173
7.4. Conclusiones.	182
<b>8. Conclusiones generales.</b>	185
<b>9. Bibliografía.</b>	189
<b>Abreviaturas y símbolos.</b>	223

## **1. Justificación y Objetivos.**

Durante el siglo pasado, la ingeniería del agua dedicó una atención especial a la gestión del agua desde el lado de la oferta. Sin embargo, es al final del siglo XX cuando surgen cambios importantes respecto a cómo deben ser gestionados los recursos hídricos disponibles, siendo su origen muy distinto al derivado del simple progreso tecnológico, ya que su carácter fue más económico y social. Hoy día se acepta, de manera unánime, que la gestión del agua debe llevarse a cabo de manera integrada y global, sin que se pueda prescindir de aspectos ambientales, ecológicos o biológicos. La limitación existente para continuar aumentando los recursos está obligando a racionalizar los usos en todos los sectores de nuestra sociedad: industrial, urbano y turístico, agrícola y medio ambiental, otorgando plena actualidad a la gestión de la demanda.

En España, la demanda de agua calculada es de 31 000 hm<sup>3</sup> año<sup>-1</sup> y el principal demandante el sector agrícola, con sus 3.1 millones de ha en regadío, que utiliza alrededor del 80 % de los recursos hídricos totales ( $\approx 8000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), por lo que un pequeño ahorro en el conjunto del regadío puede representar un importante volumen para otros sectores.

En la cuenca mediterránea, la escasez e irregularidad de las precipitaciones, unido a la alta demanda evaporativa, son las causas del desarrollo de fuertes déficits hídricos estacionales. En estas condiciones, el agua de riego es el principal factor de producción. Es impensable obtener cosechas de alto rendimiento y calidad comercial si falta el agua para el riego regular de los cultivos. En el caso de los árboles frutales el riego no sólo debe asegurar la producción del año en curso, sino que además debe contribuir a mantener la capacidad productiva de la plantación en los años siguientes.

Por otro lado, los crecientes costes del agua obligan a su mejor aprovechamiento de modo que permitan, al menos, reducir los costes de producción. En esta línea, los sistemas de riego localizado automatizados han facilitado el logro de altas eficiencias de riego; sin embargo, es presumible que el ahorro de agua derivado del cambio de riego sea insuficiente para mantener muchos de los sistemas agrícolas actuales, por lo que será necesario desarrollar prácticas agrícolas que, siendo compatibles con el medio natural, sean capaces de mantener e incluso incrementar el desarrollo agrario.

La Región de Murcia y sobre todo la Vega Alta del Segura y sus afluentes constituyen una de las áreas de cultivo del albaricoquero más importantes del mundo. La superficie dedicada ronda las 12 000 ha, lo que equivale al 55 % del total nacional y donde se obtiene, una producción media de 100 000 t año<sup>-1</sup>. Sin embargo, este sector está atravesando, desde hace unos años, una grave crisis derivada de su baja rentabilidad, como consecuencia de

sus bajos rendimientos y altos costes de producción, debidos en gran parte a la disponibilidad limitada de agua y a la depreciación del albaricoque por afecciones virales. Aunque en la Región, la práctica totalidad del cultivo se encuentra en regadío, son escasos los estudios realizados con relación a los efectos del régimen de riego sobre la producción y calidad de la cosecha.

Una de las alternativas propuestas para aumentar la eficiencia en el uso del agua, disminuir los costes de riego y producción e inducir algunos aspectos beneficiosos sobre el cultivo, ha sido el riego deficitario controlado (RDC). Con este tipo de estrategias algunos autores han obtenido resultados esperanzadores en frutales y cítricos (Chalmers *et al.*, 1981; Domingo *et al.*, 1996; Girona y Marsal, 1995; González-Altozano y Castel, 1999, 2000; Mitchell y Chalmers, 1982; Mitchell *et al.*, 1986), radicando la clave de su éxito en el momento, duración e intensidad del estrés impuesto a determinados períodos del ciclo del cultivo para que su producción y calidad sean poco o nada afectadas.

Por todo ello, el objetivo global de la presente Memoria fue estudiar la idoneidad del cultivo del albaricoquero para ser utilizado en estrategias de RDC, así como la evaluación de su respuesta al déficit hídrico controlado, a través del estudio de las relaciones hídricas, el crecimiento vegetativo, la producción y calidad de la cosecha. Este objetivo global fue abordado de acuerdo con la síntesis de trabajo que se describe a continuación:

En albaricoqueros jóvenes cultivados en maceta se realizaron dos ensayos encaminados a mejorar el conocimiento de la respuesta a condiciones ambientales adversas típicas del clima mediterráneo: largos períodos de sequía y ocasionales precipitaciones intensas. Estos ensayos permitieron caracterizar los mecanismos de valor adaptativo desarrollados en albaricoquero para afrontar situaciones de sequía o de inundación, derivándose de ellos prácticas de manejo del cultivo de interés frente a estas condiciones.

En árboles adultos, en riego localizado, de una explotación comercial se realizó la caracterización fenológica del cultivo y la evaluación de parámetros fisiológicos con el objeto de delimitar el comienzo y final de los períodos críticos del albaricoquero, así como la idoneidad para su utilización en RDC, a partir del grado de concurrencia de los procesos de crecimiento vegetativo y del fruto. Finalmente y durante las campañas 1995/96 a 1998/99 se estudió la respuesta del albaricoquero Búlida a distintos tratamientos de riego deficitario, evaluando la modificación de las relaciones hídricas y la incidencia en los procesos de floración-fructificación, crecimiento vegetativo, producción y calidad de la cosecha.

## **2. Antecedentes.**

## **2.1. Programación y manejo del riego en frutales. Indicadores.**

### **2.1.1. Introducción.**

El término programación del riego es generalmente usado para describir el procedimiento mediante el cual se determina la frecuencia y dosis de agua a aplicar en cada riego (Hillel, 1990). Por lo tanto, la programación del riego debe responder a dos preguntas básicas:

a) ¿Cuándo es el momento más adecuado para efectuar un riego? Su respuesta determina el intervalo entre riegos.

b) ¿Qué cantidad de agua hay que aplicar en cada riego? Su respuesta define el volumen de riego.

La respuesta a estos interrogantes, es decir, la planificación del riego ha sido abordada tradicionalmente a partir de métodos basados en estimaciones del clima, en el conocimiento del estado hídrico del suelo y, los más recientes, en el estado hídrico de la planta. La búsqueda de métodos fiables y representativos ha sido y sigue siendo una preocupación constante por su repercusión en el uso eficiente del agua de riego, de los fertilizantes y de la energía.

En el presente trabajo de Tesis se han utilizado, de forma conjunta, parámetros de suelo, planta y clima de uso frecuente en la programación del riego. Ésta se ha determinado sobre la base de dos criterios: uno técnico puro y de aplicación al tratamiento control cuyo objetivo fue el de lograr la máxima producción por unidad de superficie y otro combinando aspectos técnicos y económicos, aplicado a los tratamientos de riego deficitario controlado (RDC) cuyo objetivo fue optimizar la eficiencia en el uso del agua, es decir, buscar la máxima producción por unidad de agua aplicada. Este criterio de programación es de gran interés en áreas como la estudiada donde la disponibilidad de agua es escasa y los costes de riego elevados. Para el logro de este objetivo es necesario conocer la sensibilidad del cultivo al déficit hídrico en los diferentes estados fenológicos, al objeto de elaborar y aplicar estrategias de riego que contemplen los períodos del ciclo de cultivo en los que los efectos del estrés hídrico tienen una mayor repercusión sobre la calidad y rendimiento de la cosecha.

Ambos criterios de programación requieren el conocimiento de las necesidades hídricas puntuales del árbol, de ahí la importancia de disponer de datos precisos de la evapotranspiración del cultivo (ETc).

### 2.1.2. Métodos de cálculo de las necesidades hídricas.

La determinación de la ETc de plantaciones frutales es complicada debido a las interacciones existentes entre los diferentes procesos fisiológicos y a la influencia de un gran número de parámetros entre los que caben destacar las condiciones del medio, técnicas culturales, edad de la plantación, sistema de riego e incluso combinación variedad/patrón (Cohen, 1994; Couvillon *et al.*, 1988; Gómez-Aparisi, 1991).

Son muchos los estudios recogidos en la bibliografía que abordan la determinación de las necesidades hídricas de los árboles frutales. Cuando la base de estudio es el conjunto de la plantación se suele recurrir al balance de agua en el suelo (Bielorai, 1982; Castel *et al.*, 1987; Moreno *et al.*, 1988), o lo que es más frecuente, al uso combinado de éste con los métodos micrometeorológicos (Cohen, 1991; Kalma y Stanhill, 1969), mientras que en la medida de la evapotranspiración de árboles aislados se ha utilizado tanto lisímetros de drenaje como de pesada (Boman *et al.*, 1991; Castel, 1994). En los últimos años, gracias al avance en la electrónica y la informática, se han desarrollado diferentes métodos basados en la interacción del flujo de savia bruta y los transportes de calor. Éstos están siendo utilizados con éxito en la estima de la transpiración de diversas especies, principalmente de árboles forestales y frutales (Alarcón *et al.*, 2000; Cohen, 1991; Domingo *et al.*, 1999; González-Altozano, 1998; Green y Clothier, 1995; Moreno *et al.*, 1996). Si a la transpiración así obtenida se le añade la evaporación desde la superficie del suelo de árboles bien regados se obtiene la evapotranspiración del cultivo.

#### ***Métodos micrometeorológicos.***

Pruitt (1986) clasificó los distintos métodos de estimación de la evapotranspiración en:

- **Altamente empíricos:** Thornthwaite, 1948; Blaney-Criddle, 1950; Blaney-Criddle, 1970.
- **Empírico – teóricos:** Makkink, 1957; Jensen-Haise, 1963, 1974; Método de la radiación, 1977; Tanque evaporimétrico, 1977.
- **Teórico – empíricos:** Penman, 1948, 1952.
- **Teóricos:** Técnica del balance de energía – Relación de Bowen; Ecuación de Penman-Monteith; Correlación por turbulencia.

Los dos métodos utilizados en la presente Memoria para estimar la ETc han sido el del tanque evaporimétrico de clase A y el de Penman-Monteith. El primero por las buenas correlaciones encontradas, para la Región de Murcia,

entre la evapotranspiración y la evaporación de estas superficies de agua normalizadas, en períodos superiores a 5 días (Sánchez-Toribio, 1992) y el segundo por ser el método recomendado actualmente por la FAO y la Organización Mundial de Meteorología para la determinación de la  $ET_0$  (Ventura *et al.*, 1999).

Para contemplar las diferencias entre el cultivo de referencia (gramíneas) y el del albaricoquero es necesario multiplicar la  $ET_0$  por un coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) relacionado con la respuesta de la planta (Doorenbos y Pruitt, 1986).

$$ET_c (\text{mm d}^{-1}) = K_c ET_0 (\text{mm d}^{-1}) \quad [1]$$

La información disponible, con relación a las necesidades hídricas del albaricoquero y los coeficientes de cultivo a emplear, es escasa y en ocasiones poco precisa, lo que genera serias dudas respecto a los  $K_c$  informados, como indican Hassan y Seif (1997). En la tabla 2.1 están recogidos los valores de  $K_c$ , proporcionados por distintos autores, para albaricoqueros adultos que satisfacen un porcentaje de suelo sombreado superior al 50 %.

Las predicciones de la  $ET_c$  obtenidas a partir de la expresión [1] se corresponden con las necesidades hídricas máximas de los cultivos bajo riego convencional (Doorenbos y Pruitt, 1986), por lo que no son aplicables directamente a los cultivos bajo riego por goteo, ya que la  $ET$  depende en gran medida de la frecuencia de riego y del patrón de humedecimiento del suelo. Así que es necesario introducir un factor de corrección ( $K_r$ ) para que estas predicciones de  $ET_c$  sean aplicables a los riegos localizados ( $ET_{cg}$ ), según la expresión siguiente.

$$ET_{cg} (\text{mm d}^{-1}) = K_r ET_c (\text{mm d}^{-1})$$

Fereres *et al.* (1982) determinaron experimentalmente la  $ET$  de almendros jóvenes en riego por goteo y la relacionaron con el porcentaje de suelo sombreado por los árboles. La figura 2.1 recoge los resultados y muestra los efectos de microadvección (árboles con un 20 % de cobertura presentan  $ET$  del 50 % de la correspondiente a árboles adultos).

### ***Balance de agua en el suelo.***

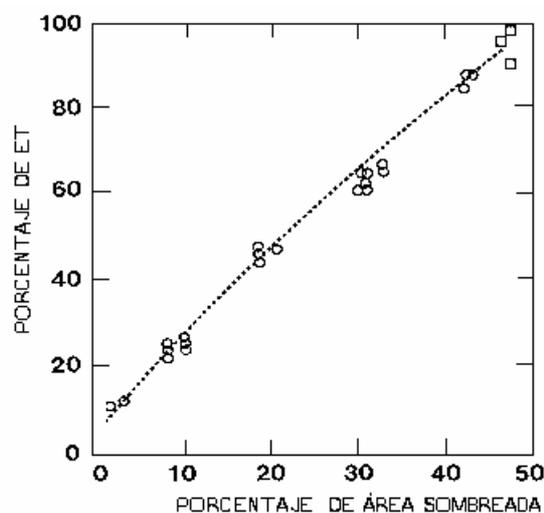
El balance de agua en el suelo ha sido uno de los métodos más utilizados para determinar las necesidades hídricas de los cultivos arbóreos. Se trata de cuantificar las cantidades de agua que entran, salen o permanecen en un volumen de suelo durante un tiempo determinado (Domingo, 1994).

**Tabla 2.1.** Valores de los coeficientes de cultivo (Kc) para albaricoqueros adultos (Belluau, 1989; FAO, Doorenbos y Pruitt, 1986; Fereres y Goldhamer, 1990; Gómez Aparisi, 1990, 1993).

		MESES											
AUTOR	Observaciones	E	F	M	A	My	J	Jl	Ag	S	O	N	D
<b>FAO</b>	Con control de malas hierbas			0.50	0.70	0.85	0.90	0.90	0.90	0.80	0.75	0.65	
<b>GÓMEZ-APARISI</b>	Con control de malas hierbas				0.43	0.53	0.71	0.85	0.83	0.70	0.58		

		PERÍODOS		
		2 semanas antes de la floración-Endurecimiento	Endurecimiento del hueso-Cosecha	Postcosecha
<b>BELLUAU</b>		0.40	0.60	0.40
<b>GÓMEZ-APARISI</b>	En Israel	0.30 - 0.50	0.80	0.50
<b>FERERES Y GOLDHAMER</b>	Con control de malas hierbas		0.90 - 0.95	



**Figura 2.1.** Relación entre el área sombreada y la ET de almendros jóvenes relativa a la de árboles adultos. Los datos se obtuvieron en árboles de 1 a 4 años (círculos) y de 6 años (cuadrados), en riego por goteo, a partir del balance de agua en el suelo (Fereres *et al.*, 1982).

El balance de agua se puede representar mediante la siguiente ecuación:

$$P + R = ETc + D \pm \Delta \theta \pm E$$

Donde P es la lluvia (pluviómetro), R el riego (contador, aforador), ETc la evapotranspiración del cultivo (a despejar),  $\Delta\theta$  la variación de la humedad del suelo en la zona radicular durante el período de medida (sonda de neutrones o TDR), D el drenaje neto (percolación profunda menos el ascenso capilar) y E el aporte o pérdida de agua por escorrentía superficial. Todos estos parámetros se expresan en unidades de altura de agua (mm).

En ausencia de escorrentía superficial (E) y de aportes laterales de humedad, la ETc puede ser calculada como:

$$ETc = P + R - D - \Delta\theta$$

De modo que si:

$$\theta_f > \theta_i \Rightarrow + \Delta\theta$$

$$\theta_f < \theta_i \Rightarrow - \Delta\theta$$

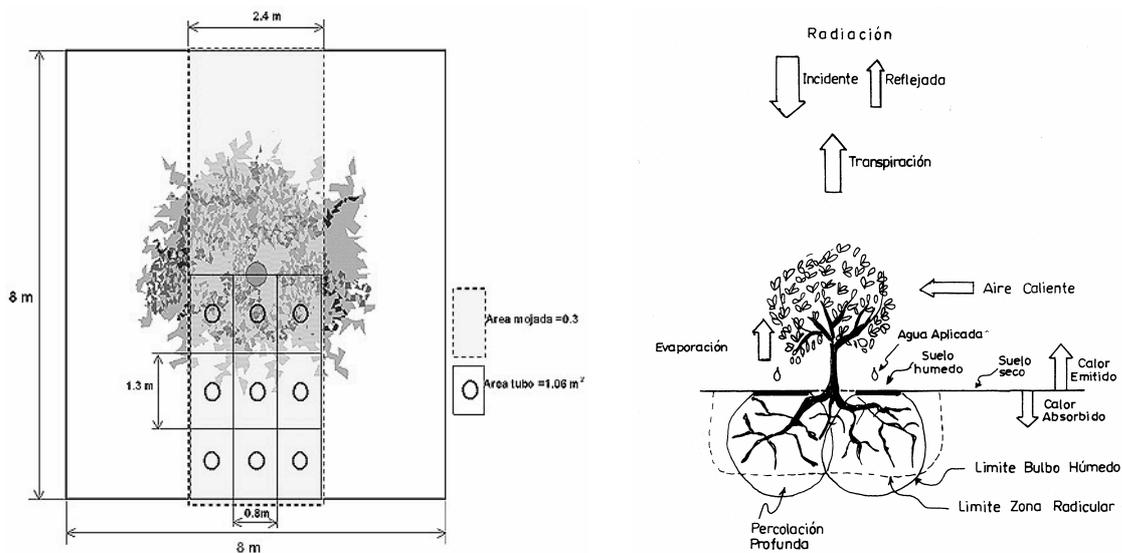
Siendo  $\theta_f$  y  $\theta_i$  los contenidos volumétricos de agua en el suelo al final e inicio del período de medida.

En los períodos sin riego o lluvia la ecuación del balance se simplificaría a:

$$-\Delta\theta = ETc + D$$

A pesar de su sencillez existe dificultad en separar la parte del cambio de humedad atribuible a ETc del debido a D (Castel *et al.*, 1987; Van Bavel *et al.*, 1968a, b). Este problema se puede resolver mediante cálculos del plano de flujo nulo (Daudet y Vachaud, 1977).

Cuando se utilizan sistemas de riego localizado las dificultades aumentan, siendo necesario realizar pruebas para la ponderación de las zonas afectadas y no afectadas por los aportes localizados de agua durante el período de riego (Figura 2.2), así como la realización de un estudio detallado de las características hidrodinámicas del suelo, en especial de la relación entre la conductividad hidráulica y el contenido de humedad del suelo,  $k(\theta)$ . Una vez establecidas las relaciones funcionales entre conductividad hidráulica y contenido de humedad del suelo, definida la ponderación de áreas en función de los aportes de agua, determinada la profundidad del sistema radical y el gradiente hidráulico, las diferencias de contenido volumétrico (obtenidas con sonda de neutrones o por otra metodología) pueden ser utilizadas para calcular el flujo de agua a través del perfil y de este modo cuantificar el drenaje durante el ciclo de cultivo.



**Figura 2.2.** Disposición de tubos de acceso de sonda de neutrones en ensayos de balance hídrico (Domingo *et al.*, 1999) (izquierda) y componentes del balance hídrico y de energía en riego localizado (adaptado de Fereres *et al.*, 1981) (derecha).

### ***Lisimetría de pesada.***

Los lisímetros de pesada constituyen el método más preciso y directo de medida del consumo de agua de las plantas. Éstos permiten determinar la evapotranspiración real del cultivo a intervalos de tiempo cortos, durante períodos diarios, de horas, e incluso inferiores. Además, bajo condiciones no limitativas de suministro hídrico, permiten la determinación de los coeficientes de cultivo, a partir de la relación:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o}$$

Para ello, es fundamental que tanto el árbol cultivado en él como los circundantes sean representativos de la explotación frutal. Éste suele ser el problema principal con el que se encuentran los lisímetros de pesada, pero no el único. Allen y Fisher (1990) indicaban nueve recomendaciones para preservar el buen funcionamiento de este tipo de instalaciones.

Las necesidades hídricas netas (NHn) de una plantación frutal vienen dadas por la diferencia entre la evapotranspiración del cultivo, en nuestro caso bajo condiciones de riego por goteo, y la lluvia efectiva. Sin embargo las necesidades de riego de la plantación deben de incluir la suma de las necesidades hídricas netas, las pérdidas de agua producidas en el sistema de riego, las cuales serán función de la eficiencia del sistema y de las necesidades

de lavado (Figura 2.2). En la tabla 2.2 se recogen las necesidades de riego de plantaciones de albaricoqueros adultos ( $SS > 50\%$ ) en diferentes regiones.

**Tabla 2.2.** Necesidades estacionales de riego (mm) de plantaciones de albaricoquero adulto y control de malas hierbas, en diferentes zonas de cultivo (Caro *et al.*, 1999; Faci y Martínez-Cob, 1993).

Comarca	Jumilla	Cieza	Mula	Zaragoza	Caspe	Lérida
Riego	625	675	725	696	624	616

### 2.1.3. Indicadores para la programación del riego.

#### *Suelo: contenido de humedad y potencial hídrico.*

El contenido de agua en el suelo ha sido frecuentemente determinado a partir del muestreo del suelo (métodos gravimétricos y volumétricos), sonda de neutrones y más recientemente a partir de las técnicas de reflectometría en el dominio del tiempo (TDR) y de capacitancia, que se pueden automatizar para monitorizar un gran número de puntos de muestreo. El potencial matricial del agua en el suelo ( $\Psi_m$ ) se obtiene fácilmente a partir de tensiómetros y bloques de resistencia eléctrica, ambos de fácil adaptación para la automatización del riego (electrotensiómetros y sensor de resistencia tipo WATERMARK).

La disponibilidad del agua para los cultivos depende más de su potencial que de su contenido, por lo que, ‘*a priori*’, debe de ser mejor indicador del estado del agua del suelo con relación al desarrollo de las plantas (Hillel, 1973). Sin embargo, hay que tener en cuenta que el estado hídrico de la planta está controlado por diferentes procesos físicos y biológicos y por lo tanto  $\Psi_m$  sólo podrá reflejarlo parcialmente, al verse afectado, también, por las condiciones atmosféricas y de planta (Jones, 1990).

El rango de funcionamiento de los tensiómetros de vacío es limitado ( $\Psi_m$  de 0 a -80 kPa) frente a los -200 kPa del sensor de resistencia tipo WATERMARK, valores que no suponen limitación alguna de cara a la programación de los riegos localizados. Los valores de  $\Psi_m$  obtenidos con tensiómetros han sido ampliamente utilizados y siguen siéndolo. Kaufmann y Elfving (1972) encontraron una buena correlación entre las lecturas de los tensiómetros y el potencial hídrico foliar antes del alba ( $\Psi_a$ ).

### **Medidas directas en planta.**

La planta integra en su estado las condiciones externas de su entorno, clima y suelo y lo hace de forma simultánea por lo que parece lógico utilizar medidas directas en planta como indicadores de la programación del riego a seguir.

#### **a) Potencial hídrico foliar.**

El potencial hídrico foliar ( $\Psi$ ) es, quizás, el parámetro más utilizado para definir el estado hídrico de las plantas (Goode y Higgs, 1973; Klepper, 1968) y determinar el momento de riego (Peretz *et al.*, 1984). Es comúnmente utilizado como indicador del estado hídrico de los frutales y resulta afectado por otros factores, tanto de origen ambiental como de carácter endógeno (Jones, 1990), lo que provoca variaciones en sus niveles en base al momento del día (Elfving *et al.*, 1972) y a lo largo de la estación de crecimiento (Winkel y Rambal, 1993), de la edad de la hoja (Knipling, 1967) y de la orientación y posición que ocupan en el árbol (Sánchez-Blanco, 1983). Esta situación puede restringir su uso para indicar sólo la dirección del flujo del agua en el árbol, habiendo sido cuestionado su valor como indicador del estado hídrico en melocotonero (Garnier y Berger, 1985). No obstante, la medida de  $\Psi$  es universalmente admitida, como la forma más rápida, fiable y económica de evaluar el estado hídrico de las plantas (Ruiz-Sánchez y Girona, 1995).

La medida del potencial hídrico foliar antes del alba ( $\Psi_a$ ), proporciona información indirecta del nivel energético del agua en el suelo, así como del grado de estrés con el que la planta comienza el día (Aussenac y Valette, 1982; Ritchie y Hinckley, 1975). Esto se debe a que la transpiración es mínima durante la noche, por lo que la planta alcanzará, teóricamente, el equilibrio con el suelo en ese momento (Slatyer, 1967).

El instrumento utilizado para la medida de  $\Psi$  en campo es la cámara de presión (Scholander *et al.*, 1965). Según Hsiao (1990) la designación del  $\Psi$  medido con la cámara de presión como  $\Psi$  del xilema es erróneo, excepto en aquellos casos donde el equilibrio hídrico existía antes de la escisión; en este caso el  $\Psi$  de la hoja es igual al  $\Psi$  del xilema y la presión medida en la cámara (P) representa la tensión a la que se encontraba la savia en el xilema antes del corte. Como el potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la savia es muy pequeño generalmente se desprecia con lo que:

$$- P = \Psi_{\text{xilema}} = \Psi_{\text{hoja}} \text{ (sin transpiración)}$$

Fundamentalmente se han utilizado como indicadores del estado hídrico de la planta el potencial hídrico foliar al mediodía ( $\Psi_{md}$ ), y el potencial

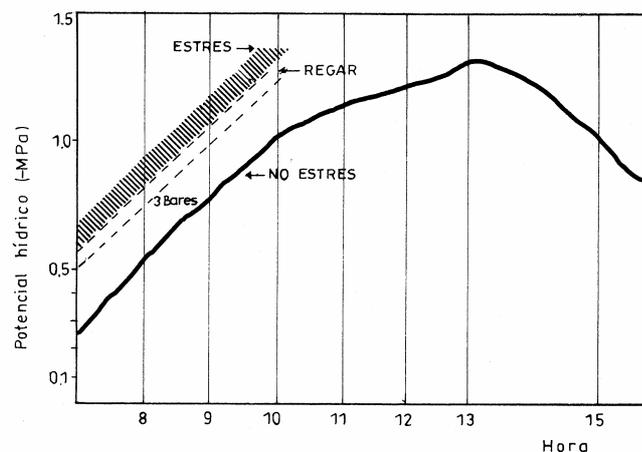
hídrico foliar antes del alba ( $\Psi_a$ ). Los valores de  $\Psi_{md}$  son muy variables ya que dependen de las condiciones climáticas reinantes, mientras que  $\Psi_a$  es más estable, pero con la limitación de que no es indicativo del estado al que llega la planta en el momento de máxima demanda.

Más recientemente, Shackel *et al.* (1997) proponen la utilización del potencial de xilema del tallo,  $\Psi_x$  (hojas embolsadas durante al menos 2 horas, sin transpiración). Entre sus ventajas destacan su menor variabilidad, mejor correlación con el déficit de presión de vapor (DPV) y que refleja mejor la falta de agua en el suelo que el potencial hídrico foliar ( $\Psi$ ).

Marsal y Girona (1997) señalan que en melocotonero las medidas de potencial hídrico a mediodía ( $\Psi_{md}$ ), junto con las de potencial osmótico parecen ser más útiles que las de  $\Psi_a$  para caracterizar el estado hídrico del árbol bajo condiciones de déficit hídrico, ya que  $\Psi_{md}$  muestra una mejor correlación con el cierre estomático a mediodía.

Diversos autores han sugerido valores umbrales de  $\Psi$  para iniciar el riego en diferentes cultivos. Post y Sakovich (1986) a partir de la figura 2.3, correspondiente a la evolución de  $\Psi$  en cítricos después de un riego y para el tramo recto de la curva desde las 7 a las 9 h, fijan el momento de riego cuando  $\Psi$  disminuye 2-3 bares respecto al de los árboles bajo condiciones de capacidad de campo.

El gran inconveniente que presentan las medidas de  $\Psi$  para su uso como indicador de riego es la dificultad de su automatización en campo, como demuestra la inexistencia de instrumentos con este fin.



**Figura 2.3.** Evolución del potencial hídrico foliar en cítricos después de un riego (Post y Sakovich, 1986).

### **b) Conductancia foliar.**

La conductancia foliar ( $g_f$ ) mide el grado de apertura de los estomas, estructuras foliares que juegan un papel esencial en la fisiología de la planta ya que regulan el intercambio gaseoso. Al igual que el potencial hídrico,  $g_f$  sigue un ritmo circadiano y está influenciada por la intensidad luminosa, la temperatura, el incremento de humedad absoluta entre la hoja y el aire, la edad de la hoja, la concentración de  $CO_2$  y el propio potencial hídrico (Jones, 1983).

El estrés hídrico afecta a la conducta del estoma, de modo que el grado de apertura estomática puede ser un índice del estado hídrico de la planta. Además, la conductancia estomática ( $g_s$ ) está bien correlacionada con la tasa de fotosíntesis (Farquhar y Sharkey, 1982; Torrecillas *et al.*, 1999; Wong *et al.*, 1979), la cual depende también del estado hídrico. Como el estoma responde también a otros factores ambientales y fisiológicos (Hsiao, 1975) es necesario realizar muestreos continuos de  $g_s$  para poder separar el efecto del estrés hídrico de los debidos a otras variables. Las medidas de  $g_s$  son muy útiles para evaluar la recuperación de las plantas después de un estrés hídrico (Gebre y Kuhns, 1992; Ruiz-Sánchez *et al.*, 1997, 1999) y también para detectar condiciones de inundación (Ruiz-Sánchez *et al.*, 1996; Savé y Serrano, 1986).

Por otro lado, la gran variabilidad entre las hojas del mismo árbol (Leverenz *et al.*, 1982), las diferencias de apertura estomática entre ciertas áreas de la hoja (Pospisilová y Santrucek, 1994), la necesidad de hacer un escalonamiento de toda la canopia dificulta la posibilidad de determinar la transpiración del árbol en función de las medidas de  $g_s$ , sin embargo, se han desarrollado modelos más o menos complejos de estimación de la transpiración en base a las medidas de unas pocas hojas (Williams *et al.*, 1996).

La conductancia foliar se mide con porómetros de difusión, que incluyen los métodos de estado dinámico y estado estacionario. Actualmente se intenta reducir al mínimo el tiempo de medida, de modo que las condiciones microclimáticas de la hoja se vean poco afectadas por la cámara del porómetro (Duglas *et al.*, 1993). Actualmente no existen instrumentos para la medida automatizada de  $g_s$ .

### **c) Otros indicadores.**

***La temperatura del dosel vegetal*** puede ser usada también para caracterizar indirectamente el estado hídrico de una planta (Jackson, 1982; Jackson *et al.*, 1979; Turner, 1990), basándose en el hecho de que mediante el proceso de transpiración se produce un enfriamiento de la hoja, un descenso de la temperatura foliar con respecto a la del aire. En condiciones de

suministro hídrico limitado los estomas se cierran y el balance de energía de la cubierta vegetal se ve alterado, produciéndose un aumento de la temperatura foliar (Gates, 1968) que puede ser detectado con termómetro de infrarrojos. Ehrler *et al.* (1978) demostraron que las diferencias de temperatura entre el aire y la hoja están relacionadas con el potencial hídrico de la hoja.

**La cavitación** se puede definir como una interrupción del paso de agua por los vasos conductores del xilema funcional a consecuencia de la entrada de aire. En plantas estresadas la tensión del agua en el xilema es muy alta, lo que provoca discontinuidades en las columnas de agua de forma repentina, impidiendo el flujo de savia en los vasos afectados. Cuanto mayor es el déficit hídrico mayor es el número de vasos cavitados (Tyree y Sperry, 1989). Inicialmente, para la detección de los suaves sonidos, a modo de explosión, ocasionados por la cavitación se recurrió a su amplificación (Milburn y Johnson, 1966). Sin embargo, los ruidos ambientales interferían seriamente con su detección dentro del rango audible. Este problema de interferencias fue minimizado con el uso de detectores de cavitación ultrasónicos (Tyree y Dixon, 1983). La frecuencia de estas pequeñas explosiones, para una especie concreta, puede ser un índice de su estado hídrico (Jones, 1989)

El **crecimiento de las hojas y ramos** es sin duda el proceso más sensible al estrés hídrico (Hsiao y Bradford, 1983). Varios estudios han demostrado cómo la disminución del potencial hídrico foliar por debajo de un valor umbral (obtenido con plantas no estresadas) disminuye el crecimiento de los órganos (Boyer, 1968; Jordan, 1970). Esto sugiere que el estado hídrico de las plantas puede inferirse a partir de medidas de crecimiento en hojas y ramos.

Las medidas de las **microvariaciones de tronco y ramas** proporcionan una valiosa información a cerca del crecimiento y estado hídrico de la planta, a la vez que abren expectativas esperanzadoras con relación al manejo del riego (Huguet, 1985). Son varios los trabajos que demuestran que las variaciones del diámetro de troncos y ramas pueden relacionarse con el estado hídrico de la planta (Baille *et al.*, 1992; Klepper *et al.*, 1971), bien a partir de la evolución en el tiempo del diámetro máximo diario o a partir de la amplitud de la contracción diaria del tronco. Estas medidas, usando transductores de tipo LVDT (linear variable displacement transducers), pueden ser fácilmente automatizadas y utilizadas para la programación del riego (González-Altozano, 1998; Simonneau *et al.*, 1993).

Furr (1955) y Oppenheimer y Elze (1941) propusieron la evolución del **crecimiento del fruto** como un índice para la programación del riego en cítricos. Ebel *et al.* (1995) utilizan la evolución del crecimiento del fruto como

indicador para el cambio de riego, una vez alcanzado un valor umbral, en estrategias de riego deficitario controlado en manzana.

Otro indicador al que se le está dedicando especial atención en estos últimos años y que está asociado a la absorción de agua por la planta es la medida del **flujo de savia**. Gran número de ensayos han demostrado la utilidad de este parámetro como indicador del estrés hídrico y su gran sensibilidad a los factores climáticos reinantes (Alarcón *et al.*, 2000; Ameglio *et al.*, 1992; Cohen, 1991; Moreno *et al.*, 1996). Huber y Schmidt (1937) fueron los primeros en proponer el uso del pulso de calor como indicador del movimiento de la savia en el xilema. Los métodos actualmente disponibles están clasificados en tres grupos: método radial de calor constante (Granier, 1985), balance de calor (Valancogne y Nasr, 1989) y método de pulso de calor (Marshall, 1958). La facilidad de registrar en campo los valores de flujo en tiempo real le confiere importantes ventajas frente a otros métodos de cara a la programación automática del riego.

## **2.2. Efectos de las condiciones hídricas adversas en la fisiología de los frutales.**

### **2.2.1. Inundación.**

En suelos inundados, el volumen ocupado por el aire es menor del 10 % del volumen total del suelo ya que es desplazado por el agua; en esta situación la renovación de O<sub>2</sub> se detiene al suprimirse la fuente exterior de suministro y el O<sub>2</sub> que queda en el suelo, disuelto en agua o atrapado en cavidades de aire, es consumido, bien por la respiración de las raíces, el metabolismo de los microorganismos aeróbicos o los procesos químicos de oxidación (Kawase, 1981). Hay que tener en cuenta, que una baja disponibilidad de oxígeno en la zona radical puede ser provocada no sólo por encharcamiento, sino también por elevadas temperaturas, incorporación de materia orgánica o por combinación de estos factores (Bryce *et al.*, 1982).

Ante esta situación la absorción de agua por las raíces es limitada, produciéndose síntomas de estrés, similares a los producidos por la sequía, aunque por distintas causas y mecanismos (Wample y Thorton, 1984).

La deficiencia de oxígeno producida por la inundación del sistema radical provoca muchos cambios morfológicos y fisiológicos en las plantas, entre los morfológicos destacan la marchitez (Fitter y Hay, 1987; Kawase, 1981; Kramer, 1983; Sánchez-Blanco *et al.*, 1994), disminución del rendimiento (Carter *et al.*, 1990; Mukhtar *et al.*, 1990), senescencia prematura

de las hojas, deformaciones en el tallo y disminución del crecimiento de hojas y brotes (Aloni y Rosenshtein, 1982; Bradford y Hsiao, 1982b; Fitter y Hay, 1987; Jackson, 1956; Kramer, 1983), cambios en el ángulo de inserción del peciolo (Sánchez-Blanco *et al.*, 1994), formación de raíces adventicias y de tejido parenquimático de tipo aerífico (Aloni y Rosenshtein, 1982; Bradford y Yang, 1981; John, 1977; McNamara y Mitchell, 1990; Smith *et al.*, 1990; Tsukahara y Kozlowski, 1985), lenticelas hipertróficas (Jones y Sharitz, 1990).

Sena-Gómez y Kozlowski (1986) encontraron que la reducción del crecimiento vegetativo no fue igual para los diferentes órganos de la planta y dependió, además, de la duración del tratamiento de inundación. De esta forma observaron una reducción de la masa seca de hojas, tallos y raíces de plantas de *Faxinus pensilvanica* a las 8 semanas de la inundación; sin embargo, a las 10 semanas hubo una recuperación en todos los indicadores del crecimiento, lo que indicó que las plantas tienen habilidad de adaptarse a este tipo de estrés, especialmente por la emisión de raíces adventicias.

Los efectos de la inundación del suelo en la fisiología de las plantas son muy diversos y dependen de la especie y del estado de desarrollo (Sena-Gomes y Kozlowski, 1980), estos incluyen cambios en el estado hídrico (Sánchez-Blanco *et al.*, 1994; Savé y Serrano, 1986), cierre estomático (Bradford y Yang, 1981; Crawford, 1982; Farquhar y Sharkey, 1982; Ruiz-Sánchez *et al.*, 1996), reducción de la transpiración y de la tasa de fotosíntesis (Phung y Knippling, 1976; Serrano *et al.*, 1988; Smith y Ager, 1988; Vu y Yelenosky, 1991). La ocurrencia de estos efectos se explica a partir de la siguiente secuencia: en anaerobiosis la permeabilidad radical al agua disminuye, con lo que aumenta la resistencia a la absorción, en estas condiciones las pérdidas de agua por transpiración exceden al agua absorbida por las raíces, evidenciándose síntomas de marchitez y caída del potencial hídrico foliar, a lo que responde el estoma con su cierre, restringiendo la transpiración (Hiron y Wright, 1973; Kramer, 1969; Sánchez-Blanco *et al.*, 1994). Sin embargo, en numerosos estudios se describe el hecho de que la inundación provoca un rápido cierre estomático, el cual va acompañado, en las primeras fases de la inundación, de un mantenimiento del potencial hídrico foliar, de forma que en plantas inundadas  $\Psi$  puede ser igual o mayor que el de las plantas control (Bradford, 1983; Jackson *et al.*, 1978; Kozlowski y Pallardy, 1979; Ruiz-Sánchez *et al.*, 1996; Savé y Serrano, 1986; Sojka y Stolzy, 1980).

Otros efectos citados en diversas especies vegetales son: clorosis y menor actividad enzimática (carboxilasa) (Vu y Yelenosky, 1991), acumulación en la parte aérea de sustancias reguladoras del crecimiento, como etileno que producido por las raíces aumenta en la parte aérea (Jackson *et al.*, 1978), así como de ácido abscísico y ácido indolacético (Hiron y Wright,

1973; Radin y Ackerson, 1981; Reid y Bradford, 1984; Zhang y Davies, 1989, 1990), mientras que disminuye el de giberelinas y citoquininas en los ápices radicales (Jackson *et al.*, 1978; Reid y Bradford, 1984; Zhan y Davies, 1989, 1990).

Se han observado también aumentos en el contenido de prolina en hoja y reducciones en la actividad del enzima nitrato reductasa (Drew y Siswora, 1979).

De forma general, estos efectos son producidos, en su mayoría, indirectamente por la presencia de sustancias tóxicas y alteraciones en las membranas y se desarrollan o manifiestan de manera relativamente lenta, en dependencia también de las condiciones ambientales, de forma que si concurren con condiciones de radiación intensa, altas temperaturas, etc. que favorezcan la transpiración, los efectos negativos de la inundación son más severos (Kramer, 1983).

La capacidad de los frutales para tolerar condiciones de exceso de agua en el suelo depende en gran medida del portainjerto empleado. En el caso de los cítricos, el limón rugoso, capaz de desarrollar raíces adventicias en suelos encharcados, se considera mejor portainjerto que el naranjo amargo en estas condiciones (Syvertsen *et al.*, 1983). Según Ortiz y García-Lidón (1982) y Ruiz-Sánchez *et al.* (1996) el naranjo amargo tiene una mejor tolerancia al encharcamiento que el *Citrus macrophylla*. Sin embargo, esta tolerancia es función también de la especie o variedad injertada (Forner *et al.*, 1983; Newcomb, 1977)

La resistencia a la deficiencia de oxígeno puede lograrse en primer lugar desarrollando vías para vencer el estrés, en este sentido Levitt (1980) se refiere a plantas que responden ante situaciones de inundación transportando el oxígeno desde sus partes aéreas hacia las raíces, mediante el desarrollo de tejido parenquimático de tipo aerífico, lo cual constituye una vía fundamental de adaptación desde el punto de vista anatómico (Armstrong y Webb, 1985; John, 1977).

En segundo lugar, la tolerancia propiamente dicha a la deficiencia de oxígeno, se alcanza venciendo la tensión producida por el estrés, mediante una serie de adaptaciones bioquímicas que les permiten anular los efectos adversos de la acumulación de toxinas. Éstas incluyen una reducción general de la velocidad del metabolismo (Crawford, 1982) o la producción de vías para eliminar las toxinas, lo que pueden llevar a cabo eliminando las enzimas que las producen, produciendo enzimas que las destruya o eliminando la síntesis de sus precursores. Es importante destacar que las adaptaciones

bioquímicas juegan el papel más importante en la adaptación de las plantas a la inundación.

A pesar de todo, los suelos pantanosos o inundados están incluidos entre los ecosistemas más productivos, y no podemos olvidar que el arroz se cultiva fundamentalmente en estas condiciones y el mismo está considerado como el segundo cultivo a nivel mundial. Este aspecto positivo de los suelos pantanosos o inundados puede ser atribuido a que en los mismos no se presentan limitaciones hídricas y además existe una alta disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, las plantas que pueden vivir adecuadamente y producir en estas condiciones, no podrían hacerlo sin el desarrollo de adaptaciones específicas que les permitan vencer las adversidades físicas y químicas de los suelos anaeróbicos.

### **2.2.2. Déficit hídrico.**

El efecto más inmediato del estrés hídrico es la reducción del crecimiento, siendo los procesos de expansión y división celular especialmente sensibles a los déficits hídricos (Hsiao, 1973). Además, modifican el desarrollo y la morfología vegetal. Así, por ejemplo, la diferente sensibilidad a la sequía de las raíces y partes aéreas, conduce a grandes aumentos en la relación raíz/parte aérea (Bradford y Hsiao, 1982a), aumentando también, la abscisión de hojas y frutos. Algunas especies necesitan un período de sequía para estimular la iniciación floral o provocar la emergencia de yemas florales ya diferenciadas, mientras que en otras la presencia de déficits hídricos durante la fase de postrecolección se traduce en una deficiente inducción floral que perjudica la producción del año siguiente (Egea, 1995; Torrecillas *et al.*, 2000).

La escasez del agua útil en el suelo se traduce en la disminución del potencial hídrico foliar y de la conductancia estomática (Castel y Fereres, 1982; Domingo, 1994; Girona, 1994; Sánchez-Blanco *et al.*, 1990). Los estomas tienden a cerrarse con la disminución del potencial hídrico foliar, la incidencia de diversos factores (contenido hídrico del suelo, humedad relativa del aire, intensidad luminosa, etc.) incrementada por el efecto del déficit hídrico, es la responsable de esta respuesta fisiológica, entre cuyas consecuencias encontramos la disminución de la tasa transpiratoria, que se acompaña siempre de una disminución en la absorción de CO<sub>2</sub> y, por tanto, de la fotosíntesis. Los déficits hídricos también limitan la fotosíntesis, a través de sus efectos sobre los procesos enzimáticos, transporte electrónico y contenido de clorofila (Farquhar y Sharkey, 1982).

Prácticamente, cada aspecto del metabolismo y estructura celular se ve afectado por los déficits hídricos (Hsiao, 1973). Entre los cambios más

característicos cabe mencionar el incremento de las reacciones degradativas en relación con las sintéticas, disminución de la síntesis de proteínas, aumento de la concentración de aminoácidos libres, especialmente prolina (que puede llegar a un 1 % de la materia seca foliar en algunas especies), glicina, betaína, di y poli-aminas y azúcares, todo lo cual comporta cambios importantes en las correspondientes actividades enzimáticas (Hanson y Hitz, 1982).

Cuando las condiciones de humedad en el suelo son óptimas los árboles suelen comenzar el día con un  $\Psi$  elevado (generalmente alrededor de los -0.5 MPa), después a medida que la demanda evaporativa del ambiente aumenta,  $\Psi$  disminuye en cierta proporción, donde pueden haber diferencias acusadas entre los momentos de máxima y mínima demanda evaporativa (mediodía y alba), posteriormente con la disminución de la demanda evaporativa en las cercanías del anochecer,  $\Psi$  comienza a recuperarse rápidamente, pudiendo inclusive en las primeras horas de la noche alcanzar valores próximos al potencial hídrico foliar al alba con el que se comienza el día. En condiciones de déficit hídrico, dependiendo de la magnitud de éste, el momento fenológico y la especie, el potencial hídrico foliar antes del alba ( $\Psi_a$ ) puede estar más o menos disminuido, en esta situación, la tendencia en momentos de máxima demanda evaporativa del ambiente, es tratar de conservar o mantener estables los niveles de  $\Psi$ . Por eso, cuando el déficit hídrico es severo y prolongado, las diferencias entre los valores de  $\Psi$  al alba y al mediodía no son muy relevantes. No obstante, entre ambos potenciales casi siempre se reportan apreciables diferencias en favor de mayores niveles de  $\Psi_a$ , lo que indica claramente que a pesar del estrés alcanzado, las plantas cuentan con un eficiente sistema de transporte de agua hacia las hojas, que les permite realizar una parcial recuperación del potencial hídrico durante la noche (Camacho-B *et al.*, 1974; Sánchez-Díaz y Aguirreolea, 1993).

La relación sistemática entre los valores del potencial hídrico foliar y la conductancia foliar ha sido ampliamente demostrada. Los valores de  $\Psi$  con los cuales los estomas comienzan a cerrarse dependen de la especie y del precondicionamiento al estrés, cubriendo un amplio rango en los frutales (Kaufman y Levy, 1976; Lakso, 1979; Tan y Buttery, 1982; Warrit *et al.*, 1980; Yoon y Richter, 1990).

La apertura de los estomas sigue un ritmo circadiano sensible al estado del agua en la planta, pero también muy sensible a la intensidad luminosa. Es posible encontrar, aún en condiciones controladas, oscilaciones destacadas de la conductancia estomática dependientes de la nubosidad del día, que son más acentuadas en los árboles bajo déficit hídrico y que hacen difícil el uso de este parámetro en los días particularmente nublados de muchos ambientes tropicales y subtropicales (Castel, 1986; Kerr *et al.*, 1985; Sánchez-Blanco *et al.*, 1990; Schulze y Hall, 1982; Turner *et al.*, 1984).

La disminución de la conductancia foliar suele ser también un indicador muy importante de las condiciones de déficit hídrico, por sus efectos sobre el intercambio gaseoso. La tasa de CO<sub>2</sub> normalmente decrece con el cierre estomático, lo cual debe afectar el proceso fotosintético. Sin embargo todavía no está muy claro si la respuesta de la fotosíntesis al déficit hídrico, es una consecuencia directa del control estomático o de otros muchos factores involucrados en el proceso fotosintético. Sobre este particular, en los últimos años se ha impuesto la idea de que la causa principal de la reducción de la capacidad fotosintética durante el estrés hídrico no está relacionada con el cierre de estomas que tiene lugar en estas condiciones, sino que se debe a una reducción de la capacidad intrínseca de la fotosíntesis (Azcón-Bieto, 1987; Farquhar y Sharkey, 1982; Osmond, 1980; Salisbury y Ross, 1991; Schulze, 1986).

La recuperación del potencial hídrico foliar, tras un período de déficit hídrico, ocurre rápidamente, dependiendo de la frecuencia y magnitud del déficit alcanzado. No ocurre así con la conductancia foliar, cuya recuperación sucede más lentamente (Gebre y Kuhns, 1992; Torrecillas *et al.*, 1995, 1999).

El incremento de las concentraciones de ácido abscísico (ABA) en los órganos de plantas sometidas a estrés hídrico se acepta generalmente como el mecanismo desencadenante del cierre estomático y del aumento de la sensibilidad de los estomas al CO<sub>2</sub> (Cornish y Zeeva, 1985; Dubbe *et al.*, 1978; Farquhar y Sharkey, 1982), mientras que el aumento de las concentraciones de citoquininas (CK), que promueven la apertura estomática, disminuyen su nivel en los tejidos bajo déficit hídrico. También hay evidencias de que el estrés hídrico causa una moderada reducción del ácido indolacético (Dasbyshire, 1971).

Cuando las condiciones de suministro hídrico son limitadas, el cierre de los estomas altera el balance de energía, produciendo un aumento de la temperatura foliar (Gates, 1968; Jackson, 1982; Turner, 1990).

### ***Mecanismos de resistencia al déficit hídrico.***

La falta de agua es el principal factor limitante de la productividad vegetal (Turner y Kramer, 1980). Las pérdidas que ocasionan los déficits hídricos en la agricultura superan las pérdidas debidas a todos los demás problemas combinados (Kramer, 1980). En comunidades naturales, la escasez de agua juega un importante papel al determinar la distribución y abundancia de muchas especies vegetales (Lange *et al.*, 1971), de ahí que el conocimiento de los mecanismos de resistencia a la sequía tenga una gran importancia tanto desde un punto de vista ecológico como agrícola.

Kramer (1980) apuntó que no hay consenso para clasificar los mecanismos de resistencia a la sequía, de modo que dicha clasificación se puede realizar en base a diferentes criterios. Begg y Turner (1976) dividieron los mecanismos de resistencia al déficit hídrico en adaptaciones morfológicas y fisiológicas, pero esta clasificación no parece clara en la medida que no resulta sencillo separar los cambios morfológicos de sus implicaciones fisiológicas y viceversa.

Turner (1979) consideró los mecanismos adaptativos en relación a su capacidad de mejorar la resistencia a la sequía de los cultivos. Esta clasificación carece de sentido generalista ya que, en función de la especie estudiada, un determinado comportamiento puede tener una mayor o menor influencia sobre la mejora de su resistencia.

Levitt (1972) propuso los términos evasión, evitación y tolerancia a la sequía. De un modo análogo, Jones *et al.* (1981), identificaron tres tipos de resistencia a la sequía, manteniendo el término de evasión, pero suprimiendo el de evitación y diferenciando entre tolerancia a la sequía a altos potenciales hídricos y tolerancia a la sequía a bajos potenciales hídricos. Esta última clasificación parece más objetiva que la propuesta por Levitt (1972), en el sentido que determinados mecanismos de evitación clásicos, como el control de las pérdidas de agua, no evitan el estrés hídrico ya que tienen sus consecuencias sobre los niveles de intercambio gaseoso, lo que si que permiten es tolerarlo manteniendo los valores de potencial hídrico foliar.

Finalmente Turner (1986), divide las respuestas de las plantas al estrés hídrico en función de que supongan una evasión de la sequía, un retraso del proceso de deshidratación o una tolerancia a dicho proceso.

#### **a) Evasión de la sequía.**

Las fuertes lluvias en zonas áridas permiten la germinación y crecimiento de una serie de plantas que se desarrollan rápidamente, antes de que se agote el aporte de agua del suelo (Hall, 1981). Son conocidas como plantas efímeras. Este tipo de comportamiento supone un máximo crecimiento con un aporte hídrico limitado, y una máxima eficiencia en el uso del agua, pero no se trata de un mecanismo de resistencia a la sequía *per se* (Jones *et al.*, 1981).

En regiones con sequías frecuentes, la producción agrícola viene acompañada por el desarrollo de variedades tempranas o estacionales, que permitan al cultivo escapar al déficit hídrico del suelo y rendir una cosecha satisfactoria (Fischer y Turner, 1978). El desarrollo de variedades de temporada resulta beneficioso cuando se pueden predecir las lluvias

razonablemente. En condiciones imprevisibles de humedad, la plasticidad fenológica puede ser más adecuada que un crecimiento rápido. En este sentido, un período extenso de floración y desarrollo reproductivo parecen ser adecuados en áreas en donde la humedad estacional es indefinida (Turner, 1986).

#### **b) Retraso de la deshidratación.**

El retraso del proceso de deshidratación es el objetivo fundamental de la mayor parte de los mecanismos de adaptación a la sequía descritos hasta el momento. Éste puede alcanzarse manteniendo el nivel de turgencia y/o el volumen celular. Dentro de este tipo de mecanismos de adaptación se pueden distinguir:

1. *Mantenimiento de la absorción de agua.* El mantenimiento de la absorción de agua requiere el desarrollo de raíces en el suelo que sigan extrayendo agua aun cuando ésta sea escasa. Este fenómeno explicaría que el déficit hídrico normalmente aumenta la relación raíz/tallo de la planta (Begg y Turner, 1976). Pero en el proceso de absorción de agua por las raíces no solamente influye la superficie total radical, sino también la resistencia hidráulica de la misma, de forma que cuando las raíces se desarrollan lo bastante como para absorber agua de un suelo depauperado, resulta beneficioso que se reduzcan las resistencias hidráulicas (Jones *et al.*, 1981). El intento de mantener los niveles de absorción de agua a nivel radical tiene como objetivo fundamental mantener la turgencia. Según Levitt (1972) debería ser considerado un mecanismo de evitación del estrés hídrico y según Jones *et al.* (1981) un mecanismo de tolerancia al estrés, que intenta mantener el contenido hídrico de la planta.

2. *Reducción de las pérdidas de agua.* Uno de los mecanismos más generales para evitar la pérdida de agua es la reducción del área foliar (Fererres, 1984). Esta reducción se puede realizar a partir de procesos de defoliación y/o mediante la producción de hojas nuevas y más pequeñas. El resultado final es una menor superficie evaporativa, contribuyendo a la economía del agua (Wilson *et al.*, 1980). El cierre estomático es otro mecanismo importante para reducir las pérdidas de agua. Sin embargo, puesto que los estomas son los encargados de fijar el CO<sub>2</sub>, esta respuesta lleva consigo la reducción de la productividad (Turner, 1979). Los estomas se afectan directamente por el potencial hídrico y la turgencia foliar (Turner, 1974), pero se ha sugerido que el estado hídrico de la raíz o del suelo puede influir más en el grado de apertura estomática (Turner *et al.*, 1985).

Otro mecanismo para reducir la pérdida de agua consiste en la intercepción de menos radiación por enrollamiento, movimientos de las hojas

y aumento de la reflectancia de la superficie foliar. La producción de pelos foliares, ceras o depósitos salinos representan modificaciones anatómicas para reducir la intercepción de radiación por la cubierta vegetal (Ehleringer y Mooney, 1978).

3. *Ajuste osmótico.* Según la terminología de Levitt (1980), el ajuste osmótico, o acumulación activa de solutos a nivel celular, es un mecanismo de tolerancia a la sequía que minimiza sus efectos mediante el mantenimiento de la turgencia foliar (Johnson *et al.*, 1984). La concentración pasiva de solutos como consecuencia de una deshidratación disminuirá el valor de  $\Psi_o$ , pero no se considera ajuste osmótico, pudiendo ser explicada por hechos como un descenso en el contenido hídrico por unidad de peso seco, cambios en la elasticidad del tejido, un descenso en la relación peso saturado/peso seco y/o un aumento en el porcentaje de agua apoplástica (Girma y Krieg, 1992a; Johnson *et al.*, 1984). A pesar de su importancia, las propias características del ajuste osmótico presentan algunas limitaciones para su grado, persistencia y utilidad, ya que el ajuste osmótico es transitorio, finito y no mantiene plenamente los procesos fisiológicos y morfológicos (Davies y Lakso, 1978; Girma y Krieg, 1992b; Meyer y Boyer, 1981; Morgan, 1984; Wilson y Ludlow, 1983). Además, es un mecanismo sobre el que influyen varios factores: velocidad de desarrollo e intensidad del estrés, condiciones ambientales, diferencias varietales, tipo de tejido estudiado y edad de la planta (Cutler *et al.*, 1980; Hale y Orcutt, 1987; Rieger y Daniell, 1988).

4. *Ajuste elástico.* El término ajuste elástico hace referencia a variaciones en la elasticidad de las paredes celulares tendentes a mantener la turgencia o el volumen celular ante situaciones de sequía. Las diferencias en elasticidad entre especies implican unos cambios definidos del potencial hídrico o de turgencia con los cambios de volumen del simplasto y viceversa. Se ha postulado que los cambios en volumen celular, en lugar de los de potencial hídrico o de turgencia, son los verdaderos transductores del déficit hídrico (Boyer, 1988; Sinclair y Ludlow, 1985). Dependiendo de la importancia relativa que sobre el crecimiento tenga el volumen o la turgencia celular, el incremento de la elasticidad de las paredes celulares puede resultar una respuesta perjudicial o adaptativa ante una situación de estrés hídrico, respectivamente. Para mantener el volumen celular ante un déficit hídrico creciente, la elasticidad debe disminuir, sin embargo para mantener la turgencia bajo esas mismas condiciones de estrés, la elasticidad debe aumentar.

### c) Tolerancia a la deshidratación.

Las plantas que presentan este tipo de tolerancia son capaces de alcanzar valores de potencial hídrico entre -100 y -200 MPa (Jones *et al.*, 1981). Los mecanismos que colaboran a este tipo de tolerancia son

prácticamente desconocidos y se sitúan fundamentalmente a nivel molecular, con el desarrollo de toda una serie de estructuras celulares y actividades enzimáticas muy especializadas. Se ha sugerido la influencia de los reguladores de crecimiento (Levitt, 1980), del ajuste osmótico (Flower y Ludlow, 1986; Hsiao *et al.*, 1984), y de una alta elasticidad celular (Kim y Lee-Stadelmann, 1984).

## **2.3. Riego deficitario controlado (RDC).**

### **2.3.1. Fundamentos.**

El agua es un recurso limitado, escaso y cada vez más solicitado (Girona, 1995). Los desequilibrios del clima actual están trayendo como consecuencia una distribución de las precipitaciones aún menos uniforme si cabe, de la que ya padecían tradicionalmente muchas regiones áridas y semiáridas del planeta. Sin embargo, el desarrollo tecnológico y el crecimiento demográfico, imponen sobre todo continuos incrementos de la producción agrícola. El desequilibrio entre una demanda en aumento y una oferta de recursos hídricos estable o en declive expresa el gran problema de la agricultura de regadío (Martín de Santa Olalla y De Juan, 1993).

Ante las limitaciones actuales de acciones dirigidas al incremento lineal de los recursos, adquieren prioridad las orientadas al aumento de la eficiencia y del ahorro. A este respecto no existen dudas de la conveniencia de emprender acciones tendentes a mejorar la gestión del agua, tales como la necesaria mejora de la infraestructura hidráulica, y la flexibilización de la distribución del recurso en función de la demanda de los cultivos. Formar a los regantes para inducirles a combinar el máximo aprovechamiento del agua con un mínimo impacto ambiental, resulta esencial (Sánchez-Blanco y Torrecillas, 1995).

El hecho de que el déficit hídrico pueda resultar más o menos trascendente en función del momento fenológico en el que acontece, ha servido como base al denominado riego deficitario controlado (RDC), basado en la idea de que reducir los aportes hídricos en aquellos períodos fenológicos en los que un déficit hídrico controlado no afecta sensiblemente a la producción y calidad de la cosecha, cubriendo plenamente la demanda de la planta durante el resto del ciclo del cultivo (Torrecillas *et al.*, 1996).

Para la elaboración de estrategias de RDC debe atenderse a la consideración de aquellos factores que puedan condicionar de forma importante su viabilidad. Entre otros, adquiere una especial importancia el

conocimiento de los períodos críticos del cultivo, el nivel de coincidencia entre el crecimiento vegetativo y el del fruto, las características del suelo, el sistema de riego, el clima, el material vegetal, los mecanismos de resistencia a la sequía, etc. (Torrecillas *et al.*, 1996).

Conocer aquellos períodos críticos, o momentos fenológicos en los que el desarrollo de un estrés puede afectar, de forma considerable, la producción y/o la calidad de la cosecha, así como la intensidad y duración de los mismos resulta imprescindible para un correcto manejo del RDC (Domingo, 1994; Torrecillas *et al.*, 1996).

La separación natural de los períodos durante los cuales los tejidos y los órganos de los frutales crecen activamente da la posibilidad de inhibir un órgano, un tejido o proceso, sin afectar seriamente a otros. En términos de demanda de fotoasimilados, existe una separación clara entre los primeros períodos activos de crecimiento vegetativo y de crecimiento del fruto en muchos cultivos arbóreos. Esto favorece la aplicación de estrategias de RDC, ya que permite controlar el crecimiento vegetativo sin reducir el del fruto (Chalmers, 1990; Domingo, 1994; Goldhamer *et al.*, 1990; Torrecillas *et al.*, 1996). Además, algunos frutos como el melocotón y los cítricos, al recuperarse de un déficit hídrico temporal experimentan un crecimiento compensatorio que les permite alcanzar un tamaño similar al de los frutos que no han experimentado déficit (Chalmers *et al.*, 1985; Cohen y Goell, 1984). De hecho, la técnica del RDC surge a partir de los primeros trabajos de Chalmers *et al.* (1981) donde se pretendía controlar el exceso de vigor en plantaciones frutales sin que la producción se viera afectada y que pusieron de manifiesto, en melocotonero, la posibilidad de inducir estrés hídrico en el período de máximo crecimiento vegetativo sin una disminución de la productividad, permitiendo a la vez regular dicho crecimiento (Chalmers *et al.*, 1981, 1984; Mitchell y Chalmers, 1982).

El contenido de agua en el suelo debe ser controlado con facilidad y precisión, evitando que exista alternancia de períodos húmedos y secos de larga duración. La reducción de la dosis de agua aplicada, en los períodos no críticos, no debe implicar la supresión del riego, a fin de evitar la aparición de situaciones de estrés hídrico severo que podrían dar lugar a otros efectos adversos no deseados. En este sentido los sistemas de riego programados con altas frecuencias y pequeñas dosis, riegos localizados, tienden a concentrar el sistema radical y los sistemas radicales pequeños y concentrados tienen la capacidad de agotar el volumen ocupado por las raíces más rápidamente; ello es una característica deseable para el RDC puesto que con ello asegura una rápida absorción y permite regular el grado de déficit hídrico a alcanzar. Las altas densidades de plantación y suelos poco profundos con baja capacidad de

retención hídrica, son factores que pueden provocar igualmente el aumento de la densidad radical y el control del déficit hídrico (Chalmers, 1990).

Finalmente, es imprescindible conocer los mecanismos y la capacidad de resistencia a la sequía de la variedad a estudiar, a fin de programar la reducción del riego durante los períodos no críticos (Torrecillas *et al.*, 1996).

### 2.3.2. Identificación de períodos críticos.

Resulta difícil señalar con precisión los períodos críticos de cada cultivo. Algunos autores indican como períodos de máxima sensibilidad al déficit hídrico las fases de crecimiento del fruto. Así, por ejemplo, en melocotonero los déficit durante la segunda fase de rápido crecimiento del fruto son más trascendentes que en otras fases fenológicas (Huguet *et al.*, 1990). En cítricos, se señalan dos períodos críticos, el primero que abarca desde la floración hasta el cuajado, en el que el déficit hídrico condiciona el número de frutos, y un segundo período de mayor trascendencia que corresponde a la fase de rápido crecimiento del fruto y que determina el tamaño final de los mismos (Shalhevet *et al.*, 1979; Domingo *et al.*, 1996).

Sin embargo, Lampinen *et al.* (1995) señalan que en ciruela los efectos de la supresión del riego son más importantes en función de su duración y de la coincidencia con períodos de alta demanda evaporativa, encontrando una alta sensibilidad a la supresión del riego durante el período de endurecimiento del hueso, contrariamente a lo encontrado en otros frutales de hueso como el melocotonero.

En el caso del almendro, Girona (1992) concluye que el estrés hídrico después de la cosecha tiene un efecto drástico reduciendo el número de frutos por árbol.

La alta sensibilidad del avellano al déficit hídrico, tanto en la producción total como en la calidad (tamaño final del grano), aconseja regar siempre este cultivo teniendo en cuenta sus requerimientos hídricos totales (Girona, 1995).

El déficit hídrico impuesto en manzano, en las fases I y II de crecimiento del fruto, redujo el crecimiento vegetativo sin afectar al tamaño de los frutos, ni los rendimientos (Irving y Drost, 1987). Kilibi *et al.* (1996) estudiaron, también, los efectos del estrés hídrico en manzano con distintos tratamientos de supresión del riego y encontraron que la calidad de los frutos obtenidos en los tratamientos deficitarios fue superior a la del control, no viéndose afectados en ningún caso de manera significativa los rendimientos.

El período más crítico del albaricoquero es la segunda fase de crecimiento rápido del fruto (fase III) próxima a la maduración (Sansavini y Giannerini, 1991; Torrecillas *et al.*, 2000). Otro de los períodos críticos para este cultivo coincide con la postcosecha (Ruiz-Sánchez *et al.*, 1999), cuando se registran altos consumos de agua (Ruggiero, 1986). La supresión del riego durante este período afecta a la diferenciación floral, lo que provoca un desarrollo tardío de las yemas florales (Brown, 1953), un escaso número de yemas de flor y alteración de éstas, además de largos tallos con hojas pequeñas (Gómez-Aparisi, 1985). Uriu (1964) confirmó estos resultados al señalar que la disminución de la humedad del suelo, ocasionada por la supresión del riego durante el verano, produce una drástica reducción de la cosecha del año siguiente respecto a los albaricoqueros regados.

### 2.3.3. Investigaciones sobre RDC.

A continuación se resumen una serie de ensayos de RDC realizados en distintas especies frutales, y se analizan los resultados más relevantes con relación al momento de aplicación y a los ahorros de agua conseguidos con estas estrategias de riego.

#### *Peral*

Mitchell *et al.* (1984, 1989) en plantaciones de peral 'Bartlett' demostraron cómo el RDC es capaz de reducir el crecimiento vegetativo y aumentar la producción e incluso el tamaño de los frutos, consiguiendo los de más alto valor comercial. En sus experimentos ensayaron tres tratamientos de riego consistentes en aportes equivalentes al 92 (control), 46 y 23 % de la evaporación en cubeta clase A ( $E_0$ ), durante la fase de crecimiento vegetativo, que coincide con la inicial de lento crecimiento del fruto, seguidos de riego al 150 % hasta asegurar el humedecimiento completo de la zona radical y continuar al 100 % de  $E_0$  durante la fase de rápido crecimiento. El ahorro de agua se cifró en un 27 y 33 % en cada uno de los tratamientos deficitarios respecto al control. El tratamiento más deficitario produjo, durante los 5 años de ensayo, 65 t ha<sup>-1</sup> más de frutos de diámetro superior a 57 mm que el control y un ahorro de agua del orden de 2000 m<sup>3</sup>, con una eficiencia del uso del agua de 22 kg m<sup>-3</sup> frente a los 12.5 del control (Mitchell *et al.*, 1989). La alternancia productiva resultó atenuada en el tratamiento más deficitario (Mitchell *et al.*, 1986). Además, señalaron que los mayores rendimientos en RDC se presentaron cuando el crecimiento radical estaba limitado, lo cual se conseguía utilizando altas densidades de plantación.

### ***Melocotonero***

Los primeros ensayos de RDC en melocotonero mostraron la posibilidad de utilizar el estrés hídrico controlado para reducir satisfactoriamente el crecimiento vegetativo sin efectos negativos sobre el tamaño del fruto y la producción, con los consiguientes ahorros de agua (Chalmers *et al.*, 1981, 1985). La justificación dada a los mayores calibres encontrados en los frutos de melocotonero bajo RDC que en el tratamiento control, fue la del crecimiento compensatorio experimentado por los frutos al reanudar el riego a dosis normales tras el período de RDC (Huguet *et al.* 1990; Li *et al.*, 1989; Mitchell *et al.*, 1986).

En una plantación de melocotonero ‘Golden Queen’, Mitchell y Chalmers (1982) aplicando el 12.5 % de la  $E_0$  durante el período de RDC (fases I y II del crecimiento del melocotón) consiguieron un ahorro de agua del 34 %, obteniendo una producción y número de frutos de alto calibre superior al control.

Basándose en los resultados anteriores, se realizó un ensayo con las variedades temprana ‘Spring Lady’ y la tardía ‘CalRed’, bajo condiciones edáficas y climáticas claramente distintas: suelos profundos con alta capacidad de retención de agua, pluviometría inferior a 250 mm y veranos muy calurosos (Girona, 1989; Girona *et al.*, 1990; Ruiz-Sánchez y Girona, 1995). Se aplicaron 2 tratamientos, un control regado al 100 % de la  $ET_c$  todo el año y otro de RDC, regado al 25 % de la  $ET_c$  durante las fases I y II de crecimiento del fruto y período postcosecha y al 100-130 % de la  $ET_c$  durante la fase III. La baja tasa de infiltración de agua en el suelo indujo una recarga muy lenta del perfil al reanudar el riego a dosis normales durante la fase III, precisando del orden de 4 semanas para igualar sus contenidos de humedad, en la profundidad radical, a los del control. Este hecho impidió la recuperación de los árboles a la velocidad requerida en esta fase crítica y puede explicar el menor número de frutos de calibre extra obtenidos en RDC. Aunque el ahorro de agua ( $\approx 40$  %) fue considerable y las producciones totales de ambos tratamientos fueron similares, la rentabilidad económica del tratamiento de RDC fue menor, ya que los frutos de tamaño extra se cotizaron al doble que los de tamaño menor.

Girona *et al.* (1995) comprobaron, en una plantación comercial de melocotonero ‘Sudanell’, que la aplicación de RDC durante la fase II de crecimiento del fruto y período postcosecha posibilita ahorros moderados de agua ( $\approx 8$  %) sin efectos sobre la producción.

### **Frutos secos**

En almendros variedad 'Marcona', en Tarragona, Girona y Marsal (1995) aplicaron una estrategia de RDC consistente en aplicar el 100 % de la ETc hasta que finaliza el crecimiento exterior del fruto, momento en el que se inicia la rápida acumulación de materia seca del grano (abril – 15 de junio), el 20 % ETc hasta la recolección (15 de junio – 15 de septiembre) y 100 % ETc durante el período postcosecha. Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto una buena adaptación del almendro a la estrategia de RDC planteada, aún cuando la producción media del tratamiento de RDC (1 531 kg grano ha<sup>-1</sup>) fue ligeramente inferior a la del control (1 982 kg grano ha<sup>-1</sup>). El ahorro de agua conseguido fue del 61 %, y la eficiencia en el uso del agua en el de RDC (0.66 kg grano m<sup>-3</sup>) superó ampliamente a la del control (0.26 kg grano m<sup>-3</sup>). El factor más afectado fue el peso fresco del grano, no observándose ninguna tendencia en el número de frutos por árbol.

En un ensayo de riego deficitario en almendro, realizado en el Valle de San Joaquín (California), Goldhamer y Shackel (1989) observaron una respuesta productiva similar a la del experimento anterior. La estrategia de RDC consistió en regar al 80 % de la ETc hasta que se completa el tamaño exterior del fruto y finaliza el crecimiento vegetativo (mitad de mayo), seguido de un 60 % hasta que se completa el tamaño de la pepita (mitad de Junio), para continuar durante la fase de aumento de peso seco de la pepita con un 40 % hasta finales de junio y un 60 % hasta la recolección. El ahorro de agua se cifró en el 58 %, obteniéndose producciones similares a las del tratamiento control (100 % ETc). Las diferencias entre ambas estrategias de RDC se basan en que las variedades americanas son de cáscara blanda y conviene regar a mayores dosis en el período comprendido entre el inicio de acumulación rápida de materia seca del grano y la recolección, con el fin de evitar la formación de 'pelonas', almendras a las que se les queda adherida la pelarza, dificultando el descascarado y disminuyendo drásticamente su precio de mercado.

La respuesta de nogales jóvenes de la variedad 'Serr' al RDC ha sido estudiada por Cohen *et al.* (1993). Estos investigadores realizaron un estudio comparativo entre los tratamientos de RDC y control. El tratamiento de RDC se regó al 100 % de la ETc de mayo a mediados de junio, al 20 % desde mediados de junio hasta la cosecha, finales de septiembre, y de nuevo al 100 % durante el resto del período. Los árboles del tratamiento de RDC mostraron una buena adaptación, ya que para un ahorro de agua medio del 43 % los parámetros: calibre, peso fresco y seco de la nuez y grano, color del grano y cantidad y calidad del aceite no se vieron afectados. Sin embargo, la superficie foliar se redujo en un 50 %, dando lugar a una producción por unidad de área foliar relativamente superior pero en términos estrictamente productivos se

observó una reducción del 44 % de la cosecha, lo que supuso una disminución importante de los ingresos. Según estos autores la disminución de los ingresos se podría compensar con una mayor densidad de plantación y reducción en los costes de las técnicas culturales como consecuencia del menor desarrollo de los árboles.

En un estudio comparativo de la respuesta del almendro y del avellano a diferentes estrategias de riego, Marsal *et al.* (1997) observaron mayores reducciones en la tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> en avellano que en almendro, inducidas por disminuciones de  $\Psi_a$ . Observaron también una mayor sensibilidad de la tasa fotosintética del avellano a las variaciones de la conductancia estomática ( $g_s$ ) que la del almendro, especialmente cuando las variaciones corresponden a bajos niveles de  $g_s$ . Aunque la producción anual en grano se vio afectada, en ambas especies, por los tratamientos de riego, las estrategias fueron claramente diferentes en los dos cultivos; siendo en avellano el factor más afectado el peso seco del grano, lo que repercutió sobre el rendimiento del cultivo, mientras que en almendro lo fue el número de frutos por árbol, quedando prácticamente invariable el peso seco. Estos autores indicaban que el almendro reúne mejores condiciones de adaptación a estrategias de RDC que el avellano, como consecuencia de su mayor eficiencia fotosintética.

En pistacho, Goldhamer (1997) indica que una estrategia de RDC consistente en regar al 50 % de la ET<sub>c</sub> durante la fase II de crecimiento del fruto, período comprendido entre mediados de mayo y primeros de julio, consiguió ahorros de agua del 17.7 % y una producción similar a la del tratamiento control. Los parámetros de calidad del fruto estudiados no resultaron afectados por el RDC, incluso en alguno de los años de estudio ésta resultó beneficiada, con un mayor porcentaje de granos abiertos y menor número de frutos con cáscara manchada.

### ***Cítricos***

En cítricos el RDC ha sido estudiado en limonero (Domingo *et al.*, 1996) y mandarino (González-Altozano y Castel, 1999, 2000).

En limonero 'Fino' se ensayaron 3 tratamientos de riego: un control con riego al 100 % de la ET<sub>c</sub> durante toda la temporada y dos deficitarios, uno con riego similar al control durante el período de desarrollo del fruto (junio-octubre) y al 25 % de la ET<sub>c</sub> durante el resto del período de riego, y otro en el que se aplicó el 70 % de la ET<sub>c</sub> durante junio-octubre y similar al control en el resto de la temporada. Aunque los rendimientos totales fueron similares en todos los tratamientos, el ahorro de agua de un 22 % obtenido mediante la reducción del riego durante el período de crecimiento del fruto no parece

recomendable desde el punto de vista económico, ya que produjo un retraso en el logro del tamaño comercial del fruto, disminuyendo sensiblemente su precio de mercado. Sin embargo, la reducción del riego durante el resto del año, a excepción del período de rápido crecimiento del fruto, permitió ahorrar un 30 % de agua sin afectar a la producción total y disminuyendo sólo 1 de los 4 años de estudio la producción del primer corte (que coincidió con el año de menor pluviometría); por ello constituye una herramienta prometedora para limonero 'Fino' en situaciones de escasa disponibilidad hídrica.

En mandarino 'Clementina de Nules' se establecieron tratamientos de RDC en función de un lisímetro de pesada ( $ET_{lis}$ ), ubicado en la parcela experimental, plantado con un árbol de desarrollo similar a los circundantes. A partir de 8 tratamientos de riego, González-Altozano y Castel (1999, 2000) estudiaron dos niveles RDC en los tres períodos fenológicos principales. Estos investigadores señalaban la primavera como el período más crítico y por tanto menos aconsejable para ahorrar agua en 'Clementina de Nules', ya que pequeñas diferencias en el estado hídrico de los árboles respecto al control provocaron una importante reducción de la cosecha debido al aumento de la 'caída de junio' con la consecuente disminución del número final de frutos por árbol. Contrariamente, indican como época más adecuada para la aplicación de estrategias de RDC aquella en la que tiene lugar la fase inicial de crecimiento rápido del fruto (julio), y que según sus resultados se pueden conseguir ahorros de agua entre el 7 y el 14 % sin efectos negativos sobre la cosecha y calidad del fruto.

### ***Olivo***

En olivo, Goldhamer (1997) aplicó estrategias de RDC, regando al 100 % de la  $ET_c$  en los períodos considerados críticos (diferenciación de yemas de flor, floración y crecimiento rápido de brotes y fruto). Junto a un control regado al 100 % se estudiaron 3 tratamientos de RDC: T1 regado al 50 % de la  $ET_c$  desde mediados de junio a finales de julio, T2 regado al 50 % de la  $ET_c$  desde principios de junio a mitad de agosto, y un T3 con una aplicación del 50 % de la  $ET_c$  desde mediados de mayo a mediados de junio y del 25 % hasta finales de agosto, seguido de dos semanas al 50 %. Las estrategias de RDC supusieron un ahorro del 13, 21 y 40 %, para el T1, T2 y T3, respectivamente y sin diferencias significativas el primer año de aplicación en cuanto al tamaño final del fruto (que presentó un crecimiento compensatorio, tras el período de déficit), la producción y la calidad. Para igual carga productiva de los árboles, el tamaño y peso del fruto cosechado fue similar entre tratamientos de riego.

De los resultados expuestos se puede concluir que si bien el RDC no constituye en sí mismo la panacea capaz de solucionar el necesario ahorro de

agua en muchos de nuestros regadíos, no es menos cierto que los fundamentos científicos y prácticos del mismo, de adecuar las aportaciones y reducciones de agua atendiendo a la fisiología de la planta, constituyen la base sobre la que habrá que elaborar estrategias de riego que permitan ahorros de agua no despreciables con el menor impacto posible en la producción así como en el medio ambiente (Sánchez-Blanco y Torrecillas, 1995).

### **3. Técnicas utilizadas.**

### 3.1. Introducción.

En este capítulo se describen las técnicas y metodologías utilizadas para la determinación de los parámetros de clima, suelo y planta evaluados en los ensayos realizados con albaricoqueros jóvenes cultivados en maceta y en árboles adultos de una explotación agrícola. Ambos tipos de ensayos conforman la presente Memoria de Tesis.

### 3.2. Clima.

#### *Déficit de presión de vapor.*

El déficit de presión de vapor (DPV) del aire se calculó, a partir de datos de temperatura y humedad relativa, según las ecuaciones (Sánchez-Toribio, 1992):

$$\text{DPV} = e_s - e_a$$

$$e_s = 0.6108 \exp\left[\frac{17.27 T}{(T + 237.3)}\right]$$

$$e_a = e_s \frac{\text{HR}}{100}$$

donde,  $e_s$  es la presión de vapor a saturación a la temperatura del aire (kPa),  $e_a$  la presión de vapor actual (kPa),  $T$  la temperatura (°C) y HR la humedad relativa (%).

#### *Unidades-frío.*

Las unidades frío necesarias para la ruptura del reposo invernal del albaricoquero, durante el período 1994-98, se calcularon mediante el modelo de Erez y Couvillon (1987) asignando a cada temperatura un nivel fisiológico de contribución a la salida del reposo invernal.

La conversión de temperaturas en unidades de frío se muestra en la tabla 3.1. Para su cálculo son necesarios datos termométricos horarios, ya que una unidad de frío equivale a una hora de exposición a 8 °C.

**Tabla 3.1.** Relación entre la temperatura del aire y la acumulación de horas frío (Erez y Couvillon, 1987).

Temperatura (°C)	Unidades frío
0	0.20
2	0.30
4	0.65
6	0.90
8	1.00
10	0.80
12	0.40
14	0.00
16	0.00
≥ 20	-0.70

### ***Integral térmica.***

Las medidas del tiempo fenológico se han revelado muy útiles en horticultura, siendo numerosos los autores que han tratado de desarrollar modelos para medir la acumulación de calor necesario para completar cada período fenológico (Lovatt *et al.*, 1984; Richardson *et al.*, 1974, 1975).

Estos modelos definen la acumulación de calor como la diferencia entre la temperatura media diaria y una temperatura base, considerada como aquella bajo la cual no existe actividad vegetativa en la planta (Richardson *et al.*, 1975). Esta acumulación de calor diario se ha denominado tradicionalmente grados día (GD) o según terminología inglesa GDD (growing degree days), habiéndose empleado como medida del tiempo fenológico en diversos cultivos como en granado (Melgarejo *et al.*, 1997), manzano (Shaltout y Unrath, 1983), maíz (Russelle *et al.*, 1984), melocotonero (Richardson *et al.*, 1975), albaricoquero (Burgos, 1991) y cítricos (Goldschmidt *et al.*, 1992; Harpaz *et al.*, 1988).

La acumulación de calor (GD) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$GD = \left[ \frac{(T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}})}{2} \right] - T_{\text{base}}$$

donde  $T_{\text{máx}}$  y  $T_{\text{mín}}$  son la temperatura máxima y mínima diaria del aire respectivamente, y  $T_{\text{base}}$  es la temperatura base por debajo de la cual no hay actividad vegetativa en la planta. La integral térmica (IT) se calcula como la suma de los GD en el período considerado.

Richardson *et al.* (1975), en melocotonero, definieron una hora grado Celsius de crecimiento (1 °C GDH) como una hora a una temperatura 1 °C por encima de la temperatura base, considerando que existe también un límite superior (25 °C) por encima del cual los frutales detienen su desarrollo, por lo que no contabilizan como efectivas temperaturas por encima de ese límite superior.

Los °C GDH se calculan, según la siguiente expresión:

$$\text{GDH} = \sum_1^{24} (T_{\text{mh}} - T_{\text{base}})$$

donde  $T_{\text{mh}}$  es la temperatura media horaria (°C).

En el ensayo con albaricoqueros adultos se aplicó una ligera modificación a la metodología de Richardson *et al.* (1975), consistente en la eliminación del límite superior de 25 °C para el computo del calor acumulado (Burgos, 1991) y en fijar la temperatura base del albaricoquero en 6 °C, tal y como sugirieron Tabuenca y Herrero (1966).

### 3.3. Suelo.

#### 3.3.1. Estado hídrico.

##### ***Contenido volumétrico de agua en el suelo.***

El contenido volumétrico de agua en el suelo ( $\theta_v$ ) se determinó utilizando la técnica de reflectometría en dominio del tiempo (TDR) para el ensayo de albaricoqueros jóvenes cultivados en maceta, usando un equipo TEKTRONIX, modelo 1502B (Fotografía 3.1).

El método TDR fue desarrollado por Topp *et al.* (1980, 1982) y Topp y Davis (1985), y se basa en la determinación de la constante dieléctrica del suelo ( $K_a$ ), la cual está relacionada con el contenido de agua del mismo.

El equipo consta de una unidad de emisión y detección de ondas electromagnéticas, que aplica una diferencia de potencial corta y rápida a través de un cable coaxial de 50 ohmios conectado a dos electrodos (varillas de acero inoxidable no imantable colocadas paralelas) mediante unas pinzas de cocodrilo. Cuando la señal alcanza el final de las varillas, se refleja y vuelve hacia la unidad central, donde es identificada por un cambio en la diferencia de potencial mediante un osciloscopio. El análisis manual directo, en campo,

de la traza que aparece en la pantalla del reflectómetro, permite obtener el valor de  $K_a$  y, a partir de él, el de  $\theta_v$  ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) mediante la ecuación empírica:

$$\theta_v = -5.3 \cdot 10^{-2} + 2.92 \cdot 10^{-2} \cdot K_a - 5.5 \cdot 10^{-4} \cdot K_a^2 + 4.3 \cdot 10^{-6} \cdot K_a^3$$

La relación entre  $K_a$  y  $\theta_v$  es relativamente independiente de la textura, la densidad aparente, la temperatura, la conductividad eléctrica de la solución del suelo (si se exceptúan los suelos de alta salinidad) y de la trayectoria de humedecimiento o desecado del suelo, siendo válida para un amplio rango de suelos (Topp *et al.* 1980; Topp y Davis, 1985).



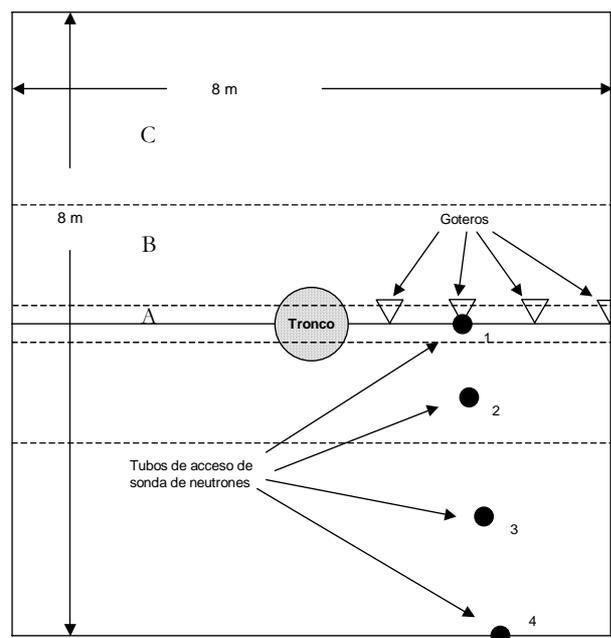
**Fotografía 3.1.** Equipo de medida de TDR y tensiómetro de vacío empleados en el ensayo en macetas.

En la parcela de árboles adultos el contenido volumétrico de agua del suelo se midió con sonda de neutrones TROXLER 4300 (Fotografía 3.2), para lo cual se instalaron tubos de acceso de acero galvanizado, de 41.5 mm de diámetro interior y 140 cm de longitud.

Se seleccionó 1 árbol por bloque y tratamiento en el que se instalaron 4 tubos de acceso en dirección perpendicular al lateral de riego, en la zona suroeste de la proyección exterior de la copa. El primer tubo se situó junto al segundo gotero a partir del tronco y los tres restantes a 1, 2.5 y 4 m del anterior, respectivamente (Figura 3.1). Para el cálculo del stock hídrico correspondiente al marco de plantación se tuvieron en cuenta las superficies de las distintas zonas de influencia de cada tubo (Tabla 3.2).



**Fotografía 3.2.** Sonda de neutrones empleada en el ensayo de albaricoqueros adultos.



**Figura 3.1.** Esquema de la posición de los tubos de acceso de sonda de neutrones y las diferentes zonas (A, B y C) afectadas por el riego en el marco de plantación (ensayo de albaricoqueros adultos).

Para la obtención de la curva de calibrado se instalaron dos tubos de acceso adicionales, en puntos representativos de las características medias texturales. A partir de ellos, se relacionó el cociente de cuentas ( $N/SC$ ) de las diferentes profundidades con el contenido volumétrico de humedad ( $\theta_v$ ),

determinado a partir de muestras inalteradas de suelo. La regresión de  $\theta_v$  respecto a N/SC presentó la relación funcional:

$$\theta_v = 0.49 \frac{N}{SC} - 0.0132 \quad (R^2 = 0.987)$$

donde N es la lectura de la sonda en cada profundidad y SC la lectura estándar (aquella que se realiza cuando la fuente radiactiva se encuentra dentro de la cámara protectora).

**Tabla 3.2.** Superficie (m<sup>2</sup>) asignada a cada una de las 3 zonas con distinto contenido de humedad en que se dividió el marco de plantación, para los 4 tratamientos de riego (ensayo de albaricoqueros adultos).

Zona	Superficie (m <sup>2</sup> )				Tubos de acceso representativos
	T1	T2	T3	T4	
A	2.2	1.1	1.3*	0.9*	1
B	17.8	8.9	10.7*	7.1*	2
C	44	54	52*	56*	3 y 4
<b>Total</b>	64	64	64	64	

\*Durante los períodos de riego deficitario.

En cada tubo de acceso se tomaron lecturas cada 10 cm, desde los 20 a los 140 cm. El  $\theta_v$  de los primeros 10 cm se determinó a partir de muestras de suelo próximas a los tubos.

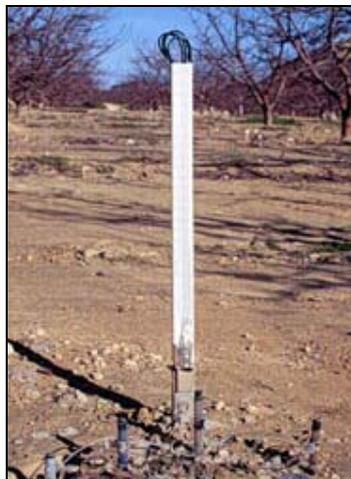
### ***Energía del agua en el suelo.***

La medida del potencial matricial del agua en el suelo ( $\Psi_m$ ), en árboles adultos, se realizó con tensiómetros de mercurio (modelo SDEC STM 2150), colocados a 30 cm del gotero a las profundidades de 30, 60 y 90 cm (Fotografía 3.3). En los árboles cultivados en maceta se instalaron tensiómetros con vacuómetro tipo Bourdon (modelo IRROMETER INC.) a 15 cm de profundidad (Fotografía 3.1).

### **3.3.2. Oxígeno disuelto y salinidad.**

El contenido en oxígeno de la solución del suelo, correspondiente al ensayo de inundación en macetas, se midió con un oxímetro ORION (modelo 810), a partir de muestras de solución de suelo obtenidas mediante sondas de succión equipadas con cápsulas cerámicas porosas de 5 cm de diámetro. Para la adquisición de las muestras se aplicó una succión de -30 kPa y una vez en el

interior de la sonda, se introdujo cuidadosamente el electrodo del oxímetro, procediéndose a la medida.



**Fotografía 3.3.** Batería de tensiómetros de mercurio del ensayo de albaricoqueros adultos.

La distribución de sales en el perfil de suelo humectado, en árboles adultos en condiciones de campo, se evaluó a partir de medidas de la concentración del ión cloruro (Cl) y de la conductividad eléctrica en el extracto de saturación (CEe), utilizando un analizador automático (SHERWOOD SCIENTIFIC Ltd. Mod. 926) y un conductímetro (CRISON mod. 524), respectivamente, en dos puntos diferentes del volumen humedecido por el goteo: frente húmedo y punto de goteo.

Para su determinación se tomaron muestras a las profundidades de 0-30, 30-60, 60-90 y 90-120 cm.

## 3.4. Planta.

### 3.4.1. Estado hídrico.

#### *Potencial hídrico foliar y sus componentes.*

El estado hídrico de la planta fue evaluado a partir de medidas del potencial hídrico foliar ( $\Psi$ ) realizadas antes del alba ( $\Psi_a$ ) y a mediodía solar, ( $\Psi_{md}$ ). Las medidas se realizaron en hojas sanas y adultas, procedentes del tercio medio de las ramas del árbol en su orientación sur, bien expuestas a la radiación solar (para el caso de  $\Psi_{md}$ ) utilizando una cámara de presión (SOIL MOISTURE EQUIPMENT Co., modelo 3000) (Fotografía 3.4).

Con objeto de obtener medidas fiables se tomaron una serie de precauciones, sugeridas por Turner (1981), que incluyen:

- Realizar un corte limpio y único en el peciolo de la hoja.
- Minimizar la pérdida de agua durante el tiempo que transcurre desde el corte de la hoja a la toma de la medida. Para ello se redujo, en la medida de lo posible, el tiempo transcurrido entre el corte de la hoja (previamente envuelta en una bolsa de plástico) y la inserción en la cámara (menos de 20 s).
- Dejar sobresalir de la cámara sólo la longitud mínima del peciolo.
- Para lograr un buen equilibrio entre las diferentes partes de la hoja, es importante que la inyección de gas en la cámara de presión sea lenta y regular, a razón de  $0.03 \text{ MPa s}^{-1}$ , hasta la aparición de la savia por la superficie del peciolo.
- Evitar pérdidas de gas de la cámara, para obtener una presión de equilibrio estable y lecturas fiables.

El potencial osmótico actual ( $\Psi_o$ ) fue medido con un osmómetro de presión de vapor (WESCOR, modelo 5500), calibrado con soluciones de osmolalidad conocida (290 y 1000  $\text{mmol kg}^{-1}$ ). Las mismas hojas usadas para la medida del potencial hídrico foliar antes del alba, eran inmediatamente envueltas en papel de aluminio, introducidas en nitrógeno líquido y almacenadas a  $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ . La determinación de  $\Psi_o$  se realizó en el jugo foliar exprimido de las muestras previamente descongeladas a temperatura ambiente, colocando una muestra con ayuda de una jeringa en el osmómetro.



**Fotografía 3.4.** Cámara de presión.

El potencial de presión antes del alba ( $\Psi_p$ ) fue calculado por diferencia entre el potencial hídrico foliar ( $\Psi_a$ ) y el potencial osmótico actual ( $\Psi_o$ ).

El potencial osmótico a máxima saturación ( $\Psi_{os}$ ) fue determinado en hojas tomadas igualmente antes del alba, adyacentes a las de la medida del potencial hídrico, las cuales eran saturadas inmediatamente después de ser muestreadas, introduciendo los pecíolos en vasos de agua destilada y mantenidas en oscuridad durante 24 h, tras lo cual eran congeladas en nitrógeno líquido. Las medidas se realizaron igualmente con un osmómetro de presión de vapor.

### ***Conductancia foliar.***

La conductancia foliar ( $g_s$ ) fue medida en el mismo tipo de hojas y con igual número de repeticiones que  $\Psi$ , usando un porómetro de estado estacionario (LI-COR Inc., modelo LI-1600) (Fotografía 3.5). El sensor de humedad se calibró regularmente con soluciones salinas de referencia y el material desecante se sustituyó antes de cada medida.



**Fotografía 3.5.** Porómetro de estado estacionario.

### ***Fotosíntesis neta, transpiración foliar y concentración interna de CO<sub>2</sub>.***

La fotosíntesis neta ( $F_n$ ), la transpiración foliar ( $TR$ ) y la concentración interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ) fueron medidas en las mismas hojas que  $g_s$ , utilizando un medidor de intercambio gaseoso portátil (LI-COR Inc., modelo LI-6200), equipado con un analizador de  $CO_2$  por infrarrojos (IRGA, modelo LI-6250), el cual fue calibrado diariamente con una serie de mezclas estándar  $CO_2$ /aire.

La hoja era encerrada en una cámara ventilada de 1 litro y mantenida en la misma orientación que en su situación natural (Fotografía 3.6). Durante las medidas la velocidad del flujo del aire circulante dentro del sistema se

mantuvo en torno a  $280 \mu\text{mol s}^{-1}$ , y el déficit de presión de vapor de la hoja al aire osciló entre 1.8 y 2.4 kPa.



Fotografía 3.6. Medidor de intercambio gaseoso portátil.

### ***Epinastia o ángulo de inserción foliar.***

La epinastia se define como el cambio en el ángulo formado entre el peciolo de la hoja y el tallo (ángulo de inserción foliar, AIF). Para su determinación se realizaron medidas con un transportador de ángulos transparente.

### ***Temperatura foliar.***

La temperatura de la cubierta vegetal ( $T_p$ ) fue medida con un termómetro de infrarrojos (EVEREST INTERSCIENCE Inc.).

Se realizaron medidas en la zona soleada de cada árbol, manteniendo el aparato de espaldas al sol, perpendicular a la superficie foliar y asegurando que todo el campo de visión del aparato estuviera cubierto por superficie foliar.

### ***Resistencia del suelo y la planta al flujo del agua.***

La estimación de la resistencia del suelo más la de la planta al flujo del agua ( $R_{s+p}$ ) se realizó a partir de la ecuación, propuesta por Sands y Theodorou (1948), en la que TR es la transpiración foliar:

$$TR = \frac{-(\Psi - \Psi_m)}{R_{s+p}}$$

Al ser el potencial matricial ( $\Psi_m$ ) cero en condiciones de inundación y próximo a cero en los tratamientos bien regados,  $R_{s+p}$  puede ser expresada con suficiente aproximación a partir de la ecuación:

$$R_{s+p} = \frac{-\Psi}{TR}$$

### ***Conductividad hidráulica de la raíz.***

La conductividad hidráulica de la raíz ( $L_p$ ) se calculó como la inversa de la resistencia ( $R$ ), a partir de la siguiente expresión (Ramos y Kaufmann, 1979):

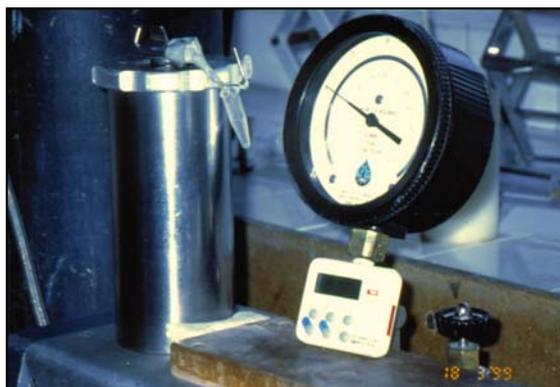
$$L_p = \frac{1}{R} = \frac{J}{P \cdot L}$$

donde  $R$  es la resistencia hidráulica de la raíz ( $\text{MPa m s mg}^{-1}$ ),  $P$  es la presión ( $\text{MPa}$ ),  $L$  es la longitud total (m) y  $J$  es el flujo hídrico ( $\text{mg s}^{-1}$ ).

Se tomó una porción del sistema radical, la cual se lavó cuidadosamente, evitando romper las raíces más finas, y se introdujo en la cámara de presión dentro de un recipiente lleno de agua, uniendo el extremo seccionado de la raíz, a través de un capilar, con un microtubo Ependorf situado en el exterior de la cámara (Fotografía 3.7). Una vez conseguido el sellado se ajustó la entrada de gas, incrementando la presión a una tasa de  $0.4 \text{ MPa min}^{-1}$  hasta alcanzar una presión final de  $1 \text{ MPa}$ . El volumen de exudado recogido en el microtubo Ependorf, a la presión final y en períodos de 3 minutos, fue inmediatamente pesado. Las tasas de exudación se determinaron a partir de 4 volúmenes de exudados, siendo desechado el primer volumen obtenido. La longitud total de raíz se midió con un sistema de análisis de imagen DELTA-T Devices Ltd.

### **3.4.2. Concentración de nutrientes en hoja.**

Se realizó un seguimiento mensual del contenido de nutrientes en hoja, a partir de muestras de 100 hojas, 20 por árbol adulto. Las hojas se tomaron en el punto medio del brote del año, situados en la periferia de la copa (Batjer y Westwood, 1958; Carpena *et al.*, 1968; Hugué, 1987). El material vegetal una vez lavado dos veces con agua desionizada y secado en estufa ( $48 \text{ h}$  a  $65 \text{ °C}$ ) fue triturado con un molinillo para microcantidades (JANKE & KUNKEL, modelo IKA) y posteriormente tamizado ( $0.5 \text{ mm}$ ). Los métodos de análisis empleados fueron los propuestos por el Comité Inter-Institutos (1969) y Pinta (1973).



**Fotografía 3.7.** Recogida de exudados en la determinación de la conductividad hidráulica de la raíz.

El nitrógeno total se determinó por el método Kjeldahl, modificado a escala semimicro (Jackson, 1960). Para ello, se realizó una digestión de 50 mg de material vegetal a 380 °C con 3 ml de una solución obtenida mediante la mezcla de 2200 ml de ácido sulfúrico concentrado con 146.7 g de ácido salicílico. El proceso se realizó en presencia de 0.4 g de catalizador  $K_2SO_4$ - $CuSO_4$ -Se, preparado mediante la mezcla de estas sustancias en proporción (100:10:1). A continuación se destiló con NaOH (40 %) recogiendo el destilado sobre 5 ml de  $H_3BO_3$  para luego valorarlo con  $H_2SO_4$  0.05 M.

Para la determinación del fósforo, sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso y cinc, la digestión por vía húmeda se realizó hasta la decoloración de 0.5 g de material vegetal con 5 ml de una mezcla de los ácidos nítrico y perclórico en proporción (2:1). A continuación se enrasó a 50 ml con agua desionizada y fue conservado en una botella de plástico para su posterior análisis.

El fósforo se midió en el extracto anteriormente obtenido por colorimetría fosfomolibdica a 887 nm según el método de Murphy y Riley (1962), usando un espectrofotómetro (BECKMAN, modelo DU-40) y los demás iones se determinaron por espectrofotetría de absorción atómica (PERKIN ELMER, modelo IC/5500). Los resultados se expresaron en porcentaje de materia seca para los macronutrientes y en ppm para los micronutrientes.

### **3.4.3. Floración, fructificación y caídas fisiológicas.**

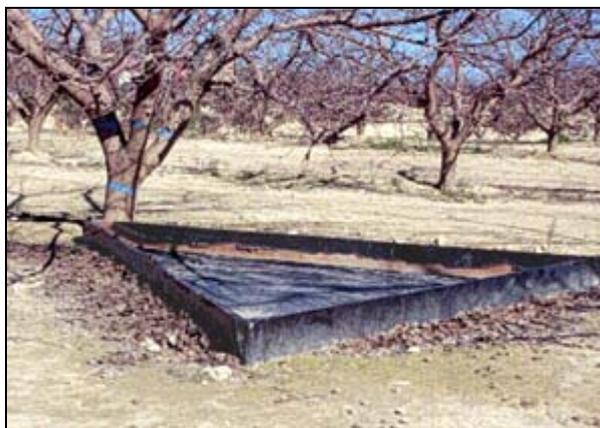
El seguimiento del estado fenológico de los albaricoqueros adultos (escala Baggiolini), la duración e intensidad de floración y fructificación, se realizó a partir de 4 ramas marcadas por árbol. Las ramas seleccionadas, una en cada dirección cardinal, tenían aproximadamente 1 m de longitud y 1.5  $cm^2$  de sección. Dos veces por semana, desde finales de enero (cuando las

yemas se encontraban en el estado A o de reposo), se contaron los distintos estados de las yemas por separado, hasta completar su desarrollo.

Coincidiendo con el momento de máxima floración se contó el número de flores existentes en las ramas (estados C a G) y 6-8 semanas después los frutos cuajados para determinar el porcentaje de caída de yemas florales y de fructificación.

Con el fin de evaluar, de una forma más directa, las caídas fisiológicas de yemas, flores, frutos y hojas en árboles adultos, se construyeron unos recipientes con forma de sector circular, equivalentes a 1/8 de la proyección de la canopia del árbol, de 3.30 m de radio y 15 cm de altura (Fotografía 3.8). Para facilitar la recogida se colocó en el fondo una lámina de plástico negro de 500 galgas.

Los distintos órganos caídos en los recipientes se recogieron semanalmente, desde principios de febrero hasta el inicio de la recolección, continuándose a finales de octubre con el comienzo de la caída de hojas. El contenido de los recipientes se clasificó en laboratorio y se pesó en fresco. En alícuotas de unos 20 g se contó el número de flores y/o frutos y se obtuvo el peso seco (24 h en estufa a 65 °C), calculándose el número total de los diferentes órganos por recipiente, mediante la relación peso fresco/peso seco.



**Fotografía 3.8.** Recipiente para recogida de caídas fisiológicas.

#### 3.4.4. Crecimiento vegetativo.

##### *Distribución radical.*

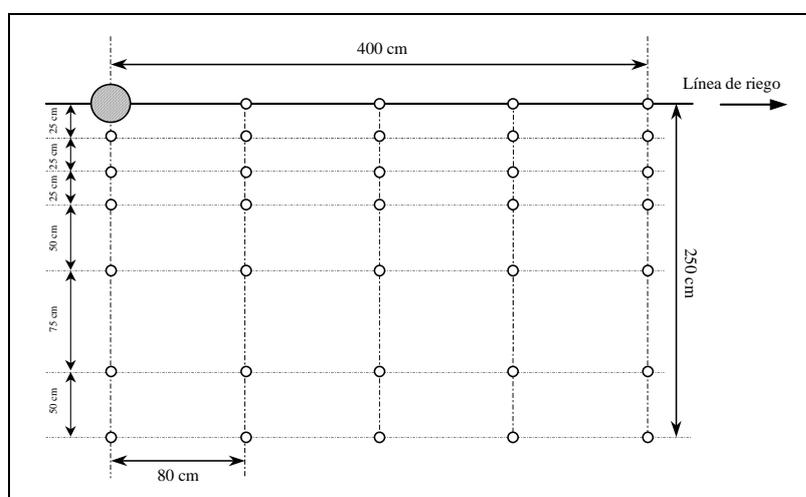
Para el estudio del patrón radical de los árboles adultos se diseñó una malla tridimensional (Figura 3.2), centrada en un único cuadrante del marco de plantación, modificando la propuesta por Fernández (1989). En cada

punto se recogieron muestras de suelo ( $47.12 \text{ cm}^3$ ), cada 15 cm, hasta la profundidad de 120 cm, utilizando un tubo Veihmeyer.

Durante 24 h las muestras permanecieron en una disolución acuosa de hexametáfosfato sódico al 0.4 %, agitándose frecuentemente. La separación de raíces y tierra se completó tras sucesivos lavados a través de un tamiz de 0.5 mm. Las raíces fueron clasificadas por diámetros:  $<1 \text{ mm}$ , 1- 5 mm y  $>5 \text{ mm}$ . Los resultados fueron expresados como densidad de longitud radical (DLR,  $\text{cm de raíz cm}^{-3}$  de suelo).

### ***Dinámica del sistema radical.***

En el estudio de la dinámica de crecimiento del sistema radical se utilizaron minirrizotrones de metacrilato transparente, de 2 m de longitud y 80 y 74 mm de diámetro exterior e interior, respectivamente, con el extremo inferior sellado. Éstos estaban graduados a intervalos de 5 cm con marcas transversales. Los minirrizotrones fueron introducidos en el suelo, formando un ángulo de  $45^\circ$ , en la zona radical activa y en la proyección de la canopia. La porción exterior del tubo se cubrió con plástico negro, con el fin de impedir la penetración de la luz (Abrisqueta *et al.*, 1994).



**Figura 3.2.** Malla para determinación de la distribución radical.

Para facilitar la lectura se utilizó una varilla de acero de 2.2 m de longitud y 4 mm de diámetro, con un armazón circular de latón en su extremo, en el que iba montado un espejo circular de 6.7 cm de diámetro, equipado con una lámpara halógena de 50 W y 12 V, que era conectada a una batería portátil de 12 V y 45 Ah, en el momento de lectura. Un visor consistente en un objetivo (1:4.5/50) y en un ocular (12.5 mm) permitía aumentar cuatro veces la imagen reflejada por el espejo.

Siguiendo el método descrito por Upchurch y Ritchie (1983), se cuantificó el número de raíces en cada sección del tubo, independientemente de su diámetro y longitud, comenzando las medidas 3 meses después de la instalación de los minirrizotrones. El valor de la densidad de longitud de raíces, DLR, (cm de raíz cm<sup>-3</sup> de suelo) se obtuvo, para cada profundidad, según la ecuación:

$$DLR = \frac{N \cdot d}{A \cdot d}$$

donde, N es el número de raíces observadas en cada sección del tubo, A es el área de la pared exterior del tubo en el intervalo considerado (125.7 cm<sup>2</sup>) y d el diámetro exterior del tubo (8 cm, se incluye en la fórmula para que sea dimensionalmente correcta).

### ***Crecimiento de brotes.***

Para la medida del crecimiento de brotes se marcaron y midieron en febrero ramas de unos 20-30 cm de longitud, orientadas según los cuatro puntos cardinales. Una vez iniciada la brotación, se midió semanalmente la longitud de la rama principal y de los brotes laterales, así como el diámetro de la base. Las medidas de longitud se realizaron con una cinta métrica y las de diámetro con un calibre digital (CRAFSTMAN).

### ***Tronco y ramas principales.***

El diámetro del tronco y de las ramas principales se midió con un pie de rey, en dos direcciones perpendiculares entre sí. La medida del tronco se realizó a unos 30 cm del suelo, durante el reposo invernal (octubre-noviembre). Además, en 1997 y 1999 se estudió la dinámica anual de crecimiento del tronco.

### ***Superficie sombreada.***

La estimación de la superficie sombreada de los árboles adultos se estimó, al final del período experimental (verano de 1999), sobre la base del número de cuadros sombreados de una tela de 4 x 4 m (1/4 del marco de plantación) cuyos cuadrados elementales eran de 625 cm<sup>2</sup>. La tela se colocó bajo el árbol, en el cuadrante N del marco de plantación, realizando las medidas entre las 11:00 y 13:00 h solar.

### ***Área foliar.***

El área foliar total se evaluó mediante un sistema de análisis de imagen DELTA-T en los árboles jóvenes, mientras que en los adultos se estimó en base a la cuantificación del área foliar de una rama principal por árbol, de aproximadamente 8 cm de diámetro, la cual fue marcada y envuelta en una red antes de la caída de hoja. El área foliar total se obtuvo multiplicando el área foliar de cada rama (medida con el sistema de análisis de imagen) por el número de ramas de similar diámetro de cada árbol. Los resultados se expresaron como índice de área foliar ( $\text{m}^2$  hoja  $\text{m}^{-2}$  marco plantación).

### ***Poda.***

En cada otoño se realizó la poda de fructificación y de mantenimiento de los árboles adultos. Las ramas de poda de cada árbol testigo fueron separadas y pesadas en campo. Adicionalmente, y a partir de una submuestra, se determinó su peso seco a 65 °C en estufa con flujo de aire forzado.

## **3.4.5. Crecimiento del fruto.**

### ***Características físicas del fruto.***

Para el estudio de la dinámica de crecimiento del fruto se marcaron 10 frutos alrededor del árbol en estado I (unos 15 días después de la máxima floración). Semanalmente y hasta la recolección, se midieron sus tres diámetros: longitudinal ( $\varnothing_L$ ) o polar, longitud entre el pedúnculo y el ápice del fruto; diámetro de sutura ( $\varnothing_S$ ), medido siguiendo el plano de sutura y diámetro ecuatorial ( $\varnothing_E$ ), perpendicular a las dos dimensiones anteriores, usando un calibre digital (CRAFSTMAN).

De forma paralela a las medidas realizadas *in situ*, se escogieron al azar 40 frutos por bloque, que fueron llevados al laboratorio para determinar, en una submuestra de 20 frutos, su volumen (por desplazamiento de agua, en un recipiente diseñado para este fin, aplicando el principio de Arquímedes) y los pesos fresco y seco (en estufa ventilada a 65 °C, hasta peso constante), con una balanza de precisión (METLER PJ DELTA RANGE), con una precisión de 0.01 g.

La medida del color se realizó en frutos intactos sobre tres puntos equidistantes de la zona ecuatorial, mediante un colorímetro MINOLTA modelo CR-300, y se expresó como valores de CIE:  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . El color queda caracterizado según un sistema tridimensional en el que las tres coordenadas están correlacionadas con tres índices básicos para la apreciación del color:

HUE (tono o color base), Value (luminosidad) y CHROMA (saturación) (Comisión Internationale de L'Eclairage, 1978).

La luminosidad,  $L^*$ , corresponde al color blanco cuando su valor es 100 y 0 el negro. La cromaticidad (tono y croma) se indica por  $a^*$  y  $b^*$  conjuntamente,  $a^*$  representa el eje que va desde colores verdes ( $-a^*$ ) hasta colores rojos ( $+a^*$ ), y  $b^*$  representa el eje que evoluciona desde el azul ( $-b^*$ ) hasta el color amarillo ( $+b^*$ ).

El ángulo HUE ( $H^*$ ) (Shewfelt *et al.*, 1988) disminuye a medida que predomina el color rojo en el fruto:  $180^\circ$  corresponde al color verde puro y  $0^\circ$  al rojo. Viene dado por la expresión:

$$H^* = \arctg \frac{b^*}{a^*}$$

El CHROMA ( $C^*$ ) (Shewfelt *et al.*, 1988) representa la distancia desde el origen de coordenadas hasta el punto de color dado e indica la intensidad de color, se obtiene mediante la expresión:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2}$$

Además, se determinó la firmeza de los frutos por el método de compresión, para lo cual se utilizó una máquina de ensayos de tracción, compresión y flexión (LLOYD INSTRUMENTS, modelo TG-36) con platos de compresión rectangulares de carga máxima 5 kN y célula de carga mínima 50N. La máxima deformación del fruto fue de 5 mm, con la aplicación de una fuerza máxima de 20 N y una velocidad de ensayo de  $10 \text{ mm min}^{-1}$ . El resultado se expresó en N.

### ***Características químicas.***

Una submuestra de 20 frutos se troceó obteniéndose zumo, mediante licuadora, determinándose los siguientes parámetros:

El contenido de sólidos solubles se determinó con un refractómetro (ATAGO NI) a  $20^\circ\text{C}$ , expresando su concentración en grados Brix.

El pH del zumo se midió con un pH-metro (CRISON pH MV-METTER DIGIT 501), y la acidez mediante valoración con NaOH, 0.1 N, expresándose los resultados en % de ácido málico. El índice de madurez se calculó como el cociente entre sólidos solubles y acidez.

La determinación de ácidos orgánicos se realizó mediante HPLC, . Para ello las muestras de zumo se centrifugaron, a continuación se acidificaron a pH = 2 con ácido sulfúrico concentrado (no habiendo prácticamente variación de volumen) y se microfiltró con membrana de nylon de 0.45  $\mu\text{m}$ , para prevenir la aparición de turbidez. La cantidad de ácidos orgánicos en las muestras se cuantificaron preparando patrones de dichos ácidos, estableciendo una recta de calibrado de las áreas de pico cromatográfico frente a las concentraciones de los ácidos preparados.

Para la separación cromatográfica se utilizó un cromatógrafo SHIMADZU compuesto por dos bombas LC-6A, programador SLC-6A, válvula Rheodyne 7125 y detector de fotodiodos SPD-M6A. La columna utilizada fue de intercambio iónico, Ión 300 (300 x 7.8 mm) de INTERACTION CHEMICALCS Inc. Las condiciones de trabajo se optimizaron previamente, operando a una temperatura de  $78 \pm 1$  °C. La fase móvil fue agua acidulada con sulfúrico concentrado ( $160 \text{ mM l}^{-1}$ ), en condiciones isocráticas y con un flujo de  $0.7 \text{ ml min}^{-1}$ . La detección se realizó a 214 nm (Almela *et al.*, 1997).

Para la determinación de los pigmentos fotosintéticos se trituroó una muestra con acetona en un politrón, hasta la extracción de todos los pigmentos y la decoloración total del sólido. La muestra se filtró a través de un embudo de placa porosa, realizándole vacío y aforando hasta un volumen conocido. Para prevenir la turbidez la muestra se centrifugó. Las medidas se llevaron a cabo mediante un espectrofotómetro ultravioleta visible (HITACHI, modelo U-2000) provisto de doble monocromador y de doble red de difracción, con una resolución espectral de 0.15 nm, chequeada y corregida de forma automática mediante un filtro de calibración interna, detectando de forma automática las longitudes de onda de los máximos de absorbancia.

Para la cuantificación de la clorofila a y b se han utilizado las ecuaciones propuestas por Lichtenthaler y Wellburn (1983), que permiten el cálculo utilizando las medidas de absorbancia ( $A_b$ ) a sus máximos de longitud de onda respectivos:

$$\text{Clorofila a } (\mu\text{g ml}^{-1}) = 12.21 A_{663} - 2.81 A_{646}$$

$$\text{Clorofila b } (\mu\text{g ml}^{-1}) = 20.13 A_{646} - 5.03 A_{663}$$

La concentración de carotenoides de un extracto vegetal puede expresarse como  $\beta$ -caroteno, para lo que se mide su absorción a 453, considerando un valor para el coeficiente de extinción específico de 2592, aplicando la siguiente ecuación:

$$\beta - \text{caroteno} = \frac{V \cdot Ab}{2592 \cdot 100 \cdot P}$$

donde V es el volumen de aforo y P el peso de la muestra. La concentración viene expresada en  $\mu\text{g g}^{-1}$  de peso fresco.

### 3.4.6. Producción y calidad.

La recolección se realizó de forma escalonada, en diferentes fechas, atendiendo a criterios de calidad y necesidades de mercado. La producción en cada fecha de recolección fue evaluada pesando los frutos recolectados en los 5 árboles testigo de cada bloque y tratamiento.

El peso medio del fruto se determinó pesando y contando el número de frutos contenidos en 5 cajas por bloque ( $\approx 22 \text{ kg caja}^{-1}$ ).

En muestras de 20 frutos tomadas de cada bloque, en las distintas fechas de recolección, se realizaron medidas de las características físicas y químicas según la metodología indicada anteriormente.

**4. Evaluación de la resistencia al encharcamiento de dos portainjertos.**

## 4.1. Introducción.

La ocurrencia de períodos de sequía seguidos de intensas precipitaciones es característica del clima mediterráneo. Este hecho se ha visto agravado por las alteraciones climáticas asociadas a los cambios globales que se han venido produciendo en los últimos años y que parecen afectar sensiblemente al régimen pluviométrico en muchos países.

Tras una lluvia intensa y en suelos con deficiente drenaje se produce inundación de los suelos de forma que los espacios porosos son completamente ocupados por el agua. El desplazamiento del aire por el agua provoca una disminución de los niveles de O<sub>2</sub> disuelto (hipoxia) produciendo en las plantas cultivadas una situación de estrés. Dependiendo de la severidad de la deficiencia de O<sub>2</sub>, las plantas, aún siendo susceptibles, pueden sobrevivir durante períodos prolongados (Crawford, 1977).

La respuesta al estrés por inundación incluye cambios metabólicos, hormonales, morfológicos y fisiológicos, siendo característica la acumulación de etileno, el cierre estomático, la detención del crecimiento, marchitez, cambios en el ángulo de inserción foliar y formación de raíces adventicias, entre otros (Bradford y Yang, 1981; Fitter y Hay, 1987; Kramer, 1983).

En frutales, la resistencia a la deficiencia de oxígeno en las raíces viene determinada en gran parte por las características del portainjerto empleado. En el caso del albaricoquero se han citado diferencias entre los patrones comúnmente empleados, con relación al grado de aireación del suelo tolerado (Crossa-Raynaud y Audergon, 1987; Egea, 1970, 2000).

Los objetivos de este capítulo se centran en el estudio de los efectos del estrés por inundación del suelo sobre las relaciones hídricas y el crecimiento vegetativo de plantas jóvenes de albaricoquero Búlida, injertadas sobre patrón franco y de ciruelo y en evaluar el efecto del portainjerto empleado en el grado de resistencia de dichas plantas a la inundación.

## 4.2. Material y Métodos.

### 4.2.1. Condiciones experimentales.

El ensayo se realizó en la finca experimental del CEBAS-CSIC, situada en el Campo de la Matanza, Santomera (Murcia), durante el final del verano de 1999, utilizándose plantones de albaricoquero (*Prunus armeniaca* L.) cv.

Búlida, injertados en vivero sobre dos patrones: franco de Real Fino (F) y ciruelo Pollizo de Murcia (C) (*Prunus insititia*).

Los plantones, con injerto de un año de edad, se plantaron en macetas de 35 litros (40 cm de diámetro) en enero de 1999, utilizándose una mezcla de suelo, procedente de la capa arable de una zona típica de cultivo de albaricoquero, de textura franco-arcillosa y turba, alcanzando dicha mezcla un contenido en materia orgánica del 4.19 %, con un poder clorosante elevado y un bajo nivel de toxicidad por cloruros (Tabla 4.1).

Los plantones fueron regados por goteo, mediante un único lateral por hilera de plantas, colocando un gotero autocompensante por árbol, de caudal 4 l h<sup>-1</sup>. El agua de riego utilizada procede del Trasvase Tajo-Segura y es clasificada como muy dura (62 °F), con una conductividad eléctrica media de 1.51 dS m<sup>-1</sup>. Se trata de un agua que presenta una buena aptitud para el riego, con bajo riesgo de salinización y ausencia de riesgos de disminución de la permeabilidad del suelo (datos no mostrados).

Cada siete días en primavera-verano y quince en otoño-invierno se abonaron los plantones totalizándose las cantidades siguientes por planta y año: 65 g N, 48 g K<sub>2</sub>O, 72 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 1.5 g Fe (Fe-EDDHA). Hasta el comienzo del ensayo el riego fue diario manteniendo un potencial matricial de agua en el suelo ( $\Psi_m$ ) próximo a -20 kPa, controlado a partir de lecturas de tensiómetros colocados a 15 cm de profundidad.

**Tabla 4.1.** Análisis de suelo de las macetas utilizadas en el ensayo.

<b>Análisis granulométrico</b>		
Arena gruesa (2 - 0.25 mm)	7.50	%
Arena fina (0.25 – 0.05 mm)	8.90	%
Limo (0.05 – 0.002 mm)	49.20	%
Arcilla (< 0.002 mm)	34.40	%
<b>Propiedades fisico-químicas</b>		
C.E. (1:5)	0.43	dS m <sup>-1</sup>
C.C.C.	163.00	mmol (½ Ba) kg <sup>-1</sup>
<b>Propiedades físicas</b>		
Materia orgánica oxidable	4.19	%
Carbonato cálcico total	45.00	%
Carbonato cálcico activo	15.90	%
Fósforo asimilable	0.71	mmol kg <sup>-1</sup>
Potasio asimilable	10.70	mmol kg <sup>-1</sup>
Sodio soluble	1.50	mmol kg <sup>-1</sup>
Cloruros	2.00	mmol kg <sup>-1</sup>
Sulfatos	7.55	mmol (yeso) kg <sup>-1</sup>

#### 4.2.2. Tratamientos.

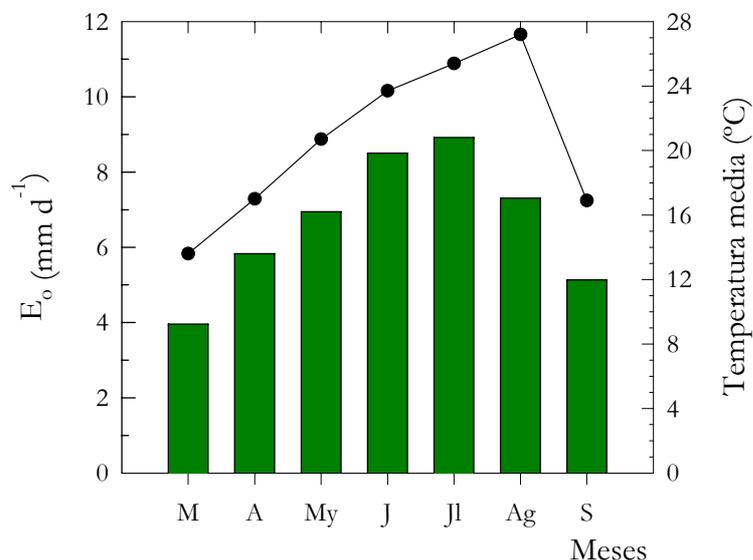
El 25 de julio de 1999 se aplicaron 3 tratamientos a cada portainjerto, de 10 plantas cada uno de ellos. Un tratamiento control, T0, regado por goteo, manteniéndose las lecturas tensiométricas en torno a  $-20$  kPa y dos tratamientos de encharcamiento, T1, con un tiempo de inundación de 3 días y T2, de 6 días. Durante el período de inundación, las macetas se sumergieron en balsas llenas de agua, en la misma parcela. Las balsas se habían preparado previamente colocando una lámina de butilo negro en unas zanjas de unos 70 cm de profundidad, y llenándolas de agua (Fotografía 4.1). El nivel del agua fue mantenido 3-4 cm por encima de la superficie de las macetas durante todo el período de inundación.



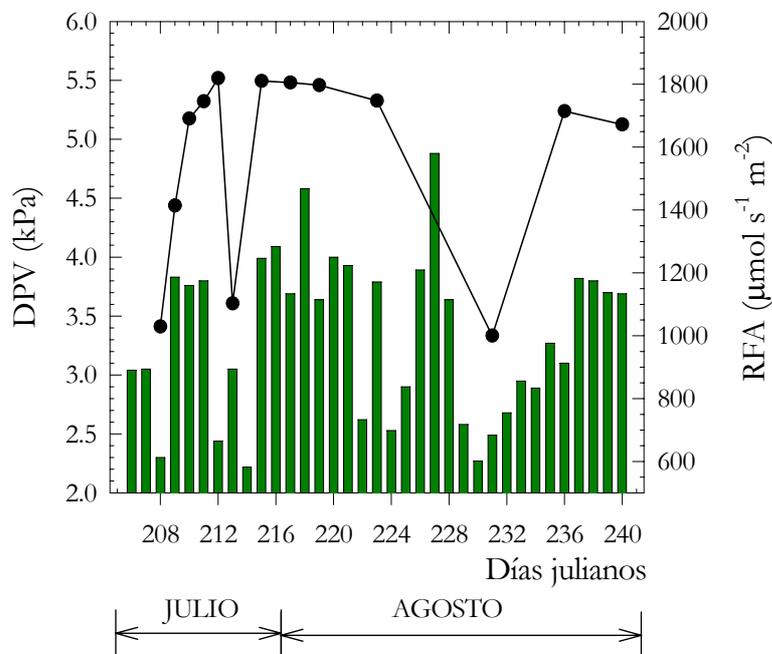
**Fotografía 4. 1.** Vista general de las balsas de inundación.

Tras el período de inundación las macetas se sacaron de las balsas y después de dejarlas drenar libremente se colocaron en idénticas condiciones a las de las plantas control. El riego se inició cuando el potencial matricial cayó por debajo de los  $-45$  kPa, lo cual sucedió a los 3 días del fin de la inundación en las macetas del tratamiento T1 y a los 4 días en las del T2.

Las condiciones climáticas durante el período del ensayo (julio-septiembre, 1999) fueron las típicas del clima mediterráneo, con una evaporación media diaria entre 3 y 9  $\text{mm día}^{-1}$ , correspondiendo el máximo al mes de julio (Figura 4.1). El déficit de presión de vapor máximo diario (a mediodía solar) osciló entre 2.1 y 4.8 kPa, durante el período experimental (Figura 4.2).



**Figura 4.1.** Temperatura media mensual (°C, ) y evaporación de cubeta clase A, media mensual ( $E_o$ , mm día<sup>-1</sup>, ) en la finca experimental. 1999.



**Figura 4.2.** Niveles diarios a mediodía del déficit de presión de vapor (DPV, kPa, ) y radiación fotosintéticamente activa (RFA,  $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ , ) durante el período experimental. 1999.

### 4.2.3. Medidas.

Con un intervalo diario durante el período de inundación y de 2-4 días durante el de recuperación, se controlaron los siguientes parámetros, siguiendo la metodología descrita en el capítulo 3.

#### *Suelo*

El potencial matricial del agua en el suelo ( $\Psi_m$ ) se midió con tensiómetros de vacuómetro tipo Bourdon instalados a 15 cm de profundidad, en tres macetas por tratamiento.

El contenido de oxígeno en la solución del suelo se midió con un oxímetro en muestras extraídas mediante sondas de succión (5 cm diámetro) instaladas a 15 cm de profundidad en tres macetas de cada tratamiento y portainjerto.

#### *Planta*

Las necesidades de agua de las plantas fueron estimadas mediante pesada, usando una balanza OHAUS (modelo 3150510), con sensibilidad de 0.005 kg, controlando las variaciones de peso cada 24 horas, partiendo de macetas a capacidad de campo y cuando el drenaje hubo cesado. El consumo medio de agua de las plantas durante el ensayo fue de 1.93 l planta<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, para el tratamiento control.

El estado hídrico de la planta fue evaluado a partir de medidas del potencial hídrico foliar antes del alba ( $\Psi_a$ ) y a mediodía ( $\Psi_{md}$ ) utilizando una cámara de presión. Las medidas se realizaron en tres plantas por tratamiento y portainjerto. El potencial osmótico actual ( $\Psi_o$ ) fue medido en las mismas hojas que  $\Psi_a$ , con un osmómetro de presión de vapor. El potencial de presión antes del alba ( $\Psi_p$ ) fue calculado por diferencia entre el potencial hídrico foliar ( $\Psi_a$ ) y el potencial osmótico actual ( $\Psi_o$ ). El potencial osmótico a máxima turgencia ( $\Psi_{os}$ ) fue determinado en hojas saturadas al alba, con osmómetro.

La conductancia foliar ( $g_l$ ), transpiración foliar (TR), concentración interna de CO<sub>2</sub> (Ci) y la fotosíntesis neta (Fn) fueron medidas a mediodía en 6 hojas sanas y soleadas de cada portainjerto y tratamiento (2 hojas por planta) usando un aparato de intercambio gaseoso portátil.

La epinastia se evaluó midiendo ángulo de inserción foliar (AIF) con un transportador de ángulos, en 5 hojas por planta y 3 plantas por tratamiento y portainjerto.

La temperatura de la cubierta vegetal ( $T_t$ ) fue medida a mediodía solar con una pistola de infrarrojos, realizando 4 medidas en 3 plantas por tratamiento y portainjerto.

La estimación de la resistencia del suelo más la de la planta al flujo del agua ( $R_{s+p}$ ) se realizó a partir de la ecuación:  $R_{s+p} = \Psi_{md} / TR$  (Sands y Theodorou, 1948).

La conductividad hidráulica de las raíces ( $L_p$ ) se calculó, al final de cada período de inundación, mediante la metodología descrita por Ramos y Kaufmann (1979), determinándose la longitud de las raíces mediante un sistema de análisis de imagen (DELTA-T Devices Ltd.), en 3 plantas de cada tratamiento y portainjerto.

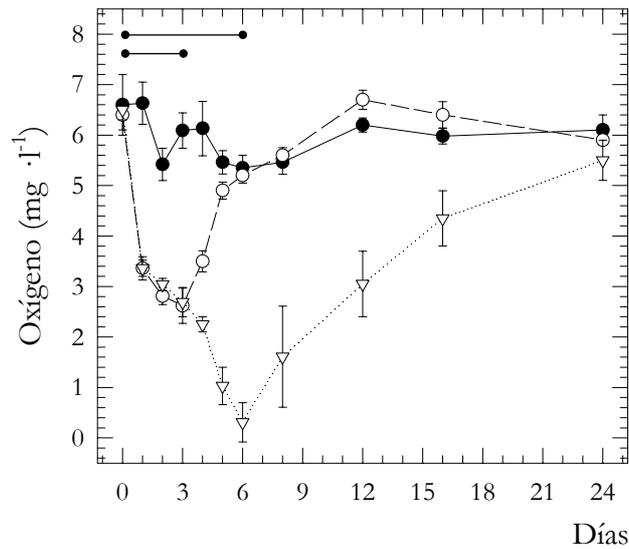
El desarrollo vegetativo se evaluó sobre la base del crecimiento del diámetro del tronco, medido a unos 10 cm por encima del punto del injerto, y de los brotes (4 brotes por planta), con medidas realizadas en todas las plantas, al inicio del ensayo, al final de los períodos de inundación y final de la recuperación, con un calibre digital CRAFTSMAN. Además antes del comienzo de la aplicación de los tratamientos y al final de la recuperación, se seleccionaron 3 árboles por tratamiento y portainjerto, los cuales se separaron en hojas, brotes, troncos y raíces, determinándose los pesos fresco y seco (en estufa a 60 °C) de cada muestra. El área foliar media y total fue determinada utilizando el sistema de análisis de imagen anteriormente citado.

### 4.3. Resultados y Discusión.

#### 4.3.1. Relaciones hídricas.

La evolución del contenido de oxígeno disuelto en la solución de suelo mostró niveles estables en los árboles del tratamiento control, en torno a 6 mg l<sup>-1</sup> durante el período experimental (Figura 4.3). Dado que no se detectaron diferencias significativas por efecto del portainjerto, los datos presentados son la media de ambos.

Desde el inicio de la inundación se produjo una rápida y progresiva disminución del contenido de oxígeno, la cual fue muy importante el primer día, con una reducción de casi el 50 % respecto al tratamiento no inundado, alcanzándose concentraciones de alrededor de 2.5 mg l<sup>-1</sup> al final del tratamiento T1 y cercanos a 0.5 mg l<sup>-1</sup> en el T2, quedando patente que el efecto primario de la inundación es la limitación de la disponibilidad de oxígeno para las raíces (Meek *et al.*, 1983).



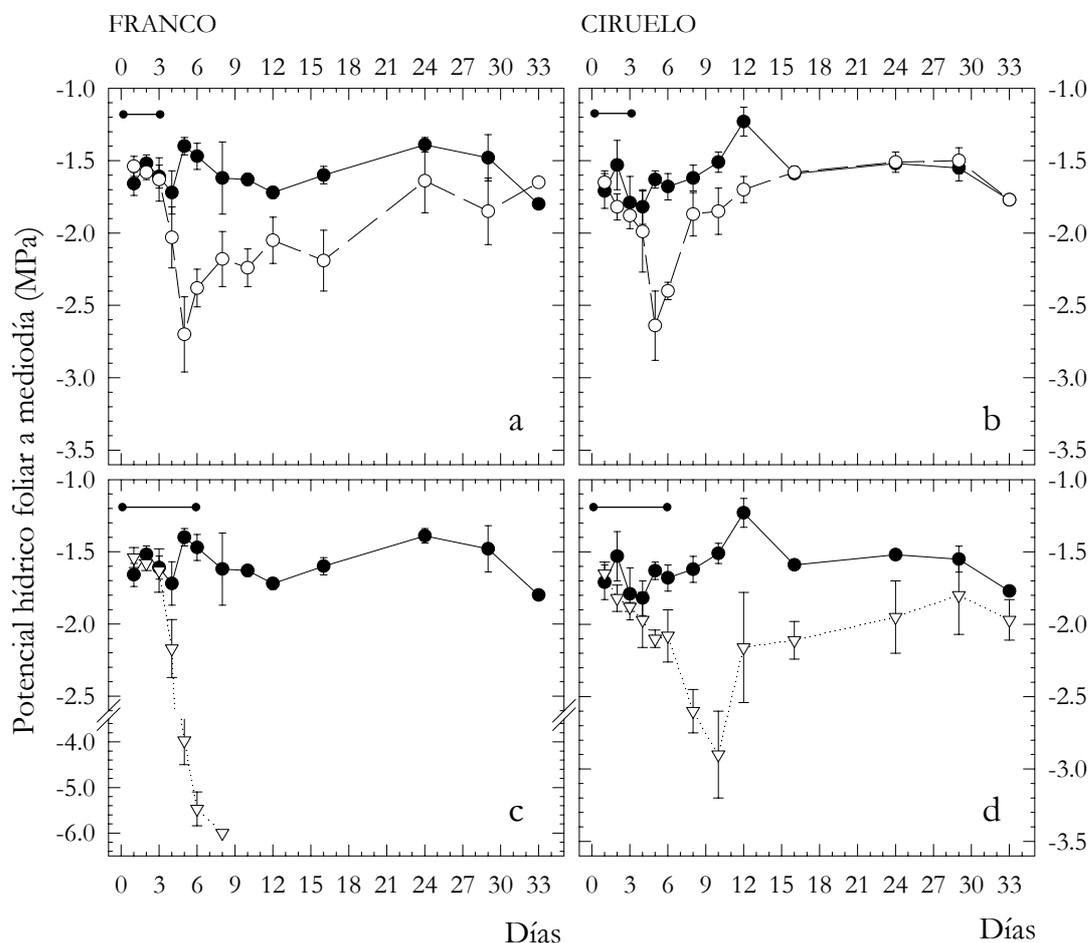
**Figura 4.3.** Evolución de la concentración de  $O_2$  disuelto en la solución de suelo, en los tratamientos control (T0,  $\bullet$ ) y de inundación durante 3 (T1,  $\circ$ ) y 6 (T2,  $\triangle$ ) días, para los dos portainjertos, durante el período experimental. Los puntos corresponden a la media de 6 repeticiones  $\pm$  ES.  $\square$  período de inundación.

La recuperación del  $O_2$  disuelto se produjo de una forma lenta para el tratamiento T2 (15 días). Similar período de recuperación se observó en limoneros inundados durante 8 días, en donde la concentración de oxígeno en la solución de suelo se mantuvo baja y constante desde los días 2 al 8 del período de estrés (Ruiz-Sánchez *et al.*, 1996). En el tratamiento T1 se necesitaron sólo 3 días para alcanzar niveles de  $O_2$  similar al de las macetas no inundadas (Figura 4.3).

Los niveles de potencial hídrico foliar a mediodía ( $\Psi_{md}$ ) en las plantas control presentaron ligeras oscilaciones durante el período experimental, con valores medios similares en los dos portainjertos (Figura 4.4).

Durante los tres primeros días del período de inundación  $\Psi_{md}$  se mantuvo en niveles similares a los de las plantas no inundadas en ambos portainjertos. El día 4 (1<sup>er</sup> día de recuperación para el tratamiento T1 y 4<sup>o</sup> de inundación para el T2) se pueden observar diferencias, de forma que mientras que en las plantas sobre ciruelo el potencial hídrico se mantiene aún en valores similares estadísticamente a los de las plantas del tratamiento control (Figura 4.4b, d), las injertadas sobre franco muestran un descenso de  $\Psi_{md}$ , si bien sólo significativo para el caso del tratamiento T2 (Figura 4.4a, c).

Los valores mínimos de  $\Psi_{md}$  para el tratamiento T1 se alcanzaron dos días después de finalizado el período de inundación (día 5), con valores en torno a -2.7 MPa para los dos portainjertos (Figura 4.4a, b).



**Figura 4.4.** Evolución del potencial hídrico foliar a mediodía ( $\Psi_{md}$ ) en albaricoqueros jóvenes injertados sobre franco (a, c) y ciruelo (b, d) en los tratamientos control (T0,  $\bullet$ ) y de inundación durante 3 (T1,  $\circ$ ) y 6 (T2,  $\triangle$ ) días durante el período experimental. Los puntos corresponden a la media de 3 repeticiones  $\pm$  ES.  $\square$  período de inundación.

Para el tratamiento T2 de las plantas injertadas sobre ciruelo, el  $\Psi_{md}$  se mantuvo en niveles estables entre los días 4 a 6, alcanzando un valor mínimo de -2.9 MPa el día 10 (4° después del fin de la inundación)(Figura 4.4.d). Sin embargo, las plantas sobre patrón franco mostraron un acusado descenso de  $\Psi_{md}$ , con valores por debajo de -6.0 MPa (Figura 4.4c), provocando la muerte de todas las plantas, mientras que sólo una planta del T2 de ciruelo murió.

La recuperación de los valores del potencial hídrico, tras el período de inundación fue lenta. Para el tratamiento T1 ésta sucedió antes en las plantas sobre ciruelo que sobre franco, necesitando 13 y 21 días, respectivamente, para alcanzar niveles similares a los de las plantas control (Figura 4.4a, b). En

las plantas sobre ciruelo inundadas 6 días (T2)  $\Psi_{md}$  alcanzó niveles similares a los de las plantas no inundadas a los 23 días de finalizado el estrés (Figura 4.4d).

El potencial hídrico foliar antes del alba ( $\Psi_a$ ), medido al inicio y al final de los dos períodos de inundación (Figura 4.5), mostró una pauta similar a la observada en las medidas realizadas a mediodía (Figura 4.4), confirmando el mantenimiento del potencial hídrico y sus componentes en niveles similares al tratamiento control en los momentos iniciales de la inundación (día 3).

El día 6, final del período de inundación del T2, se observa una disminución importante de  $\Psi_a$  en las plantas injertadas sobre franco, siendo más leve en las plantas sobre ciruelo ( $\Psi_a = -1.5$  MPa). La disminución del potencial osmótico actual ( $\Psi_o$ ) en estos momentos de estrés no es capaz de compensar la deshidratación, produciéndose una disminución de la turgencia foliar ( $\Psi_p$ ), la cual es nula en el caso del tratamiento T2. Al final del período de inundación del T2 (día 6), las plantas injertadas sobre ciruelo presentaron un menor estrés que las del tratamiento T1, que se encontraba en fase de recuperación (Figura 4.5).

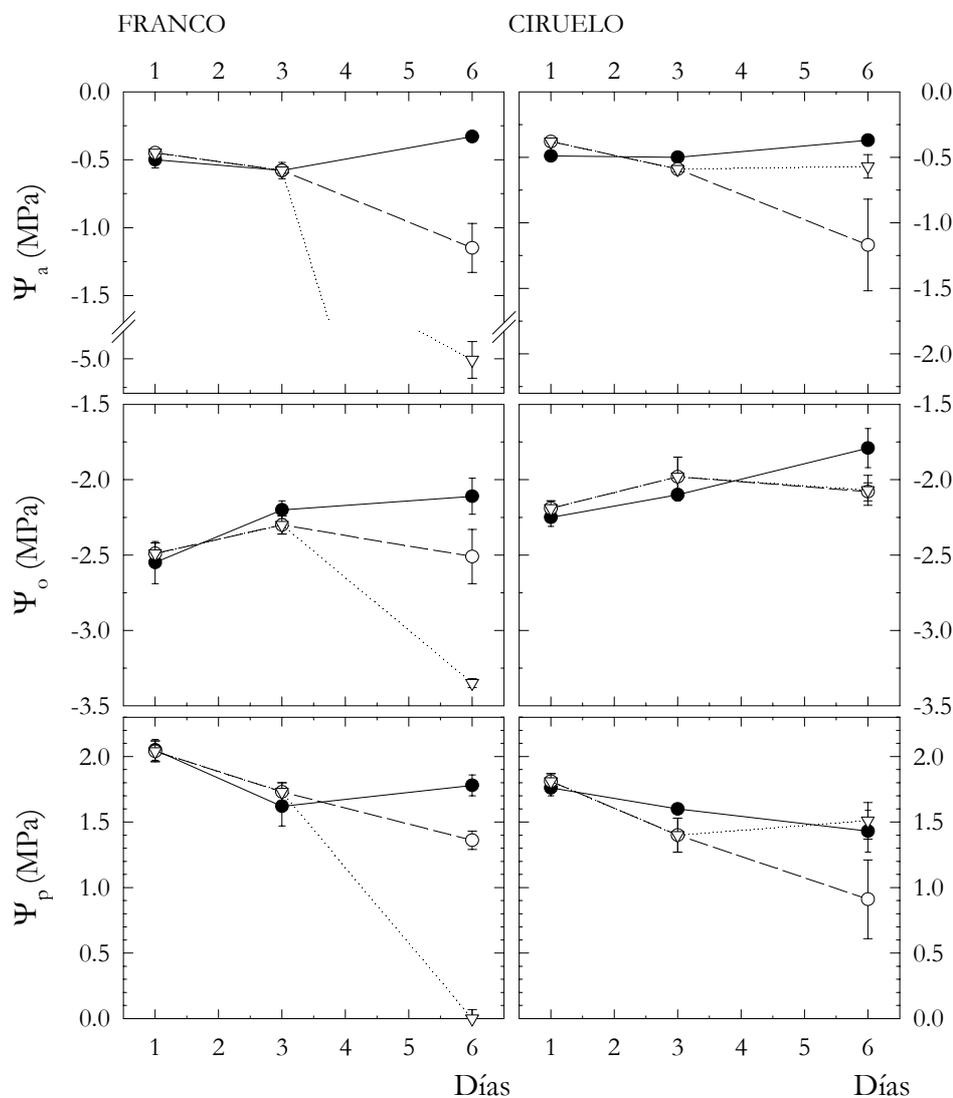
El potencial osmótico a máxima saturación ( $\Psi_{os}$ ) fue similar en ambos portainjertos, no observándose ajuste osmótico por efecto de la inundación, con valores  $\approx -1.8$  MPa en todos los tratamientos (datos no mostrados).

Los albaricoqueros injertados sobre ciruelo mostraron niveles de conductancia foliar ( $g_i$ ) ligeramente superiores a los injertados sobre franco (Figura 4.6). Este parámetro presentó una mayor sensibilidad que el potencial hídrico a las condiciones de exceso de humedad en el suelo, ya que la reducción de  $g_i$  fue significativa desde el primer día, en las plantas injertadas sobre franco (Figura 4.6a) y desde el segundo en las de ciruelo (Figura 4.6b).

Los valores mínimos de  $g_i$  coincidieron con los mínimos de potencial hídrico foliar (Figura 4.4), el día 5 para el tratamiento T1, con una reducción media del 70 % respecto del control (Figura 4.6a, b), y el día 10 para el T2 de ciruelo, con una reducción del 82 % (Figura 4.6d). La conductancia foliar se estabilizó a los 3-5 días de la inundación, similar a lo encontrado en plantas inundadas de tomate (Else *et al.*, 1995). Las plantas injertadas sobre franco sometidas a inundación durante 6 días mostraron valores cercanos al cierre estomático a partir del día 5 (Figura 4.6c).

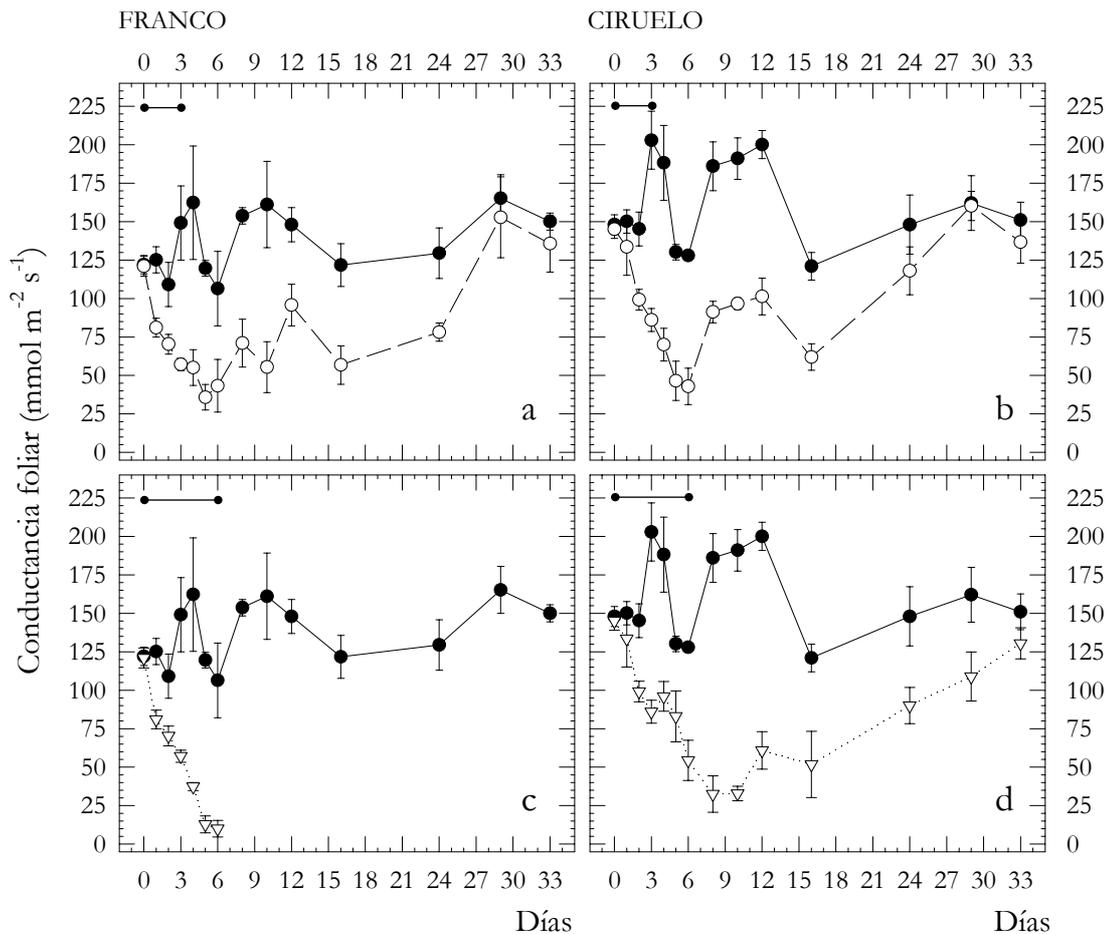
La disminución de  $g_i$  es una de las respuestas fisiológicas más rápidas ante condiciones de inundación en frutales (Davies y Flore, 1986; Larson *et al.*, 1991; Schaffer y Ploetz, 1989; Smith y Ager, 1988; Syvertsen *et al.*, 1983),

citándose descensos significativos de  $g_l$  y  $F_n$  desde el inicio de la inundación (Andersen *et al.*, 1984; Crane y Davies, 1989).



**Figura 4.5.** Evolución del potencial hídrico foliar al alba ( $\Psi_a$ ), potencial osmótico actual ( $\Psi_o$ ) y potencial de turgencia foliar ( $\Psi_p$ ) en albaricoqueros jóvenes injertados sobre franco y ciruelo en los tratamientos control (T0,  $\bullet$ ) y de inundación durante 3 (T1,  $\circ$ ) y 6 (T2,  $\nabla$ ) días. Los puntos corresponden a la media de 3 repeticiones  $\pm$  ES.

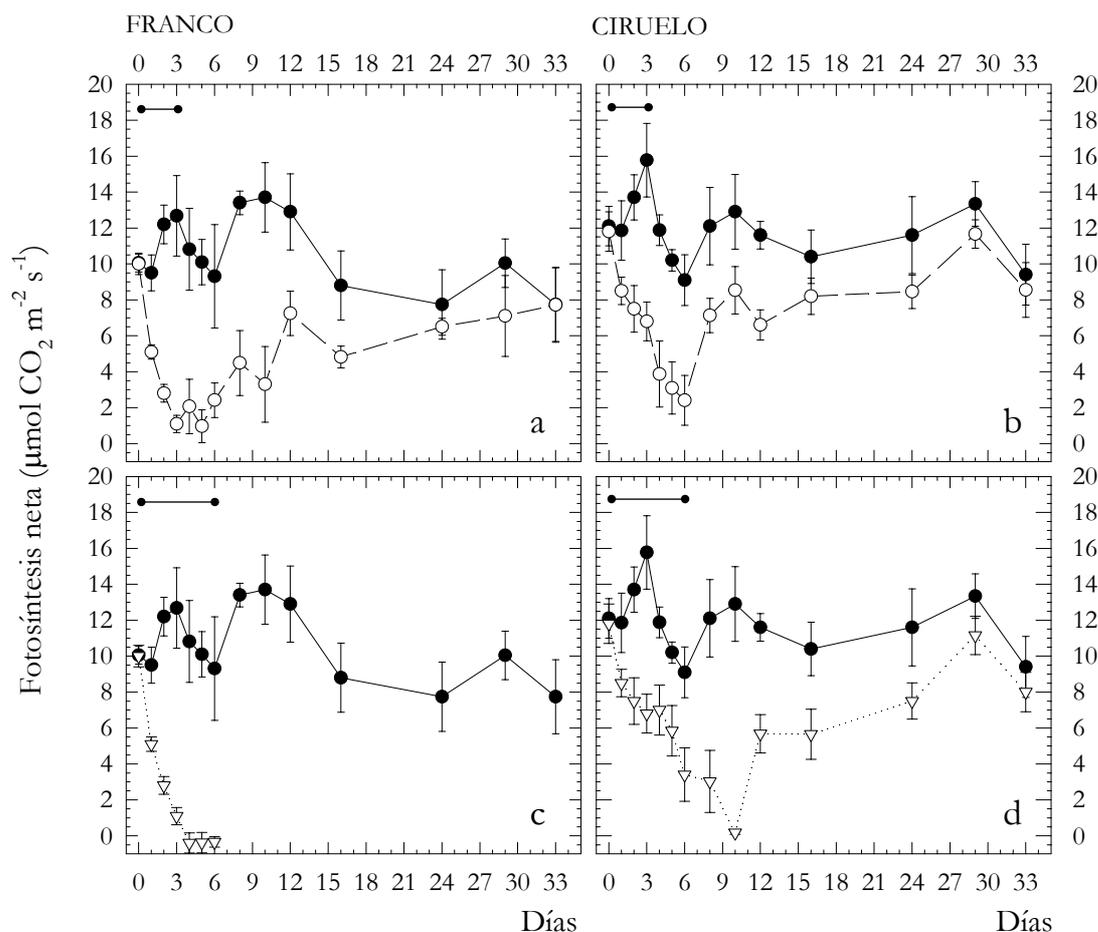
En las plantas inundadas la recuperación de la conductancia foliar fue progresiva (Figura 4.6), sucediendo la recuperación total con posterioridad a la del potencial hídrico (Figura 4.4).



**Figura 4.6.** Evolución de la conductancia foliar ( $g_l$ ) en albaricoqueros jóvenes injertados sobre franco (a, c) y ciruelo (b, d) en los tratamientos control (T0,  $\square$ ) y de inundación durante 3 (T1,  $\bullet$ ) y 6 (T2,  $\nabla$ ) días durante el período experimental. Los puntos corresponden a la media de 3 repeticiones  $\pm$  ES.  $\square$  período de inundación.

Es de destacar, que durante el período de recuperación la dinámica de  $g_l$  fue similar a la de las plantas control, presentando ligeras oscilaciones, las cuales son debidas a los cambios en las condiciones ambientales, tanto en la intensidad luminosa, como en el déficit de presión de vapor (Figura 4.2). En este sentido, Crane y Davies (1988) señalan que bajo períodos cortos de inundación (2-7 días) la conductancia foliar de arándanos se acerca a cero, pero es capaz de responder a los cambios de la demanda del ambiente, mientras que para períodos más largos,  $g_l$  se mantiene baja y no responde a los cambios medioambientales.

Los niveles de fotosíntesis neta ( $F_n$ ) mostraron un comportamiento similar al de la conductancia foliar, con niveles globales más altos en las plantas injertadas sobre ciruelo que las de franco y una mayor reducción de  $F_n$ , con respecto al tratamiento control, en estas últimas (Figura 4.7a, b).



**Figura 4.7.** Evolución de la fotosíntesis neta (Fn) en albaricoqueros jóvenes injertados sobre franco (a, c) y ciruelo (b, d) en los tratamientos control (T0, ●) y de inundación durante 3 (T1, ○) y 6 (T2, △) días durante el período experimental. Los puntos corresponden a la media de 3 repeticiones  $\pm$  ES. — período de inundación.

En el tratamiento de inundación de 6 días (T2) de franco, los niveles de Fn al 4º día fueron negativos, indicando los graves efectos de la inundación en estas plantas (Figura 4.7c). La recuperación de la fotosíntesis neta (Figura 4.7) fue más rápida que la de la conductancia foliar (Figura 4.6) y coincidió con la del potencial hídrico (Figura 4.4).

La disminución de la fotosíntesis neta vino acompañada por un aumento en los niveles de CO<sub>2</sub> interno en ambos portainjertos (Tabla 4.2). Son numerosos los ensayos realizados en condiciones de encharcamiento, en los que la disminución en la fotosíntesis es atribuida de forma directa al cierre estomático (Kozłowski y Pallardi, 1984; Wong *et al.*, 1979). El aumento de la concentración interna de CO<sub>2</sub>, paralelo a la disminución de la fotosíntesis neta y la conductancia foliar indica que factores no estomáticos están afectando a la capacidad fotosintética de las plantas de albaricoquero bajo condiciones de inundación (Farquhar y Sharkey, 1982).

La ausencia de diferencias significativas en la turgencia celular (Figura 4.5) entre plantas inundadas y control el día 3 de inundación, en momentos en los que la conductancia foliar estaba afectada (Figura 4.6) induce a pensar que la regulación estomática no ocurre en respuesta a un déficit hídrico sino que es el resultado de la deficiencia de factores provenientes de las raíces, fundamentalmente hormonas tales como citoquininas o giberelinas, que promueven la apertura de los estomas (Bradford y Yang, 1981). Aumentos en el contenido de ácido abscísico han sido implicados también en la respuesta estomática de las plantas a la inundación (Wright, 1972).

**Tabla 4.2.** Niveles de CO<sub>2</sub> interno (Ci), epinastia y resistencia al flujo del agua del suelo y la planta (R<sub>s+p</sub>) en albaricqueros jóvenes injertados sobre ciruelo (C) y franco (F) en los tratamientos control (T0) y de inundación durante 3 (T1) y 6 (T2) días durante el período experimental.

Tiempo	Trat.	Ci (mg l <sup>-1</sup> )		Epinastia (°)		R <sub>s+p</sub> (MPa mol <sup>-1</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	
		C	F	C	F	C	F
0	T0	320.2	340.3	79.9	77.6	265.3	199.6
1	T0	308.9 a	337.6 a	78.2 a	76.5 a	251.5 a	259.4 a
	T1	350.9 a	358.7 a	81.2 a	79.7 a	284.5 a	385.0 a
3	T0	299.4 a	321.2 a	80.0 a	76.9 a	179.0 a	171.3 a
	T1*	423.5 b	458.0 b	77.1 a	76.5 a	470.0 b	582.1 b
6	T0	322.5 a	328.5 a	76.4 a	73.0 a	240.0 a	204.2 a
	T1	395.5 b	440.5 b	62.6 b	63.6 b	1200.0 c	1487.5 b
	T2*	411.0 b	569.4 c	62.0 b	54.0 b	547.4 b	10940.0 c
10	T0	336.0 a	320.3 a	79.1 a	76.3 a	158.9 a	183.2 a
	T1	313.8 a	401.4 b	66.3 b	61.1 b	493.6 b	640.0 b
	T2	462.2 b	-	68.2 b	-	1611.0 c	-
24	T0	353.3 a	342.7 a	75.0 a	75.0 a	180.9 a	185.3 a
	T1	351.6 a	356.0 a	70.5 a	71.3 a	191.1 a	334.7 b
	T2	357.3 a	-	72.7 a	-	464.3 b	-
33	T0	347.0 a	378.0 a	74.1 a	70.4 a	221.3 a	219.5 a
	T1	356.1 a	371.5 a	68.3 a	69.4 a	226.9 a	208.9 a
	T2	339.0 a	-	67.1 a	-	255.8 a	-

\*indica fin del período de inundación. Los valores corresponden a la media de 3 repeticiones. Las medias de cada parámetro, para cada día, seguidos de letras distintas indican la existencia de diferencias significativas, según el test de la MDS<sub>0.05</sub>.

El rápido cierre estomático promovido por la inundación ha sido mencionado en numerosos ensayos realizados tanto en cultivos herbáceos como leñosos. En ellos se indica que el potencial hídrico foliar de las plantas inundadas se ha mantenido igual e incluso mayor que el de plantas control. Parece claro, pues, que en las primeras fases de la inundación (Figuras 4.4 y

4.6) la regulación estomática tiene un impacto positivo en el balance hídrico foliar (Bradford y Hsiao, 1982b; Kozłowski y Pallardi, 1979; McNamara y Mitchell, 1989; Regehr *et al.*, 1975; Sojka y Stolzy, 1980).

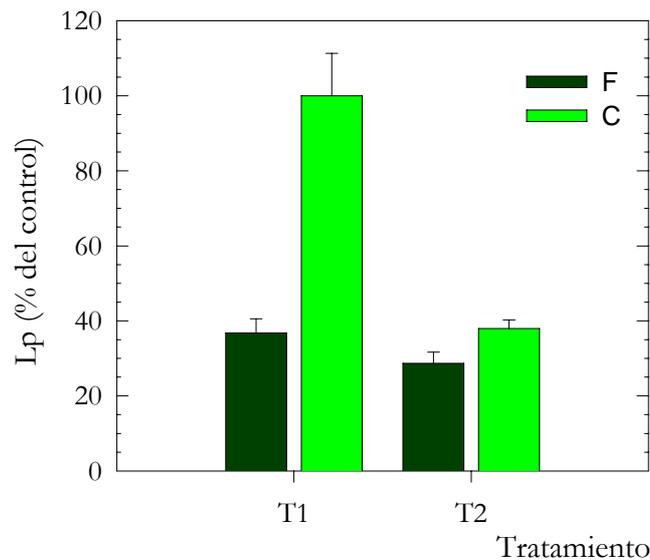
Las plantas de ambos portainjertos mostraron epinastia, es decir disminución del ángulo de inserción foliar (AIF), la cual fue significativa a partir del día 6 de inundación, en ambos portainjertos, tanto para las plantas inundadas del tratamiento T2, como las del T1, que estaban en fase de recuperación (Tabla 4.2). La mayor reducción del AIF se observó en las plantas sobre franco inundadas durante 6 días (T2), un 26 % respecto a las plantas control, frente al 19 % de las de ciruelo. La recuperación total del AIF ocurrió a los 24 días. La epinastia, es una de las respuestas a la inundación más evidentes, y ha sido citada en almendro (Sánchez-Blanco *et al.*, 1994), tomate (Bradford y Yang, 1981), etc., asignando al etileno el papel de mediador en esta respuesta (Jackson, 1980).

A partir del día 3 del período de inundación, la resistencia al flujo del agua del suelo y la planta ( $R_{s+p}$ ) en ambos portainjertos aumentó significativamente (Tabla 4.2). Las plantas injertadas sobre franco mostraron un mayor y más anticipado aumento de  $R_{s+p}$  que las de ciruelo, debiendo destacar que el valor máximo no coincidió con el final de la inundación. Las plantas sobre ciruelo del tratamiento T2 presentaban al final del período de inundación valores más bajos de  $R_{s+p}$  que las del tratamiento T1, que ya se encontraban fuera de las balsas, en período de recuperación (Tabla 4.2). De forma similar a lo observado en la conductancia foliar (Figura 4.6), la recuperación de la resistencia fue lenta, si bien ocurrió de forma más rápida en las plantas sobre patrón de ciruelo que las de franco (Tabla 4.2).

Las determinaciones de conductividad hidráulica de la raíz ( $L_p$ ), realizadas al final de ambos períodos de inundación, indicaron una mayor reducción en las plantas injertadas sobre franco (Figura 4.8), con valores en el tratamiento control de 170 y 90  $\mu\text{g MPa}^{-1} \text{m}^{-1} \text{s}^{-1}$ , para las plantas sobre franco y ciruelo, respectivamente.

En las plantas sobre ciruelo  $L_p$  sólo disminuyó al final del período de inundación de 6 días (T2).

Queda claro que el estrés causado por la inundación del suelo reduce la permeabilidad al agua de las raíces, aumentando la resistencia a la absorción de agua (Bradford y Yang, 1981; Zhang y Tyerman, 1991). Bajo estas condiciones es de esperar que, si las pérdidas de agua en las hojas exceden al suministro desde las raíces, se produzca un descenso del potencial hídrico, como así sucedió (Figura 4.4).



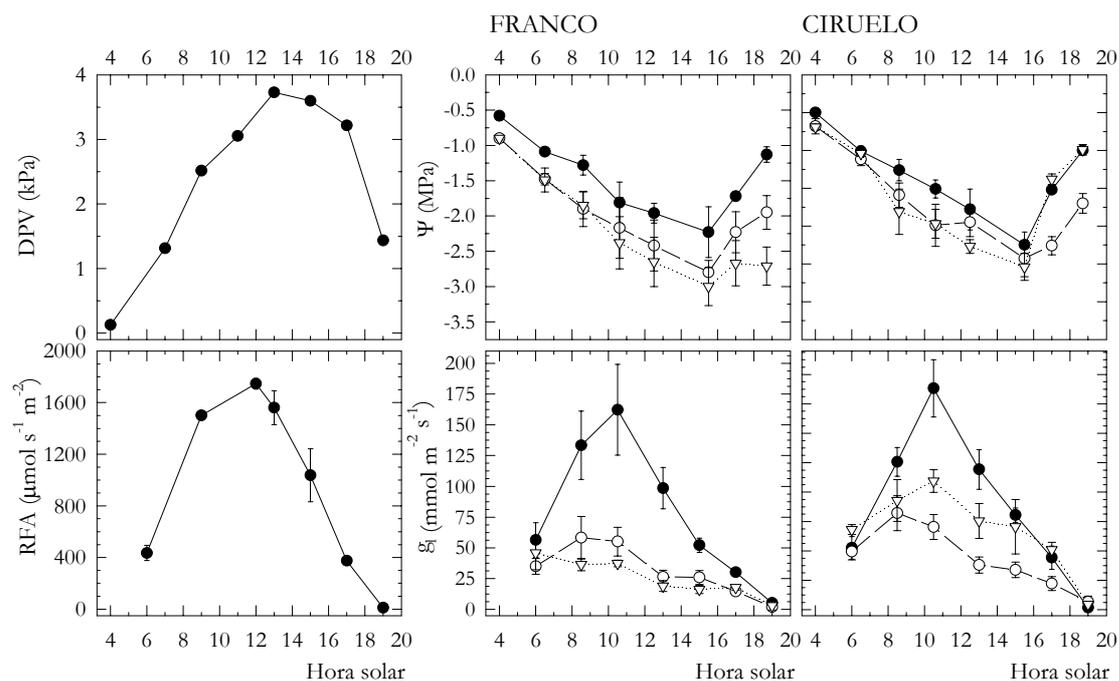
**Figura 4.8.** Conductividad hidráulica de la raíz ( $L_p$ ), en porcentaje respecto del tratamiento control, en albaricoqueros jóvenes injertados sobre franco (F) y ciruelo (C) en los tratamientos de inundación durante 3 (T1) y 6 (T2) días, al final de cada período de inundación. Cada barra corresponde a la media de 3 repeticiones + ES.

A fin de profundizar en los comportamientos observados, en las figuras 4.9 y 4.10 se recogen los resultados de la evolución diaria de los parámetros de las relaciones agua-planta, realizada el día 4 del período de estrés, correspondiente al primer día de recuperación del tratamiento T1 y al 4º día de inundación del tratamiento T2.

La conducta circadiana del potencial hídrico ( $\Psi$ ), con valores máximos antes del alba y mínimos a mediodía solar (Figura 4.9), sigue la pauta impuesta por la demanda evaporativa de la atmósfera (DPV, Figura 4.9) y es un comportamiento típico de las plantas cultivadas (Sánchez-Blanco *et al.*, 1990; Tenhunen *et al.*, 1982; Torrecillas *et al.*, 1988a).

Las plantas de los tratamientos T1 y T2, injertadas sobre franco, mostraron durante todo el día valores de  $\Psi$  más negativos que el de las plantas no inundadas, sin diferencias entre ambos tratamientos. En las plantas sobre ciruelo las diferencias entre tratamientos fueron menores.

Es de destacar que, en las plantas sobre franco, las mayores diferencias entre plantas inundadas y control se observa en los valores de las últimas horas de la tarde (Figura 4.9), indicando los efectos acumulados del estrés y cómo a partir del día 4 de inundación se producen los mayores descensos del potencial hídrico (Figura 4.4).



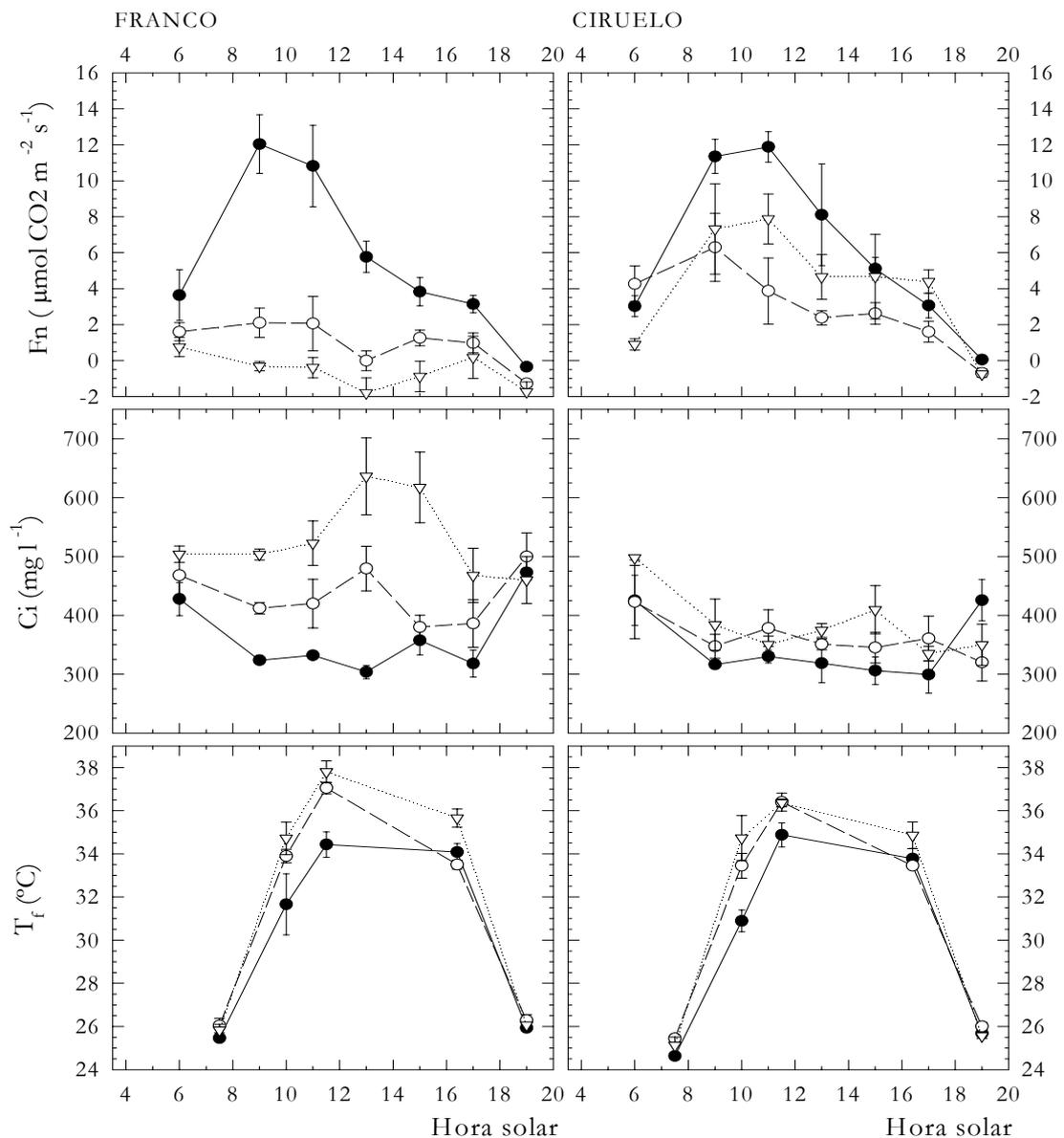
**Figura 4.9.** Evolución del déficit de presión de vapor (DPV), radiación fotosintéticamente activa (RFA), potencial hídrico ( $\Psi$ ) y conductancia foliar ( $g$ ) en albaricoqueros jóvenes injertados sobre franco y ciruelo en los tratamientos control (T0,  $\bullet$ ) y de inundación durante 3 (T1,  $\circ$ ) y 6 (T2,  $\nabla$ ) días. Los puntos corresponden a la media de 3 repeticiones  $\pm$  ES. 28 julio, 1999.

Los niveles de conductancia foliar en el tratamiento control siguen una dinámica de apertura y cierre de los estomas paralela a la de la intensidad luminosa (Figura 4.9), con máximos en torno a mediodía solar. En las plantas de ambos tratamientos de inundación injertadas sobre franco mostraron niveles de  $g$  bajos durante la mayor parte del día, con una ligera apertura estomática en las primeras horas del día. Similar comportamiento presentaron las plantas inundadas injertadas sobre ciruelo. Esta reducción en el máximo grado de apertura estomática es una respuesta común ante situaciones de estrés hídrico (Henson *et al.*, 1982). Sin embargo, las plantas inundadas sobre ciruelo mostraron niveles de conductancia más altos que las de franco, destacando los inferiores niveles de las plantas del tratamiento T1, en fase de recuperación, que las del T2 (4<sup>o</sup> día de inundación).

Los efectos más graves de la inundación en las plantas injertadas sobre franco quedan patentes en la evolución diaria de la fotosíntesis neta (Figura 4.10), presentando las plantas inundadas valores de  $F_n$  muy bajos durante todo el día, siendo negativos en el caso del tratamiento inundado 4 días (T2). Este hecho vino acompañado por aumentos importantes en los niveles de  $CO_2$  interno, que duplican a los del tratamiento control (Figura 4.10), lo cual indica que, en estas plantas, el estrés por inundación ha causado además de restricciones estomáticas, daños en el metabolismo fotosintético (Castrillo y

Calcagno, 1989). En cambio, las plantas inundadas injertadas sobre ciruelo mostraron una dinámica de  $F_n$  similar a la del tratamiento control, si bien con valores inferiores, y con sólo ligeros aumentos en los niveles de  $CO_2$  interno (Figura 4.10).

Otra de las respuestas características de las plantas ante condiciones de estrés es el aumento de la temperatura foliar, causada por el descenso en los niveles de conductancia y transpiración foliares (Ehrler, 1973).



**Figura 4.10.** Evolución diaria de la fotosíntesis neta ( $F_n$ ),  $CO_2$  interno ( $C_i$ ) y temperatura foliar ( $T_f$ ) en albaricoqueros jóvenes injertados sobre franco y ciruelo en los tratamientos control (T0,  $\bullet$ ) y de inundación durante 3 (T1,  $\circ$ ) y 6 (T2,  $\triangle$ ) días. Los puntos corresponden a la media de 3 repeticiones  $\pm$  ES. 28 julio, 1999.

Las mayores reducciones de  $g_i$  en las plantas inundadas injertadas sobre franco en relación a las de ciruelo (Figura 4.9) provocaron un incremento en la temperatura foliar de las primeras, elevándose 3 °C por encima de la de las hojas del tratamiento control, en las horas centrales del día (Figura 4.10). Este aumento fue menos importante en las plantas sobre ciruelo.

### 4.3.2. Crecimiento vegetativo.

Después de 3 días de inundación, en el tratamiento T1, no se reflejaron síntomas externos de marchitez. El tercer día de la recuperación, las plantas sobre franco mostraron un 10.4 % de quemaduras en su superficie foliar y un 9.8 % para las de ciruelo. El 5° día de recuperación el 17 % de las plantas sobre franco mostraron una marchitez generalizada, iniciándose una leve defoliación, que fue nula para el caso del ciruelo.

Al final de los 6 días de inundación en el tratamiento T2, las plantas injertadas sobre franco mostraron un 15 % de quemaduras en las hojas y un 8.8 % en las de ciruelo. En el 2° día de recuperación los árboles sobre franco mostraron síntomas generalizados de marchitez y en el 4° día todos estaban marchitos, comenzando el proceso de la defoliación, que fue total. Por contra, sólo un 17 % de los árboles injertados sobre ciruelo mostraron marchitez y defoliación.

Durante el período experimental, el diámetro del tronco presentó un mayor crecimiento en las plantas del tratamiento control injertadas sobre patrón franco que las de ciruelo, con aumentos del 6.4 % y del 3.9 %, respectivamente, en relación a los valores iniciales (Tabla 4.3).

**Tabla 4.3.** Crecimiento del diámetro del tronco en albaricoqueros jóvenes injertados sobre franco y ciruelo en los tratamientos de inundación durante 3 (T1) y 6 (T2) días al inicio (día 0) y final (día 48) del período experimental.

Portainjerto	Tratamiento	Diámetro (mm)		Incremento (%)
		Inicial	Final	
Ciruelo	T0 (control)	28.41	29.51	3.88
	T1 (3 días)	30.05	30.97	3.08
	T2 (6 días)	28.36 ns	28.84 ns	1.71 ns
Franco	T0 (control)	25.52	27.11	6.40 a
	T1 (3 días)	26.95	27.16	0.79 b
	T2 (6 días)	26.93 ns	26.00 ns	-3.39 c

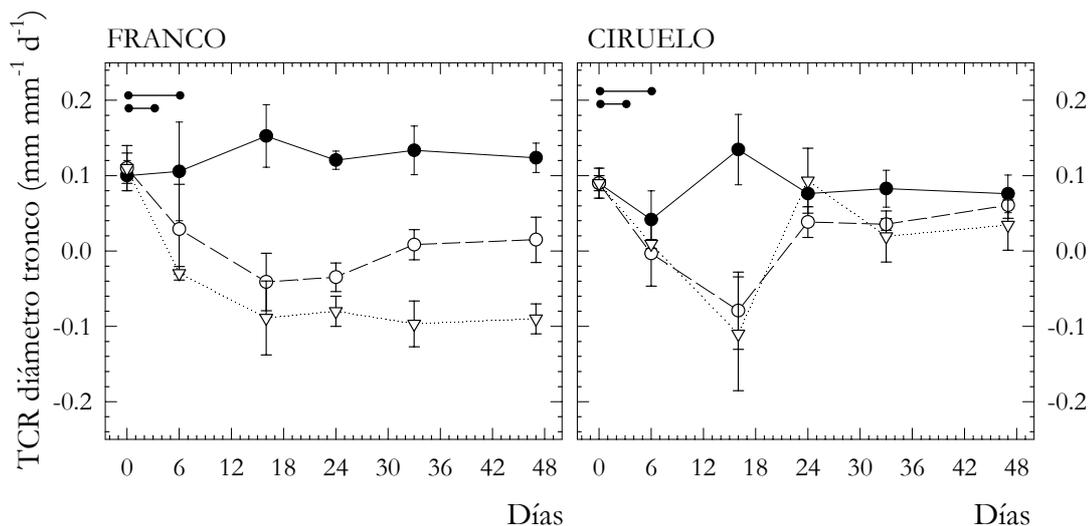
Los valores corresponden a la media de 5 repeticiones. Las medias de cada columna, para cada portainjerto, seguidos de letras distintas indican la existencia de diferencias significativas, según el test de la MDS<sub>0,05</sub>.

Este crecimiento se vio limitado por el encharcamiento en ambos portainjertos; sin embargo, mientras esta reducción fue significativa en ambos tratamientos (T1 y T2) de las plantas injertadas sobre franco, las injertadas sobre ciruelo mostraron una menor sensibilidad al encharcamiento, de forma que sólo las del tratamiento T2 mostraron un menor crecimiento del tronco, respecto al tratamiento control, que no fue significativo. Es de destacar la disminución del tronco observada en las plantas del tratamiento T2 de franco (Tabla 4.3).

Este último hecho queda constatado al observar los datos de la figura 4.11, donde se muestra cómo el estrés provocó una disminución de la tasa de crecimiento relativa del diámetro del tronco en los tratamientos inundados de los dos portainjertos, siendo éstas negativas para las plantas del tratamiento T2 injertadas sobre franco.

En este sentido, Nash y Graves (1993) indican que el encharcamiento indujo tasas de crecimiento relativo negativas en plantas de arce rojo, lo que sugiere que esas plantas habían entrado en fase de senescencia.

La recuperación de tasas de crecimiento similares a las del tratamiento control sucedió a los 24 días del inicio del ensayo en las plantas injertadas sobre ciruelo, mientras que las injertadas sobre franco, que presentaban mayores reducciones de las tasas de crecimiento que las de ciruelo, no llegaron a recuperar los niveles de las plantas no inundadas en ninguno de los tratamientos de inundación, durante el período de estudio (Figura 4.11).



**Figura 4.11.** Evolución de la tasa de crecimiento relativo del diámetro del tronco (TCR,  $\text{mm mm}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) de albaricoqueros jóvenes injertados sobre franco y ciruelo para los tratamientos control (T0, ●) y de inundación durante 3 (T1, ○) y 6 (T2, ▽) días. Los puntos corresponden a la media de 5 repeticiones  $\pm$  ES.

El estudio de biomasa realizado al final del período experimental mostró igualmente los efectos negativos de la inundación en las plantas injertadas sobre franco, en las que la biomasa total se vio reducida un 22 y un 41 % para los tratamientos T1 y T2, respectivamente (Tabla 4.4). Es de destacar la importante defoliación sufrida en estas plantas, y que fue total para el caso del tratamiento T2 (Tabla 4.4). La reducción del área foliar por marchitez y caída de hojas es un mecanismo que limita la transpiración foliar y es una respuesta común al encharcamiento (Kozlowski, 1985; Nash y Graves, 1993).

Las plantas injertadas sobre ciruelo no mostraron diferencias significativas entre inundadas (T1 y T2) y control (T0) en el peso seco de raíces, tallos y hojas (Tabla 4.4).

**Tabla 4.4.** Peso seco de hojas, tallos, tronco, raíz y área foliar (AF) en albaricoqueros jóvenes injertados sobre franco (F) y ciruelo (C) en los tratamientos de inundación durante 3 (T1) y 6 (T2) días al final del período experimental.

Tratamiento	Biomasa (g)		Tallos + Tronco (g)		Raíz (g)		AF (cm <sup>2</sup> )	
	C	F	C	F	C	F	C	F
T0	1189 a	1180 a	552.3 a	558.4 a	455 a	399 a	5565 a	5313 a
T1	1241 a	918 b	602.3 a	444.7 a	445 a	319 ab	4830 a	2917 b
T2	1048 a	696 c	525.6 a	370.7 b	352 a	237 b	4148 a	0 c

Los valores corresponden a la media de 3 repeticiones. La media de cada columna seguidos de letras distintas indican la existencia de diferencias significativas entre tratamientos, según el test de la MDS<sub>0,05</sub>.

#### 4.4. Conclusiones.

Los resultados del ensayo indican que albaricoqueros jóvenes injertados sobre franco y ciruelo desarrollan similares mecanismos, en el ámbito de las relaciones hídricas, para afrontar períodos cortos de inundación (3 días).

Estos mecanismos incluyen una importante y temprana regulación estomática en las primeras fases del período de inundación (con descensos significativos de la conductancia foliar desde el primer día) que previene la deshidratación foliar, manteniendo el potencial hídrico y el de turgencia en niveles similares a los de las plantas no inundadas. Esta reducción de la conductancia parece estar asociada a los bajos niveles de O<sub>2</sub> en el suelo, así como a desequilibrios hormonales. En las fases más avanzadas del período de inundación y durante el de recuperación, a la regulación estomática se suman descensos de los potenciales hídrico y de turgencia foliar, epinastia, aumentos de la resistencia al flujo del agua del suelo y la planta y reducción en la

conductividad hidráulica de la raíz, así como descensos en los niveles de fotosíntesis, acompañados de aumentos en la concentración de CO<sub>2</sub> interno. Es importante destacar el mayor grado de afectación de estos parámetros en las plantas injertadas sobre franco que sobre ciruelo.

La respuesta estomática observada en las plantas de albaricoquero bajo condiciones de inundación en el suelo puede ser considerada un mecanismo adaptativo para prevenir la deshidratación foliar (Bradford y Hsiao, 1982b). Además, esta temprana respuesta sugiere que la porometría es un buen indicador de las alteraciones causadas por la inundación, similar a lo encontrado en otros cultivos leñosos (Savé y Serrano, 1986; Ruiz-Sánchez *et al.*, 1996).

Sin embargo, un período más prolongado de inundación (6 días) provocó mayores descensos de los parámetros anteriores, con valores de  $g_i$  cercanos al cierre estomático y potencial hídrico foliar antes del alba  $< -6.0$  MPa, que indujeron marchitez y la muerte del 100 % de las plantas injertadas sobre franco. La reducción del crecimiento del tronco en las plantas sobre franco fue proporcional al tiempo de inundación.

Los resultados obtenidos permiten concluir que el ciruelo es un portainjerto de albaricoquero más apropiado para resistir situaciones de inundación en el suelo.

## **5. Adaptación al déficit hídrico de plantas jóvenes.**

## 5.1. Introducción.

Los períodos de sequía, tan frecuentes en los agrosistemas mediterráneos, debido a la estacionalidad y escasez de las precipitaciones, unidos a la limitada disponibilidad de otros recursos hídricos, justifican la necesidad de realizar estudios encaminados a mejorar el conocimiento de la respuesta de los cultivos ante condiciones de déficit hídrico. La supervivencia y, por qué no, la viabilidad económica de las explotaciones frutícolas de estas zonas lleva consigo procesos de aclimatación y adaptación de los árboles a este tipo de condiciones adversas, lo que implica respuestas a corto y largo plazo, respectivamente (Alscher y Cumming, 1990).

El conocimiento de los mecanismos de resistencia a la sequía de los cultivos y de su capacidad de aclimatación, resulta, por otro lado, de gran utilidad para confeccionar programas de riego deficitario controlado, orientados a disminuir racionalmente los aportes hídricos sin que la producción final se vea comprometida (Sánchez-Blanco y Torrecillas, 1995).

Por estas razones, los objetivos de este ensayo se centran en estudiar los mecanismos de evitación y tolerancia a la sequía del albaricoquero y su capacidad de adaptación (endurecimiento) ante condiciones de estrés hídrico. Esta información resultará de interés a nivel de vivero, a fin de poder mejorar la resistencia a la sequía de las plantaciones jóvenes de albaricoquero. En este capítulo se recogen los resultados obtenidos en plantas jóvenes cultivadas en macetas en condiciones de campo.

## 5.2. Material y Métodos.

### 5.2.1. Condiciones experimentales.

El ensayo se realizó durante el verano de 1997, en la finca experimental del CEBAS. Se utilizaron plantones de albaricoquero (*Prunus armeniaca* L.) cv. Búlida, injertados en vivero sobre ciruelo Pollizo. Los plantones, de 1 año de edad, se plantaron en macetas de 35 litros, en enero de 1996, utilizando una mezcla de suelo, de textura franco-arcillosa, y turba similar a la descrita en el capítulo anterior (Tabla 4.1).

Las plantas se colocaron al aire libre simulando condiciones de campo. El sistema de riego fue por goteo: un lateral por hilera de plantas, con emisores autocompensantes de 4 l h<sup>-1</sup>. La separación entre emisores fue similar a la de las plantas, de modo que cada planta recibía agua de un sólo emisor. La frecuencia de riego fue diaria, para mantener un potencial matricial

de agua en el suelo próximo a los -20 kPa, según las lecturas proporcionadas por tensiómetros (vacuómetro tipo Bourdon) colocados a 15 cm de profundidad.

El agua de riego fue de características similares a la descrita en el ensayo anterior (apartado 4.2.1). Todas las plantas recibieron idénticas dosis y frecuencias de elementos fertilizantes, totalizándose las cantidades siguientes por planta y año: 65 g N, 72 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 48 g K<sub>2</sub>O y 1.5 g Fe (Fe-EDDHA).

### 5.2.2. Tratamientos.

Se seleccionaron 30 plantas de similar desarrollo y aspecto (1.2 m de altura y 20 mm de diámetro de tronco, medido 10 cm por encima de la unión patrón-injerto), las cuales se colocaron en hoyos realizados en la parcela de dimensiones similares a las macetas a fin de minimizar los efectos de calentamiento y dispuestas en hileras de 2 x 2 m.

A finales de julio se establecieron cinco tratamientos de riego, de acuerdo con un diseño experimental completamente al azar que constó de 5 repeticiones (árboles) por tratamiento. Estos fueron:

- TA:** riego diario y condiciones de humedad en el suelo correspondiente a capacidad de campo ( $\Psi_m \approx -20$  kPa) (5 + 5 plantas).
- TB:** frecuencia de riego diaria y dosis equivalentes al 50 % del TA.
- TC:** frecuencia de riego diaria y dosis equivalentes al 25 % del TA.
- TD:** riego cada 3 días a capacidad de campo.
- TE:** riego cada 6 días a capacidad de campo.

Estos cinco tratamientos fueron aplicados durante un mes (*período de preacondicionamiento*), tras el cual todas las plantas se regaron a capacidad de campo e inmediatamente después se suprimió el riego durante 10 días (*período de estrés*). Las macetas se cubrieron con una lámina de plástico opaco blanco con el fin de evitar pérdidas de agua por evaporación y de este modo disminuir la velocidad de desarrollo del estrés hídrico (Fotografía 5.1). Durante el período de estrés se mantuvo un grupo de 5 plantas del tratamiento TA en las condiciones iniciales de frecuencia y dosis de riego, pasando a denominarse tratamiento control (**T0**).

Finalizado el período de 10 días sin riego, todas las plantas fueron regadas por inundación con una dosis de 7.5 cm y tratadas a continuación como las plantas control, con riego diario (*período de recuperación*).

Las condiciones climáticas durante el ensayo, registradas en una estación agrometeorológica automática, instalada en la propia finca, fueron las propias de este clima mediterráneo. La temperatura máxima del aire mostró niveles medios de  $34.7 \pm 0.89$  °C, durante el período de preacondicionamiento y de  $26.9 \pm 1.93$  °C, durante el período de estrés/ recuperación.

El déficit de presión de vapor (DPV), a mediodía, fue de  $3.51 \pm 0.31$  kPa, durante el período de preacondicionamiento y de  $1.65 \pm 0.97$  kPa, durante el de estrés/recuperación. La radiación fotosintéticamente activa (RFA), a mediodía y al nivel de la superficie del dosel vegetal, fue de  $1625 \pm 23$  y de  $1475 \pm 92$   $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ , para los respectivos períodos.



**Fotografía 5.1.** Vista general de la parcela de ensayo.

### 5.2.3. Medidas.

Además del control de las variables climáticas, se realizaron medidas de parámetros de relaciones hídricas cada 6 días durante el período de preacondicionamiento (antes del riego del tratamiento TE) y cada 2-3 días durante el período de estrés/recuperación, siguiendo la metodología descrita en el capítulo 3.

#### *Suelo*

En tres macetas por tratamiento se realizaron medidas antes del alba del contenido volumétrico de humedad ( $\theta_v$ ) y del potencial matricial del agua en el suelo ( $\Psi_m$ ) mediante TDR y tensiómetros, situados a 15 cm de profundidad, respectivamente.

## **Planta**

El estado hídrico de la planta fue evaluado a partir de medidas del potencial hídrico foliar antes del alba ( $\Psi_a$ ) y al mediodía ( $\Psi_{md}$ ) utilizando una cámara de presión. Las medidas se realizaron en tres plantas por tratamiento, tomando 1 hoja sana y adulta. El potencial osmótico actual ( $\Psi_o$ ) fue medido al alba con un osmómetro de presión de vapor, en las mismas hojas usadas para la medida del potencial hídrico foliar antes del alba. El potencial de presión antes del alba ( $\Psi_p$ ) fue calculado por diferencia entre el potencial hídrico foliar ( $\Psi_a$ ) y el potencial osmótico actual ( $\Psi_o$ ). El potencial osmótico a máxima turgencia ( $\Psi_{os}$ ) fue medido con osmómetro, en hojas tomadas antes del alba, adyacentes a las de  $\Psi_a$ , las cuales eran saturadas inmediatamente después de ser muestreadas.

La conductancia foliar ( $g_i$ ) fue medida en el mismo tipo de hojas y con igual número de repeticiones que  $\Psi_{md}$ , usando un porómetro de estado estacionario. La fotosíntesis neta ( $F_n$ ) y la concentración de  $CO_2$  interno fue medida a mediodía solar en la misma hoja que  $g_i$ , usando un aparato de intercambio gaseoso portátil.

La epinastia, evaluada como el cambio en el ángulo de inserción foliar (AIF), fue medida a mediodía solar con un transportador de ángulos transparente, en diez hojas por planta y tres plantas por tratamiento.

La temperatura de la cubierta vegetal ( $T_f$ ) fue medida a mediodía solar con una pistola de infrarrojos, realizando 4 medidas en tres plantas por tratamiento.

El grado de defoliación fue evaluado como porcentaje de caída de hojas, contándose el número de hojas por planta al inicio y final de los períodos de precondicionamiento y de estrés.

## **5.3. Resultados y Discusión.**

### **5.3.1. Período de precondicionamiento.**

Los tratamientos diferenciales de riego provocaron importantes cambios en los parámetros de las relaciones hídricas estudiados. En la tabla 5.1 se muestran los valores medios obtenidos durante el período de precondicionamiento, según medidas realizadas cada 6 días, coincidiendo con el final del estrés, es decir, antes del riego de los tratamientos TD y TE.

En los tratamientos TC (regado al 25 % del TA) y TE (regado cada 6 días) se produjo un importante agotamiento del agua en el suelo, llegando a

valores medios de humedad volumétrica de 10.7 y 10.4 %, respectivamente, y a valores de  $\Psi_m$  cercanos al rango inferior de medida del tensiómetro ( $\approx -80$  kPa) durante los cinco ciclos de medida realizados (Tabla 5.1).

Aunque los niveles de agua en el suelo fueron ligeramente más altos en las macetas del tratamiento TB (regado al 50 % del TA) que en las del tratamiento TD (regado cada 3 días), tanto al considerar los valores de  $\theta_v$  como los de  $\Psi_m$  (Tabla 5.2), ambos desarrollaron a nivel de planta déficits hídricos moderados y similares, según indican los valores de potencial hídrico foliar antes del alba ( $\Psi_a \approx -0.7$  MPa).

En los tratamientos TC y TE se registraron niveles de déficit hídrico más severos, con valores de  $\Psi_a$  en torno a -1.1 MPa (Tabla 5.1 y Figura 5.1). Los valores de potencial hídrico a mediodía ( $\Psi_{md}$ ) presentaron un comportamiento cualitativamente similar al de  $\Psi_a$  (Tabla 5.1).

**Tabla 5.1.** Niveles medios del contenido volumétrico de agua ( $\theta_v$ ), de potencial matricial ( $\Psi_m$ ) del agua en el suelo, del potencial hídrico foliar al alba ( $\Psi_a$ ) y a mediodía ( $\Psi_{md}$ ) y del potencial de turgencia foliar ( $\Psi_p$ ) durante el período de precondicionamiento en los cinco tratamientos de riego.

Tratamiento	$\theta_v$ (%)	$\Psi_m$ (kPa)	$\Psi_a$ (MPa)	$\Psi_{md}$ (MPa)	$\Psi_p$ (MPa)
<b>TA (Control)</b>	28.46 d	-9.33 a	-0.46 c	-1.81 d	1.90 c
<b>TB (50% TA)</b>	18.28 c	-39.60 b	-0.68 b	-2.44 c	1.78 bc
<b>TC (25% TA)</b>	10.70 a	-80.75 d	-1.08 a	-2.89 ab	1.44 ab
<b>TD (3 días)</b>	14.47 b	-55.25 c	-0.69 b	-2.62 bc	1.56 abc
<b>TE (6 días)</b>	10.40 a	-76.62 d	-1.14 a	-3.18 a	1.23 a

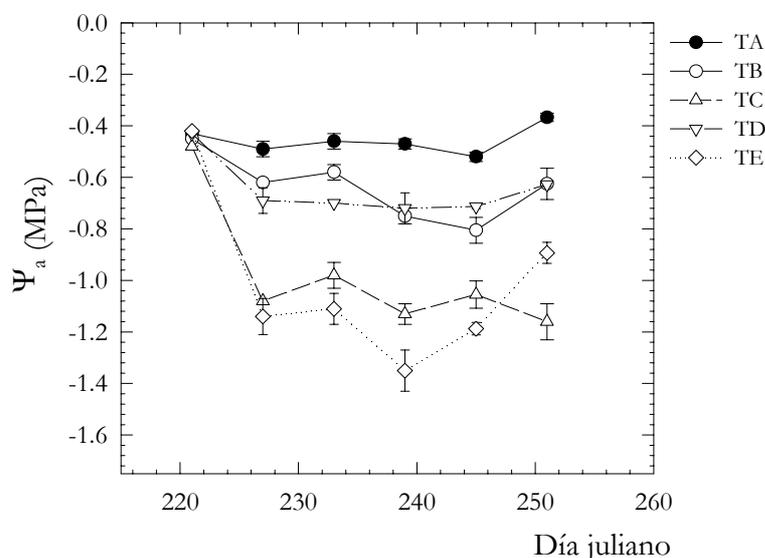
Los valores corresponden a la media de cinco días de medida. Las medias seguidas de letras distintas indican la existencia de diferencias significativas, según el test de la MDS<sub>0.05</sub>.

Los valores de potencial hídrico foliar y potencial matricial del suelo, ambos medidos al alba, resultaron estrechamente relacionados, tal y como se recoge en la figura 5.2. Este hecho confirma la idea de que las medidas del estado energético del agua en el suelo pueden dar una idea del nivel de estrés hídrico desarrollado en la planta (Kaufman y Elfving, 1972).

Sólo las situaciones de estrés hídrico severo provocaron descensos significativos de la turgencia celular. De esta forma,  $\Psi_p$  disminuyó significativamente, con respecto al tratamiento control, en los tratamientos TC y TE (Tabla 5.1).

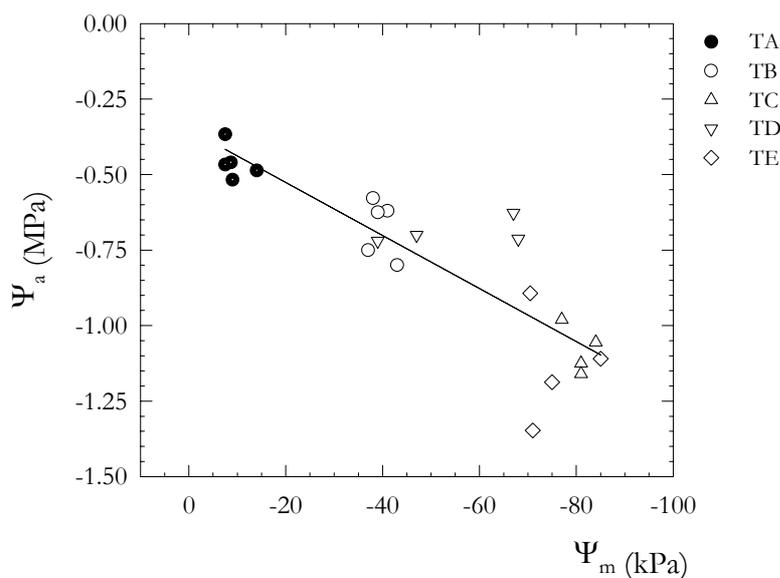
Ni el potencial osmótico actual ( $\Psi_o$ ) ni el de máxima saturación ( $\Psi_{os}$ ) resultaron afectados significativamente por los déficits hídricos aplicados. Los

valores medios obtenidos, durante el período de precondicionamiento, fueron de -2.4 y -1.9 MPa, para  $\Psi_o$  y  $\Psi_{os}$ , respectivamente.



**Figura 5.1.** Niveles de potencial hídrico foliar antes del alba ( $\Psi_a$ ) durante el período de precondicionamiento en los cinco tratamientos de riego. Los valores corresponden a la media de 3 repeticiones  $\pm$  ES.

De forma similar a lo observado para el potencial hídrico foliar, en todos los tratamientos sometidos a déficit hídrico se produjo una reducción drástica del ángulo de inserción foliar (AIF), siendo la más acusada la del tratamiento regado cada 6 días, TE (Tabla 5.2).



**Figura 5.2.-** Relación entre el potencial hídrico foliar al alba ( $\Psi_a$ ) y el potencial matricial del suelo ( $\Psi_m$ ) durante el período de precondicionamiento en los cinco tratamientos de riego. Ecuación de regresión:  $\Psi_a = -0.35 + 8.78 \cdot 10^{-3} \Psi_m$ ,  $R^2 = 0.756^{***}$ .

Se encontró una correlación altamente significativa entre los valores de epinastia y el nivel de estrés, evaluado según medidas de  $\Psi_{md}$  (Figura 5.3), lo que confirma que en albaricoquero los movimientos epinásticos de las hojas son dependientes del estado hídrico de la hoja (Torrecillas *et al.*, 1999).

Este comportamiento ha sido definido como un mecanismo de significado adaptativo y de evitación a la sequía, ya que la reorientación de la superficie foliar permite una menor incidencia de la radiación solar y, en consecuencia, una reducción de las pérdidas de agua vía transpiración, así como un menor calentamiento de las hojas (Sánchez-Blanco *et al.*, 1994).

La conductancia foliar ( $g_i$ ) se redujo significativamente por efecto del estrés hídrico en todos los tratamientos, salvo en el tratamiento TB que mostró valores medios estadísticamente similares a los del tratamiento control, mientras que los tratamientos TC y TE redujeron en un 50 % los niveles de apertura estomática durante los ciclos de precondicionamiento (Tabla 5.2).

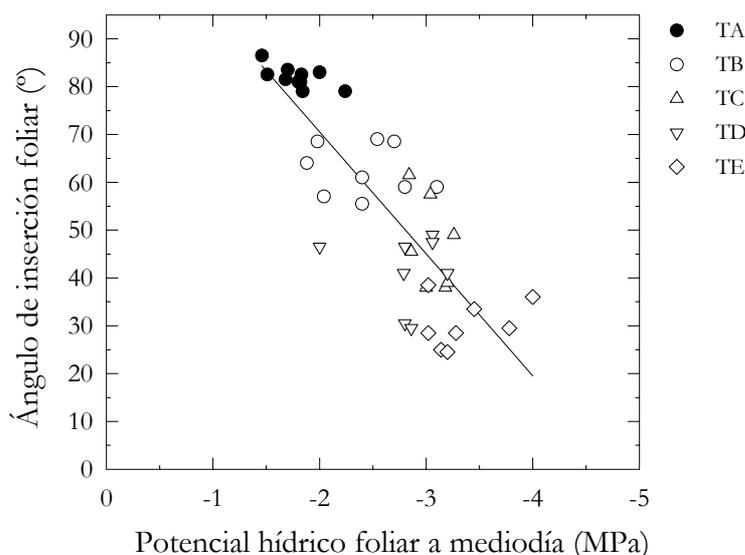
Sin embargo, los niveles de fotosíntesis neta ( $F_n$ ) sólo disminuyeron significativamente en los tratamientos que soportaban un mayor déficit hídrico (TC y TE), manteniéndose en niveles similares estadísticamente a los del tratamiento control en el resto de los tratamientos (Tabla 5.2).

**Tabla 5.2.** Niveles medios del ángulo de inserción foliar (AIF), conductancia foliar ( $g_i$ ), fotosíntesis neta ( $F_n$ ) y diferencia entre la temperatura foliar y la del aire ( $T_f - T_a$ ) durante el período de precondicionamiento en los cinco tratamientos de riego.

Tratamiento	AIF (°)	$g_i$ (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	$F_n$ (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	$T_f - T_a$ (°C)
<b>TA (Control)</b>	82.43 d	135.63 c	8.52 b	-2.75 a
<b>TB (50% TA)</b>	62.50 c	109.02 bc	7.26 ab	-1.13 b
<b>TC (25% TA)</b>	45.95 b	67.21 a	4.54 a	-0.40 bc
<b>TD (3 días)</b>	41.44 b	94.61 ab	6.57 ab	-1.20 b
<b>TE (6 días)</b>	31.40 a	63.86 a	4.36 a	0.35 c

Los valores corresponden a la media de cinco días de medida. Las medias seguidas de letras distintas indican la existencia de diferencias significativas, según el test de la MDS<sub>0,05</sub>.

Estos hechos relativos al intercambio gaseoso confirman que las plantas de albaricoquero, ante condiciones de déficit hídrico moderado, desarrollan mecanismos de conservación de agua, limitando las pérdidas de agua vía transpiración (reducciones de la conductancia foliar), a la vez que mantienen la productividad foliar (similares niveles de fotosíntesis) (Farquhar y Sharkey, 1982; Kramer y Kozlowski, 1979; Torrecillas *et al.*, 1999).



**Figura 5.3.** Relación entre el ángulo de inserción foliar (AIF) y el potencial hídrico foliar a mediodía ( $\Psi_{md}$ ) durante el período de precondicionamiento en los cinco tratamientos de riego. Ecuación de regresión:  $AIF = 121.57 + 25.51 \Psi_{md}$ ,  $R^2 = 0.70^{***}$ .

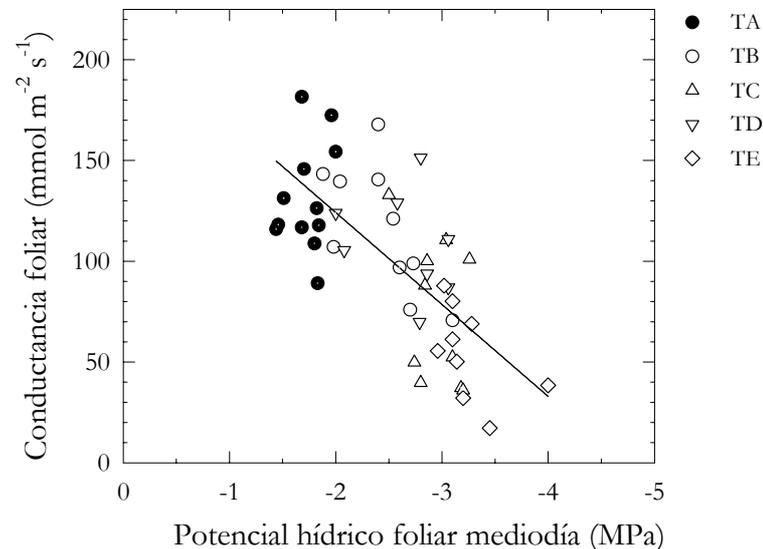
Por otro lado, se observó que la conductancia foliar disminuyó de forma paralela al potencial hídrico foliar a mediodía (Figura 5.4). La relación lineal encontrada indica la ausencia de un valor umbral de  $\Psi_{md}$  para el cierre estomático, tal y como ha sido descrito en almendro (Castel y Fereres, 1982), melocotonero (Andersen y Brodbeck, 1988) y cítricos (Savé *et al.*, 1995), y contrasta con los encontrados en manzano (Lakso, 1979) y en hojas senescentes de almendro (Torrecillas *et al.*, 1988b), en donde se refiere un valor de potencial hídrico por debajo del cual la conductancia foliar permanece constante.

Durante el período de precondicionamiento los tratamientos sometidos a un déficit hídrico más severo (TC y TE) mostraron a mediodía temperaturas foliares más altas, con valores en torno a 34 °C, frente a los 31 °C de las plantas del tratamiento control (datos no mostrados).

Los niveles medios de la diferencia entre la temperatura foliar y la temperatura del aire ( $T_f - T_a$ ) durante los ciclos de precondicionamiento (Tabla 5.2 y Figura 5.5) muestra como los árboles adecuadamente regados (tratamiento TA) mantienen sus hojas unos 3 °C por debajo de la temperatura ambiental, lo que indica la capacidad de refrigeración que proporciona un nivel adecuado de transpiración (Sandhu y Horton, 1978; Sumayao *et al.*, 1980).

En los árboles más estresados (tratamiento TE) la temperatura foliar se elevó por encima de la temperatura ambiental (Figura 5.5). En este sentido, Ehrler (1973) indica que el valor de  $T_f - T_a$  aumenta progresivamente cuando la

humedad del suelo comienza a ser limitante, por lo que puede ser usado como un índice de estimación del estado hídrico del cultivo (Jackson *et al.*, 1979).



**Figura 5.4.-** Relación entre los niveles de conductancia foliar ( $g_l$ ) y de potencial hídrico foliar a mediodía ( $\Psi_{md}$ ) durante el período de precondicionamiento en los cinco tratamientos de riego. Ecuación de regresión:  $g_l = 215.37 + 45.60 \Psi_{md}$ ,  $R^2 = 0.50^{***}$ .

Al considerar el conjunto de los valores de  $g_l$  y  $F_n$  de todos los tratamientos de riego se observó una estrecha relación lineal entre ambos parámetros (Figura 5.6). Este hecho sugiere una limitación de la capacidad fotosintética bajo condiciones de estrés hídrico, e indica que existe una eficiente coordinación entre la conducta estomática y la actividad fotosintética (Chaves *et al.*, 1987). Se han descrito relaciones de tipo lineal entre ambos parámetros en otras especies de *Prunus* (Yoon y Richter, 1990; Harrison *et al.*, 1989), así como en altramuz (Rodrigues *et al.*, 1989), etc.

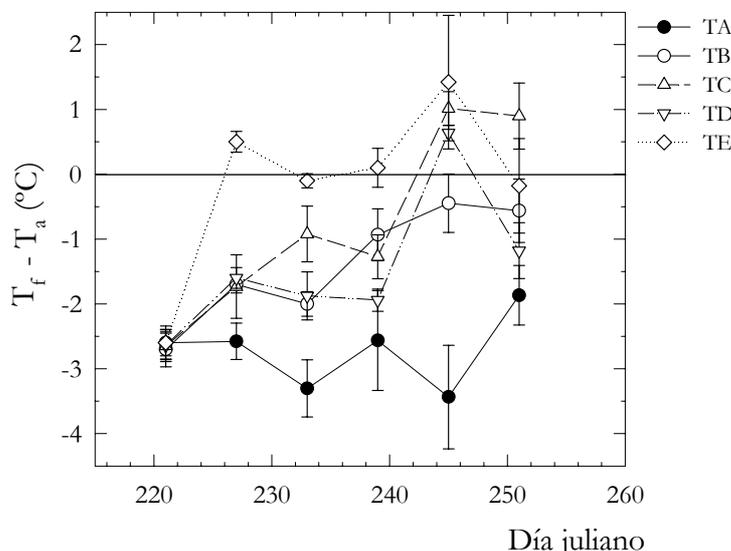
### 5.3.2. Período de estrés y recuperación.

#### *Final del período de estrés.*

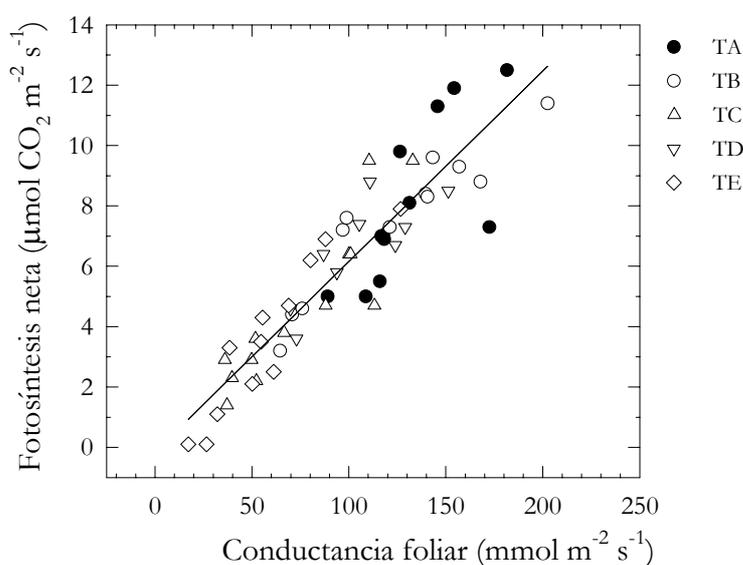
Tras 10 días de supresión del riego, el nivel de agua en el suelo fue muy bajo y similar en todos los tratamientos de precondicionamiento, con valores de  $\theta_v$  en torno al 9.5 % (datos no mostrados).

Atendiendo a los niveles de potencial hídrico foliar (Figura 5.7), las plantas del tratamiento no precondicionado (TA) y las del tratamiento que había sido regado cada 6 días (TE) alcanzaron niveles de estrés hídrico muy severo ( $\Psi_a \approx -4$  MPa), mientras que las del tratamiento TC presentaron los niveles más moderados de estrés, de entre todas las plantas

preacondicionadas, con valores de  $\Psi_a \approx -1.6$  MPa, frente a los  $-0.5$  MPa del tratamiento control (T0).

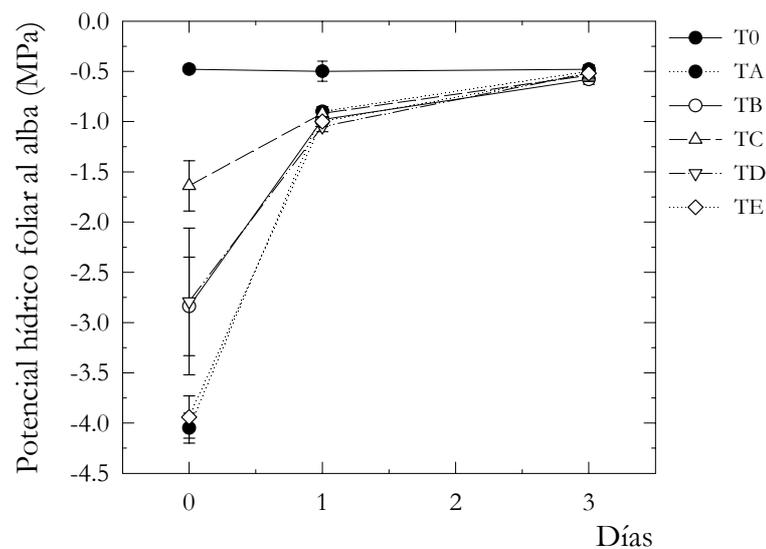


**Figura 5.5.** Diferencia de temperatura, a mediodía, entre las hojas y el aire ( $T_f - T_a$ ) durante el período de preacondicionamiento en los cinco tratamientos de riego. Los valores corresponden a la media de 3 repeticiones  $\pm$  ES.



**Figura 5.6.-** Relación entre los niveles de conductancia foliar ( $g$ ) y de fotosíntesis neta ( $F_n$ ) durante el período de preacondicionamiento en los cinco tratamientos de riego. Ecuación de regresión:  $F_n = -0.58 + 0.06 g$ ,  $R^2 = 0.75^{***}$ .

Los efectos más moderados del estrés en el tratamiento TC quedaron confirmados al considerar los niveles de turgencia foliar, ya que las plantas de este tratamiento fueron las únicas que, si bien mostraron una disminución de  $\Psi_p$  con respecto a los valores del tratamiento control, no perdieron la turgencia foliar, como sucedió en el resto de los tratamientos (Tabla 5.3).



**Figura 5.7.** Potencial hídrico foliar al alba ( $\Psi_a$ ) al final del período de estrés (día 0) y en el período de recuperación, en los distintos tratamientos de riego. Los valores corresponden a la media de 3 repeticiones  $\pm$  ES.

**Tabla 5.3.** Potencial de turgencia foliar ( $\Psi_p$ ), potencial osmótico a máxima saturación ( $\Psi_{os}$ ) y ángulo de inserción foliar (AIF) al final del período de estrés para los distintos tratamientos de riego.

Tratamiento	$\Psi_p$ (MPa)	$\Psi_{os}$ (MPa)	AIF (°)
<b>T0 (Control)</b>	1.41 a	-1.72 d	85.00 d
<b>TA (100 %)</b>	*	-1.92 d	22.30 ab
<b>TB (50% TA)</b>	*	-2.16 b	29.30 a
<b>TC (25% TA)</b>	0.70 b	-2.49 a	40.30 c
<b>TD (3 días)</b>	*	-2.04 bc	31.50 b
<b>TE (6 días)</b>	*	-2.22 b	22.50 a

\* Valor de  $\Psi_p \leq 0$ . Los valores corresponden a la media de 3 repeticiones. Las medias seguidas de letras distintas indican la existencia de diferencias significativas, según el test de la  $MDS_{0.05}$ .

Los déficits hídricos generados en los ciclos de precondicionamiento provocaron una aclimatación progresiva de las plantas, de forma que tras la supresión del riego durante 10 días se produjo una disminución significativa del potencial osmótico a máxima saturación en todos los tratamientos precondicionados (TB, TC, TD y TE), manteniéndose  $\Psi_{os}$  en las plantas no precondicionadas (TA) en niveles similares a los del tratamiento que se regaba diariamente (T0) (Tabla 5.3).

El ajuste osmótico, evaluado como la diferencia entre el  $\Psi_{os}$  del tratamiento considerado y el del tratamiento control (T0), fue mayor en las

plantas del TC (0.77 MPa). Este mayor grado de ajuste osmótico parece ser el responsable del mantenimiento de la turgencia celular en estas plantas (Kramer, 1983) y confirma que en albaricoquero es necesario alcanzar situaciones de déficit hídrico severo ( $\Psi_a < -1.5$  MPa) para desarrollar este mecanismo de tolerancia a la sequía (Galego, 1998; Torrecillas *et al.*, 1999). Gebre y Kuhns (1992) señalan que plantas de chopo americano sometidas a ciclos de precondicionamiento, con diferentes intervalos entre riegos, mostraron un ajuste osmótico de 0.2 MPa, pero que este mecanismo no se desarrolló cuando a las plantas se les suprimió el riego durante 10 días.

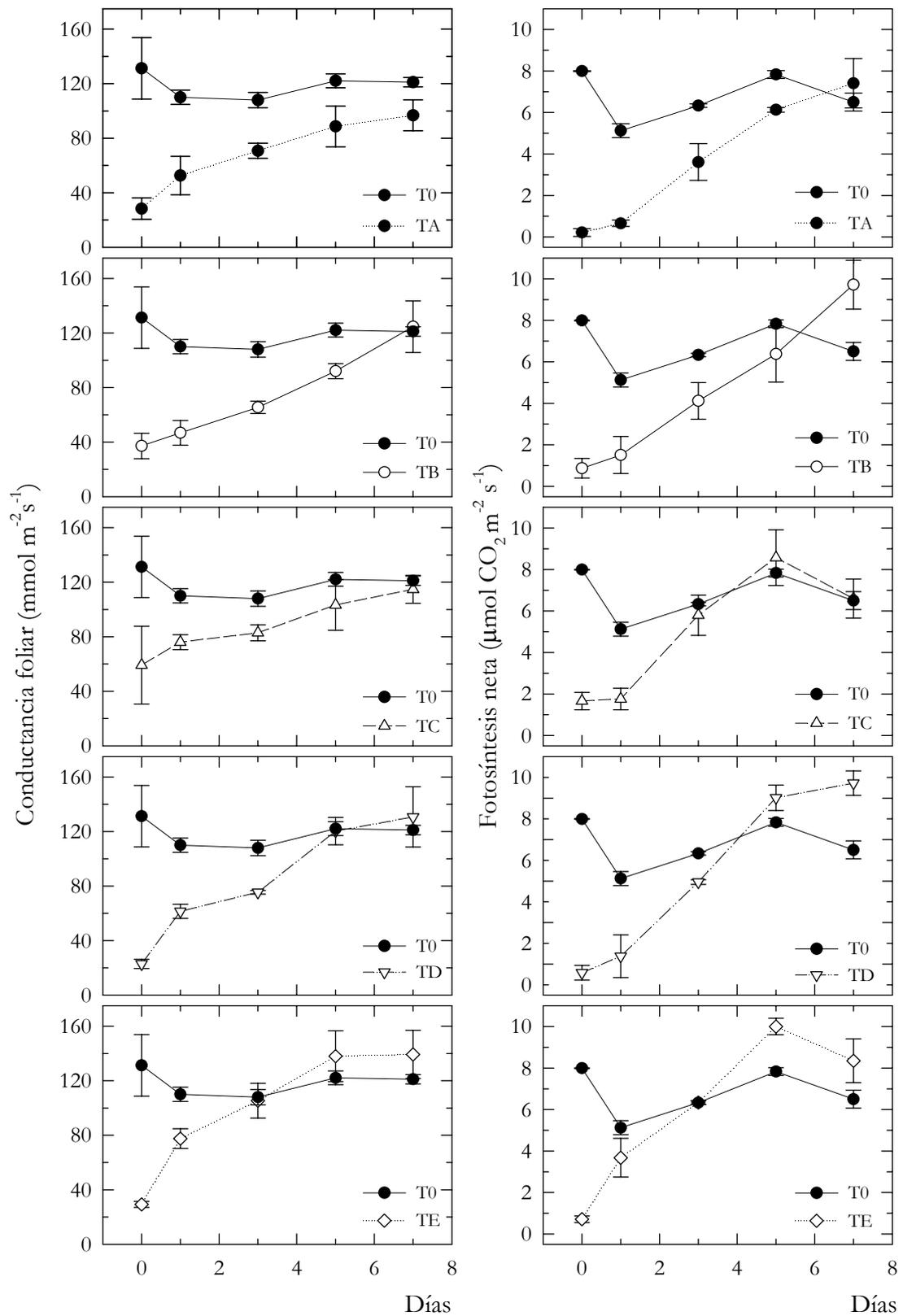
El tratamiento TC mostró al final del período de estrés una menor disminución del ángulo de inserción foliar, que los demás tratamientos, con respecto a los valores del tratamiento control (T0) (Tabla 5.3). La temperatura foliar aumentó de forma significativa en todos los tratamientos en los que se suprimió el riego, y se mantuvo entre 2.8 y 3.7 °C por encima de la temperatura ambiental al final del período de estrés, mientras que en el tratamiento control se mantuvo unos 3 °C por debajo de la temperatura del aire (datos no mostrados).

Al final del período de estrés todas las plantas precondicionadas disminuyeron de forma importante sus niveles de conductancia foliar ( $g_i$ ) con respecto al tratamiento control (T0), sin diferencias significativas entre ellas. Sin embargo, cabe destacar que las del tratamiento TC presentaron una menor reducción de  $g_i$  (55 % respecto al tratamiento control), frente al 72-83 % de disminución en el resto de los tratamientos (Figura 5.8).

Igualmente, los niveles de fotosíntesis neta ( $F_n$ ) fueron casi nulos ( $< 1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) en todas las plantas precondicionadas, a excepción de las del tratamiento TC, que aunque presentaron niveles bajos, éstos fueron significativamente superiores a los alcanzados en el resto de los tratamientos (Figura 5.8).

### **Recuperación**

Tras la reanudación del riego, la recuperación de los parámetros hídricos estudiados se produjo de forma progresiva. En primer lugar y de una forma más rápida, el potencial hídrico foliar mostró, a los 3 días, niveles estadísticamente similares a los de las plantas del tratamiento control (Figura 5.7).



**Figura 5.8.** Niveles de conductancia foliar ( $g_s$ ) y fotosíntesis neta ( $F_n$ ) al final del período de estrés (día 0) y en el período de recuperación, en los distintos tratamientos de riego. Los valores corresponden a la media de 3 repeticiones  $\pm$  ES.

La rápida recuperación en los potenciales hídricos foliares, después de la reanudación del riego ha sido también observada en otros cultivos sujetos a condiciones severas de estrés hídrico, como en naranjo (Ferrer *et al.*, 1979), almendro (Torrecillas *et al.*, 1996), limonero (Ruiz-Sánchez *et al.*, 1997) y tomate (Torrecillas *et al.*, 1995).

La recuperación de la conductancia foliar fue muy rápida en el tratamiento TE (3 días), mientras que las plantas de los tratamientos TB, TC y TD necesitaron 5 días para alcanzar niveles de  $g_s$  similares a los de las plantas control. Las plantas del tratamiento no preacondicionado (TA) precisaron una semana para normalizar sus niveles de conductancia foliar (Figura 5.8).

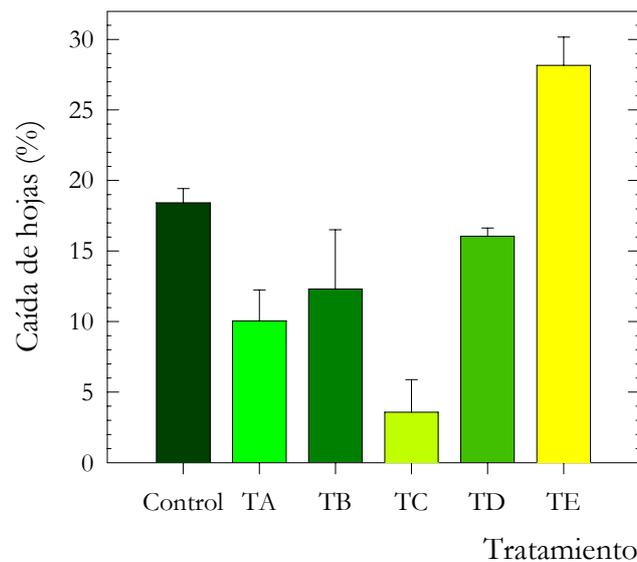
La fotosíntesis neta mostró una recuperación más homogénea y rápida que la de la conductancia foliar. Al día siguiente de la reanudación del riego los niveles de  $F_n$  en el tratamiento TE fueron similares a los del tratamiento control, lo mismo sucedió a los 3 días en los tratamientos TC y TD y a los 5 días de la reanudación del riego las plantas de todos los tratamientos presentaron niveles similares a los de las plantas del tratamiento control (Figura 5.8).

El retraso en la recuperación de la conductancia foliar, con relación a la del potencial hídrico, tras un período de déficit hídrico ha sido descrito como un mecanismo de seguridad que permite a la planta recuperar la plena turgencia de una forma más eficiente (Mansfield y Davies, 1981).

La mayor velocidad de recuperación de la conductancia foliar de las plantas del tratamiento TE puede ser debido al hecho de que durante el período de estrés estas plantas indujeron un mayor grado de defoliación (Figura 5.9), mecanismo que permite a las plantas reducir la superficie transpirante, lo que puede ser considerado de evitación a la sequía (Nash y Graves, 1993). Las plantas del tratamiento TC presentaron niveles prácticamente nulos de defoliación (Figura 5.9).

La defoliación afectó principalmente a las hojas adultas situadas en la zona intermedia de los ramos, de forma que sólo permanecieron en el árbol las hojas más jóvenes, las cuales, como es conocido, presentan valores de conductancia foliar más altos que las adultas (Ruiz-Sánchez *et al.*, 1997; Solárová y Pospíšilová, 1983).

Al día siguiente de la reanudación del riego todas las plantas disminuyeron su temperatura foliar, con niveles de  $T_f - T_a$  negativos, a excepción de las del tratamiento TA (no preacondicionado) que necesitó más tiempo para alcanzar los niveles del tratamiento control (datos no mostrados).



**Figura 5.9.** Grado de defoliación, evaluado como porcentaje de caída de hojas, durante el período de estrés en los distintos tratamientos de riego. Cada barra corresponde a la media de 3 repeticiones + ES.

## 5.4. Conclusiones.

Ante condiciones de déficit hídrico moderado ( $\Psi_a \approx -1$  MPa) los albaricoqueros jóvenes desarrollaron *mecanismos de evitación* basados en una regulación estomática, que limita las pérdidas de agua vía transpiración, y que junto con la epinastia foliar son considerados mecanismos de valor adaptativo a la sequía.

Bajo estrés hídrico severo ( $\Psi_a < -1.5$  MPa) se desarrollaron *mecanismos de tolerancia*, como el ajuste osmótico, que en el caso de las plantas del tratamiento regado al 25 % del control (TC) parece ser el responsable del mantenimiento de la turgencia foliar.

Tras la reanudación del riego en todos los tratamientos, la recuperación más rápida de la conductancia foliar en el tratamiento regado cada 6 días (TE) puede ser debida a que durante el período de estrés estas plantas sufrieron un mayor grado de defoliación, de forma que sólo permanecieron las hojas más jóvenes, las cuales presentan valores de  $g_s$  más altos que las adultas.

La mejor adaptación a la sequía tuvo lugar con aplicaciones diarias de agua al 25 % del control (tratamiento TC), ya que estas plantas desarrollaron un mayor grado de ajuste osmótico, lo que evitó una severa deshidratación y previno la abscisión foliar. Este tratamiento de preconditionamiento puede

tener un importante interés en viveros, ya que endurece la planta frente a la sequía, mejorando de esta forma la supervivencia de plantaciones jóvenes.

Además, el estudio comparativo de los tratamientos ensayados muestra que, ante situaciones de suministro hídrico reducido (riego deficitario), resulta más favorable mantener una alta frecuencia de aportes y dosis reducidas (tratamiento TB) que los que utilizan mayores intervalos entre riegos (tratamiento TD), ya que los primeros no provocan reducciones significativas en las tasas de intercambio gaseoso ni en la turgencia foliar y sólo disminuciones moderadas en los otros parámetros estudiados.

**6. Estudio fenológico. Caracterización del ciclo de cultivo.**

## 6.1. Introducción.

La necesidad cada vez más apremiante de acceder a un uso racional de los factores de crecimiento: agua, fertilización, manejo del suelo, lucha contra parásitos, etc., exige, entre otros, el conocimiento del patrón anual que siguen los procesos de crecimiento y desarrollo del cultivo.

En este sentido, el estudio de los fenómenos biológicos periódicos del árbol adquiere gran importancia económica ya que, convenientemente tratados, servirán para predecir la posible aparición de una plaga, la necesidad de efectuar un abonado específico, la aplicación de un producto hormonal (Agustí *et al.*, 1995), así como ser indicador de una mayor o menor sensibilidad al déficit hídrico.

Actualmente, diferentes estrategias de riego deficitario controlado (RDC) están cobrando especial interés de cara a optimizar el uso del agua en frutales. Todas ellas se fundamentan en el conocimiento de la fenología de la planta, ya que su éxito depende de la delimitación clara y precisa de los períodos críticos debido a que los efectos del déficit hídrico durante éstos es más perjudicial para la producción y/o calidad de la cosecha. El concepto original de RDC fue introducido por Chalmers y colaboradores en 1975, y consiste en la reducción controlada de los aportes hídricos en los períodos fenológicos no críticos del cultivo (Torrecillas *et al.*, 1996). Doorenbos y Pruitt (1986) señalan como períodos críticos del albaricoquero los procesos de floración y desarrollo de las yemas, mientras que para Torrecillas *et al.* (2000) son los períodos correspondientes a la segunda fase de crecimiento rápido del fruto y los dos meses posteriores a la recolección.

Además, resulta igualmente importante conocer, para el caso concreto de la variedad Búlida, el grado de concurrencia de los procesos de crecimiento vegetativo y de los frutos, para poder usar el estrés hídrico controlado a fin de reducir el crecimiento vegetativo sin afectar a la cosecha, en el caso de que ambos procesos se encuentren separados.

## 6.2. Material y Métodos.

### 6.2.1. Condiciones experimentales.

#### *Características generales de la parcela. Material vegetal.*

Los ensayos se realizaron durante 1996, 1997 y 1998 en la explotación agrícola 'El Minglanillo', situada en Fuente-Librilla, perteneciente al término municipal de Mula (Murcia), cuyas coordenadas geográficas son 37° 57' N y

1° 25' E. La altitud media es de 350 m sobre el nivel del mar, con una pendiente longitudinal del 7 % en la dirección N-S y transversal del 5.5 % en la dirección E-O. De las 70 ha cultivadas de la finca, 22 están dedicadas al albaricoquero (Fotografía 6.1).

Para la realización de los ensayos se seleccionó una parcela de 1.7 ha de albaricoqueros (*Prunus armeniaca* L.) cv. Búlida, injertados sobre patrón franco de Real Fino, de 12 años de edad, a un marco de 8 x 8 m, podados en vaso y en riego por goteo desde su plantación (Fotografía 6.2). La parcela experimental constaba de 17 hileras de 16 árboles cada una. Al comienzo del ensayo el tamaño de los árboles era de unos 4.5 m de altura, 20 cm de diámetro de tronco y un área sombreada del 52 %.



**Fotografía 6.1.** Vista general de la parcela.



**Fotografía 6.2.** Formación en vaso del árbol.

El diseño agronómico del sistema de riego consistió en un único lateral por hilera de árboles con siete goteros autocompensantes por árbol, de caudal nominal 4 l h<sup>-1</sup>. El riego fue programado semanalmente para cubrir el 100 % de la ET<sub>c</sub>, a partir de datos de lámina de agua evaporada en cubeta clase A, situada en la propia finca y rodeada de barbecho, los coeficientes de cultivo proporcionados por Doorenbos y Pruitt (1986) y Fereres y Goldhamer (1990) para albaricoquero, el factor de corrección (K<sub>r</sub>), según el porcentaje de área sombreada de acuerdo a Fereres *et al.* (1982) y teniendo en consideración la lluvia acaecida la semana anterior.

Bajo estas condiciones, el volumen medio de agua de riego aportado durante los tres años de estudio fue de 6755 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

Los árboles recibieron  $164 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ,  $60 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y  $118 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , para ello se realizaron de 2 a 7 fertirriegos semanales, según la época del año. Los abonos empleados, cantidad y momento de aplicación se recogen en la tabla 6.1.

Ambos programas de riego y fertilización fueron introducidos semanalmente en un programador de riego que controlaba cuatro electroválvulas, una bomba de inyección y un electroagitador del depósito de fertirrigación.

**Tabla 6.1.** Programa de fertilización aplicado en la parcela experimental ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

Mes	AN	N32	AF	NP	NCa	NA	SP	NMg	QFe
E	15								
F		106	18						
M			50	18	3			2	1
A				56	9			7	4
My				24	9	29	32	2	2
J						59			
Jl						56			
Ag						50			
S				18		32			
O				18		12			
N				88		27			
D			44						
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>106</b>	<b>112</b>	<b>222</b>	<b>21</b>	<b>265</b>	<b>32</b>	<b>11</b>	<b>7</b>

AN: Ácido nítrico (56% N)  
N32: Solución nitrogenada (32% N)  
AF: Ácido fosfórico (54%  $\text{P}_2\text{O}_5$ )  
NP: Nitrato potásico (13% N; 46%  $\text{K}_2\text{O}$ )  
NCa: Nitrato cálcico (15.5% N; 19% Ca)  
NA: Nitrato amónico (33.5% N)  
SP: Sulfato potásico (50%  $\text{K}_2\text{O}$ )  
NMg: Nitrato magnésico (11% N; 7% Mg)  
QFe: Quelato de hierro (EDDHA-6% Fe)

### *Clima.*

Sánchez-Toribio (1993) describe el clima de la zona como seco y cálido, claramente mediterráneo con rasgos subdesérticos. La temperatura media anual es de  $17 \text{ °C}$  y la media pluviométrica es de unos  $300 \text{ mm}$  anuales. Las lluvias suelen presentarse en primavera y a finales de verano, siendo éstas últimas, a menudo, de carácter torrencial, lo que disminuye su eficiencia y acentúa el déficit hídrico.

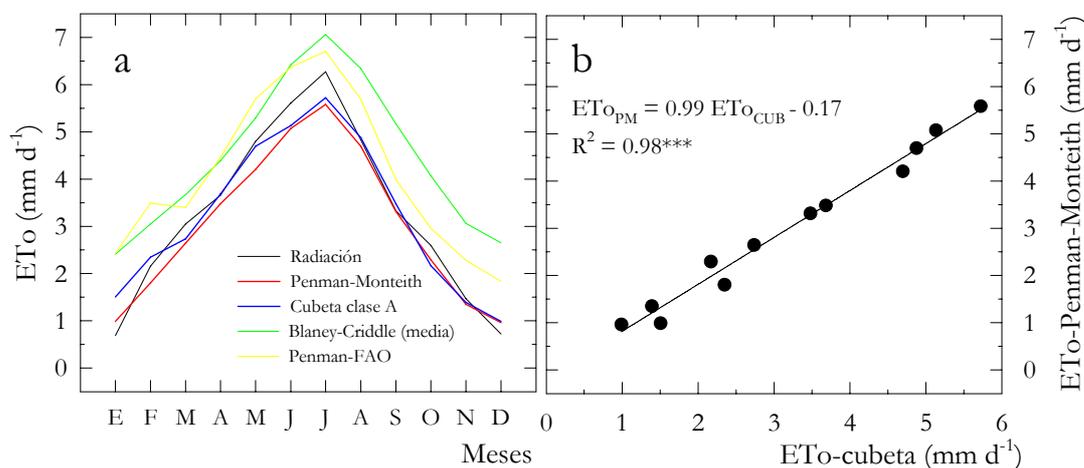
Según la clasificación climática de Thornthwaite el clima es semiárido, megatérmico, con nulo exceso de humedad durante el invierno y moderada concentración de la eficacia térmica durante el verano. Elías y Castellví (1996) a partir de la aplicación de distintos índices fitoclimáticos clasifican de árida y semidesértica a la zona de estudio.

La evapotranspiración de referencia,  $ET_o$ , calculada a partir de medidas registradas en una estación meteorológica automática situada en la propia finca, fue de 1110 y 1180 mm año<sup>-1</sup> durante el período 1994-98, según los métodos de Penman-Monteith y cubeta clase A, respectivamente.

La evolución estacional de la  $ET_o$ , determinada a partir de la metodología FAO (Doorenbos y Pruitt, 1986), está representada en la figura 6.2. La regresión de la  $ET_o$  media semanal (mm d<sup>-1</sup>) obtenida por el método de Penman-Monteith ( $ET_{oPM}$ ) respecto a la calculada a partir de la cubeta clase A ( $ET_{oCUB}$ ) presentó una correlación lineal altamente significativa ( $R^2 = 0.98^{***}$ ).

Los valores medios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas, humedad relativa, insolación, velocidad del viento, lluvia y lámina de agua evaporada durante los años 1996, 1997 y 1998 se recogen en la tabla 6.2.

La acumulación media de frío invernal en la zona, calculada en función del número de horas por debajo de 7 °C, a partir del método de Sánchez-Capuchino (1967) fue de 460 horas-frío y de aproximadamente 600 unidades-frío, según método de Erez y Couvillon (1987).



**Figura 6.2.** Valores de la evapotranspiración de referencia media del período 1994-98, según los métodos FAO: Blaney-Criddle, Radiación, Penman-FAO, Cubeta clase A y Penman-Monteith (a) y relación entre la  $ET_o$  estimada por el método de Penman-Monteith ( $ET_{oPM}$ ) y Cubeta clase A ( $ET_{oCUB}$ ) (b).

**Tabla 6.2.-** Valores medios de las temperaturas máximas y mínimas, humedad relativa (HR), lluvia, lámina de agua evaporada (Eo), velocidad del viento (a 2 m) y radiación solar.

1996	Temperatura (°C)			HR (%)	Lluvia		Eo mm d <sup>-1</sup>	Viento km d <sup>-1</sup>	Radiación solar cal cm <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
	Máx.	Mín.	Media		Media	mm mes <sup>-1</sup>			
<b>En</b>	14.3	6.9	10.6	82.6	54.9	5	1.45	192.3	182.7
<b>Fb</b>	14.9	6.5	10.7	65.7	0	0	2.85	260.3	264.4
<b>Mz</b>	16.6	8.6	12.6	77.1	12.3	4	2.45	204.9	340.6
<b>Ab</b>	21.1	10.1	15.6	77.0	26.6	4	4.10	175.3	469.3
<b>My</b>	23.5	11.8	17.6	71.5	41.6	6	5.46	165.4	547.7
<b>Jn</b>	28.1	14.6	21.3	70.4	0	0	6.89	158.7	607.3
<b>Jl</b>	31.6	18.5	25.0	64.5	0	0	7.06	179.7	651.2
<b>Ag</b>	30.2	18.7	24.4	62.8	43.0	2	6.28	120.8	511.1
<b>Sp</b>	25.7	14.5	20.1	72.7	68.3	3	4.04	138.6	416.1
<b>Oc</b>	23.8	12.7	18.2	83.7	7.7	2	2.89	102.1	295.2
<b>Nv</b>	18.9	9.7	14.3	80.9	38.6	2	2.08	116.2	226.5
<b>Dc</b>	14.5	8.0	11.2	87.1	36.8	6	1.23	88.6	159.3
<b>1997</b>									
<b>En</b>	13.1	7.6	10.4	90.5	42.3	9	1.29	105.4	153.9
<b>Fb</b>	18.4	8.9	13.6	78.9	1.3	1	2.87	102.5	311.4
<b>Mz</b>	20.5	8.6	14.5	74.9	24.0	1	3.72	82.6	424.2
<b>Ab</b>	20.6	10.5	15.5	85.2	92.3	6	3.10	79.5	432.2
<b>My</b>	24.3	13.1	18.7	78.2	13.6	1	5.22	91.5	558.2
<b>Jn</b>	28.2	16.5	22.3	74.3	65.8	3	6.75	85.1	564.1
<b>Jl</b>	29.7	16.9	23.2	74.0	0	0	7.22	87.0	592.6
<b>Ag</b>	29.4	18.2	23.8	76.2	0	0	6.14	81.0	517.7
<b>Sp</b>	26.9	15.3	21.1	71.7	135.8	5	3.87	144.0	429.8
<b>Oc</b>	23.8	13.9	19.2	86.8	12.3	2	2.86	47.8	304.3
<b>Nv</b>	18.4	9.6	14.0	84.7	20.7	5	1.77	61.8	204.5
<b>Dc</b>	15.7	8.1	11.8	84.2	28.6	5	1.23	94.3	149.5
<b>1998</b>									
<b>En</b>	14.6	6.9	10.8	85.3	10.5	1	1.87	145.2	170.2
<b>Fb</b>	14.9	7.8	11.3	88.9	32.5	2	1.82	162.1	284.6
<b>Mz</b>	20.4	9.1	14.7	71.6	4.0	1	3.85	106.2	384.8
<b>Ab</b>	21.3	9.6	15.4	65.9	0	0	4.70	96.3	452.1
<b>My</b>	22.2	12.2	17.2	83.0	45.0	2	4.61	99.2	568.2
<b>Jn</b>	29.1	16.1	22.6	76.3	0	0	6.24	103.7	601.2
<b>Jl</b>	32.4	18.1	25.3	72.2	0	0	7.70	112.4	620.4
<b>Ag</b>	30.3	18.3	24.3	85.5	0	0	6.76	108.7	542.3
<b>Sp</b>	27.9	17.9	22.9	63.3	23.0	1	4.66	90.4	425.7
<b>Oc</b>	22.3	12.4	17.3	58.9	0	0	2.95	79.5	287.5
<b>Nv</b>	19.2	5.6	12.4	68.5	34.5	1	1.96	109.1	212.3
<b>Dc</b>	15.5	4.4	9.9	71.6	53.0	1	1.54	91.8	142.7

## Suelo.

El suelo de la parcela, representativo de las áreas de cultivo de este frutal en Murcia, es profundo, de textura franca y con un  $d_{50}$  medio de 7.38  $\mu\text{m}$  para los primeros 50 cm y de 6.85  $\mu\text{m}$  para los subsiguientes 50 cm (Ruiz-Canales, 2000). Los contenidos volumétricos de humedad a capacidad de campo y punto de marchitez son de 26.4 y 13.5 %, respectivamente, correspondiéndole un contenido de agua útil de 129  $\text{mm m}^{-1}$  y una densidad aparente de 1.42  $\text{g cm}^{-3}$ . Presenta bajos niveles en sales solubles y muy bajos en fósforo y potasio asimilables. Así mismo, su nivel de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico son bajos y muy alto el contenido de caliza activa, lo que es indicativo de alto poder clorosante (Tabla 6.3).

**Tabla 6.3.-** Análisis de suelo de la parcela experimental.

<b>Análisis granulométrico</b>	<b>0-50 cm</b>	<b>50-100 cm</b>
Arena gruesa (2 – 0.25 mm) (%)	3.8	3.6
Arena fina (0.25 – 0.05 mm) (%)	29.5	28.3
Limo (0.05 – 0.002 mm) (%)	42.2	42.8
Arcilla (< 0.002 mm) (%)	24.5	25.3
<b>Propiedades fisico-químicas</b>		
C.E. 1:5 ( $dS m^{-1}$ )	0.28	0.23
C.C.C. ( $mmol (\frac{1}{2} Ba) kg^{-1}$ )	103.0	91.5
<b>Propiedades físicas</b>		
Materia orgánica oxidable (%)	1.19	0.96
Carbonato cálcico total (%)	65.5	64.5
Carbonato cálcico activo (%)	15.6	15.8
Fósforo asimilable ( $mmol kg^{-1}$ )	0.23	0.16
Potasio asimilable ( $mmol kg^{-1}$ )	3.10	1.80
Sodio soluble 1:5 ( $mmol kg^{-1}$ )	3.90	3.35
Cloruros 1:5 ( $mmol kg^{-1}$ )	6.65	4.40
Sulfatos ( $mmol (yeso) kg^{-1}$ )	2.03	1.45

## Agua

El agua de riego, procedente del pozo ‘El Barbo’ en Sierra Espuña, es conducida y almacenada en un embalse de la finca. La diferencia de cotas entre el embalse y la parcela experimental permite disponer de la presión necesaria a pie de parcela para el normal funcionamiento de la instalación de riego. La tabla 6.4 recoge los resultados de una muestra representativa del agua de riego empleada. Teniendo en cuenta el sistema de riego, tipo de cultivo y suelo utilizados, ésta presenta un bajo riesgo de salinidad y de toxicidad por sodio, cloruros y sulfatos. Es un agua medianamente dulce (17 °Fr) que presenta un

valor negativo del índice de saturación de Langelier, lo que presupone bajo riesgo de obturaciones por precipitados de  $\text{CaCO}_3$ . Debido a la baja salinidad del agua, los requerimientos de lavado son mínimos ( $\approx 7\%$ ), si bien, su uso continuado puede suponer un ligero riesgo de reducción de la infiltración (Ayers y Westcot, 1987), lo que puede verse agravado por los sucesivos pases de cuchilla con fines de escarda.

**Tabla 6.4.-** Análisis del agua de riego utilizada en la parcela experimental.

<b>C.E.</b>	<b>0.51</b>	<b><math>dS\ m^{-1}</math></b>
<b>PH</b>	<b>7.00</b>	
<b>Aniones</b>	<b><math>meq\ l^{-1}</math></b>	<b><math>mg\ l^{-1}</math></b>
Carbonatos	-	-
Bicarbonatos	1.73	106
Cloruros	1.50	53
Sulfatos	1.94	93
<b>Total</b>	<b>5.17</b>	<b>252</b>
<b>Cationes</b>		
Sodio	1.58	36
Potasio	0.03	1
Calcio	2.26	45
Magnesio	1.26	15
<b>Total</b>	<b>5.13</b>	<b>97</b>

### ***Labores de cultivo.***

Las labores de cultivo en la parcela experimental fueron las propias de las plantaciones de frutales de hueso en la zona e idénticas al resto de la finca, a excepción del riego y la fertilización. Con el 75-80 % de las necesidades de frío cubiertas se aplicó un tratamiento con un fitorregulador activador del desarrollo (cianamida de hidrógeno), al objeto de adelantar la cosecha. Para el mantenimiento del suelo libre de malas hierbas se realizaron aplicaciones localizadas de glifosato 18 % + MCPA 18 % a las bandas mojadas por los goteros; en las zonas secas se realizó una escarda mecánica con cuchilla a una profundidad de 3-5 cm.

El primer tratamiento fitosanitario (tratamiento de invierno) se realizó en estado C o de botón rosa con el fin de controlar hongos, larvas y huevos de cochinillas e insectos (metidation 40 %, sulfato cupro-cálcico 20 % Cu, aceite de verano 83 %). El tratamiento de primavera estuvo dirigido contra mosquito verde (*Empoasca lybica*), orugas defoliadoras y para la prevención de enfermedades criptogámicas (*Armillaria mellea*, *Eutypa armeniaca*, *Cladosporium*

*herbarum*, *Monilia laxa*) (fluvalinato 24 %, fenitrotion 50 %, endosulfán 35 %, captan 50 %, penconazol 10 %). Además se realizaron tres tratamientos para el control del gusano cabezudo (*Capnodis tenebrionis*), uno contra larvas inyectado al suelo (lindano, cipermetrina 0.5, fonofos) y dos dirigidos a la parte aérea contra adultos (fenitrotion 50 %).

### 6.2.2. Medidas.

En árboles bajo condiciones de adecuado suministro hídrico (T1, regados al 100 % de la ETc) se realizó el seguimiento del estado fenológico de las yemas de flor, según Baggiolini (1952) durante las campañas 1997 y 1998. Los controles se realizaron periódicamente en 4 árboles seleccionados, en los que se marcaron cuatro ramas con este propósito.

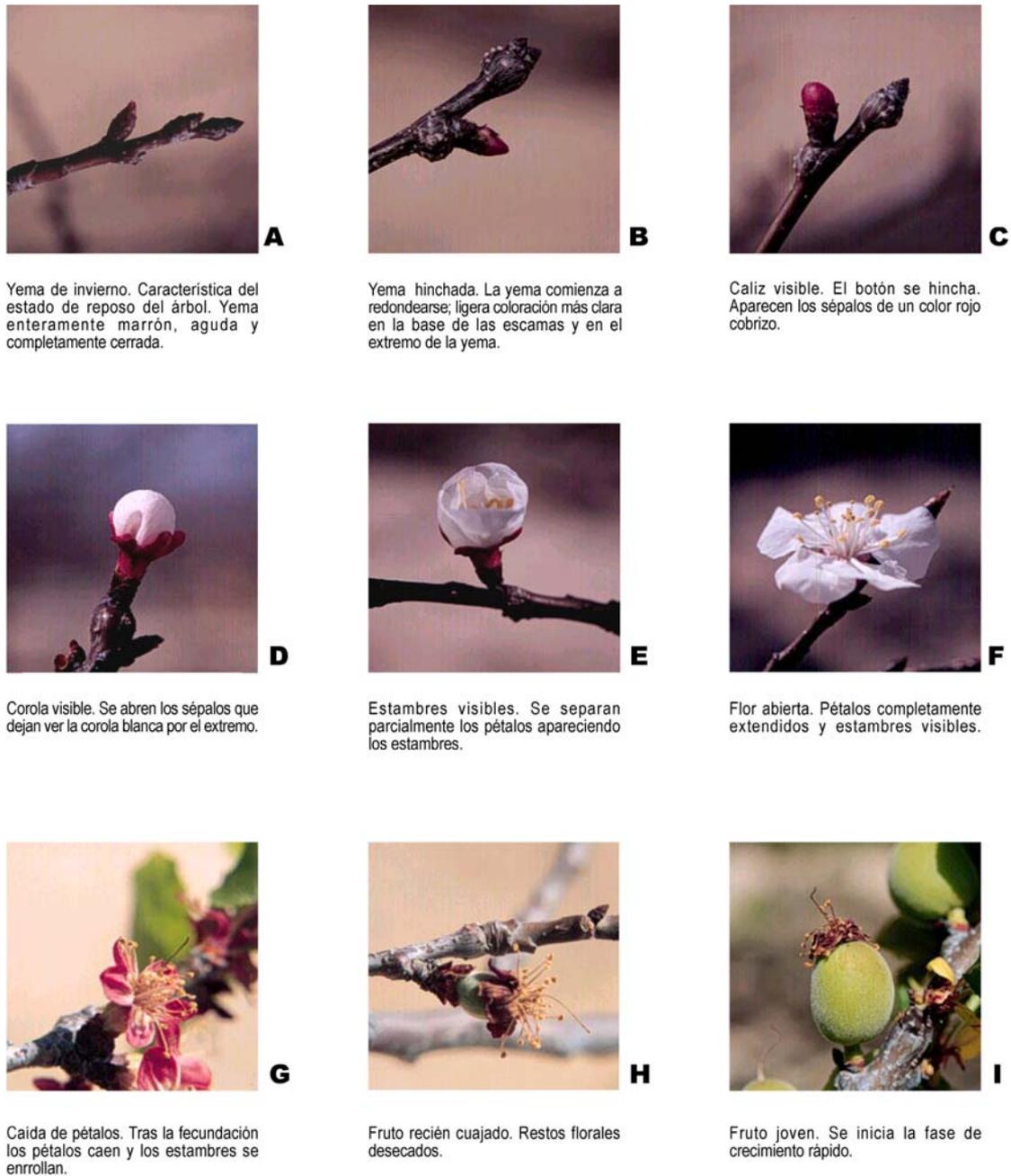
Adicionalmente, y al objeto de contribuir a la estandarización internacional de los diferentes estados fenológicos del albaricoquero, se procedió a la codificación según la escala general BBCH (Meier *et al.*, 1994) en los mismos árboles seleccionados. Para determinar la influencia de la temperatura sobre la duración de cada estado fenológico se ha utilizado el modelo GDH (Richardson *et al.*, 1975).

Las caídas fisiológicas de yemas, flores, frutos y hojas se evaluaron a partir de los elementos recogidos en 4 recipientes instalados a tal fin bajo los árboles seleccionados. El estudio de la dinámica radical se llevó a cabo mediante medidas semanales de minirrizotrones colocados en 4 árboles. Igualmente, el control del crecimiento de tronco, brotes y frutos se realizó siguiendo la metodología descrita en el capítulo 3.

## 6.3. Resultados y Discusión.

### 6.3.1. Estados fenológicos.

A partir de fotografías tomadas en árboles de la parcela experimental se describen los estados fenológicos definidos por Baggiolini para las yemas de flor del albaricoquero (Figura 6.3). La evolución de dichos estados fenológicos para los años 1997 y 1998 se recoge en la figura 6.4. Durante el mes de enero las yemas se encontraban en reposo (estado A), manteniéndose hasta principios de febrero en 1997 (Figura 6.4a) y mediados de éste en 1998 (Figura 6.4b), momento en el que algunas yemas empezaron a hincharse (estado B), denotando un ligero adelanto en la ruptura del reposo y por tanto en el proceso de floración respecto a 1998.

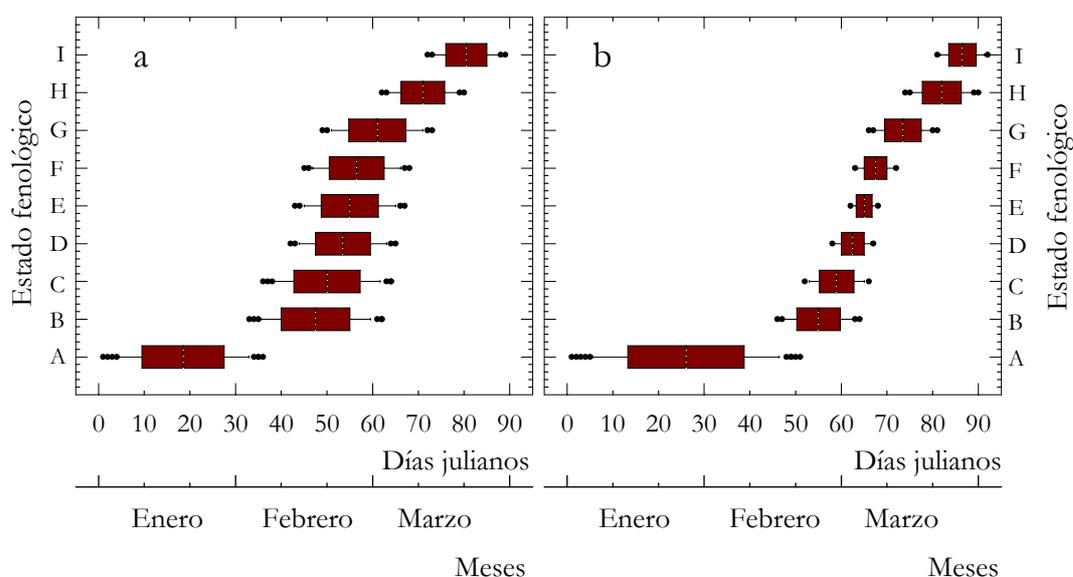


**Figura 6.3.** Estados fenológicos de las yemas de flor del albaricoquero Búlida, según Baggiolini, en los árboles de la parcela experimental.

A mediados de febrero en 1997 (Figura 6.4a) y en la última semana de este mes en 1998 (Figura 6.4b) aparecieron yemas hinchadas con ápices rojizos debido a los sépalos (estado C), coexistiendo con yemas en estado B. En 1998, durante la primera semana de marzo, junto a yemas C, aparecieron otras en las que despunta su corola blanca (estado D) y, en menor número, otras en las que los estambres eran aparentes (estado E). Es de destacar el mayor solapamiento entre los distintos estados fenológicos en 1997 que en 1998.

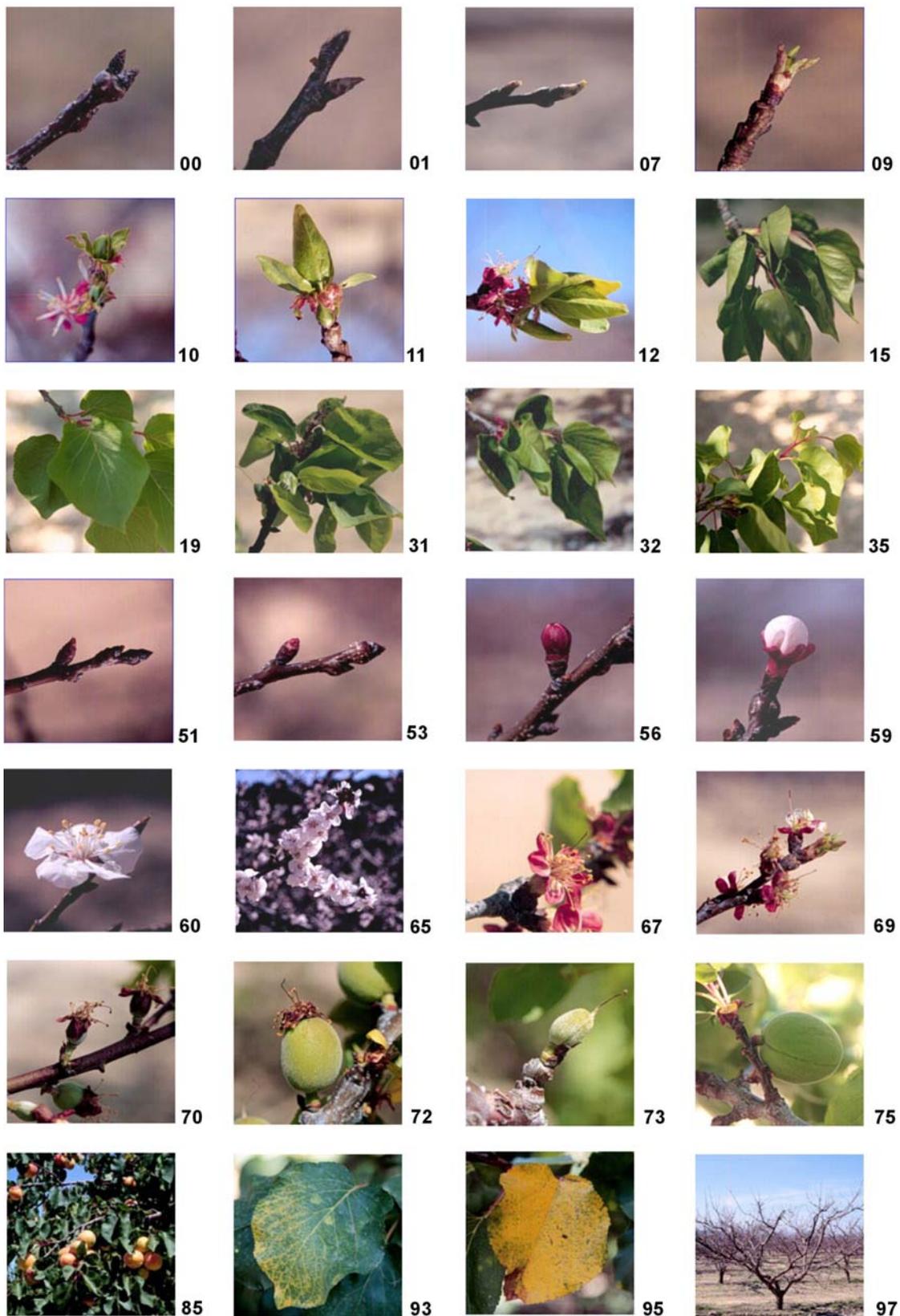
La máxima floración (estado F) tuvo lugar a principios de marzo. Una semana más tarde prácticamente eran inapreciables flores abiertas, mientras que eran abundantes las que mostraban caída de pétalos (estado G). El inicio del engrosamiento de los frutos (estado H) se produjo entre el 15 y 31 de marzo, de forma que el 90 % de los estados florales evaluados el 20 de marzo correspondieron a frutos diminutos que conservaban la corola seca. A primeros de abril el 100 % de los frutos había perdido la corola (estado I).

El 11 % de las yemas marcadas en estado A no llegaron a evolucionar al estado B, desprendiéndose del árbol a mediados de marzo. Valores similares encuentran Viti y Monteleone (1991) en albaricoquero en Italia. El porcentaje final de fructificación se cifró en un 19 %, valor similar al observado por García *et al.* (1988) y Ruiz-Sánchez *et al.* (1999) en la misma variedad y región, siendo porcentajes normales para albaricoquero (Gil-Albert, 1989).



**Figura 6.4.** Evolución de los estados fenológicos de yemas de flor (A-I) del albaricoquero Búlida, bajo condiciones de adecuado suministro hídrico en 1997 (a) y 1998 (b). Cada barra corresponde a la media de 4 repeticiones.

En la figura 6.5 se muestran los estados fenológicos más relevantes del desarrollo del albaricoquero, según la escala BBCH. En el albaricoquero, el estado 00 corresponde a yemas foliares cerradas y cubiertas de escamas de color marrón oscuro. Con el aumento de la temperatura comienza el hinchado de estas yemas, que pasan a un tono más claro y con bordes coloreados (estado 01). El final del hinchado de las yemas se caracteriza por la separación de sus escamas y un color verde claro (estado 03) La caída de las escamas con visibles ápices foliares verdes (estado 09) marcan el final de este macroestado.



**Figura 6.5.** Estados fenológicos del albaricoquero Búlida en la parcela experimental, según codificación BBCH.

El estado principal 1 (desarrollo de las hojas) se inicia con la aparición de las primeras hojas (estado 10). El proceso continúa con el despliegue de las primeras hojas (estado 11), hasta alcanzar el tamaño varietal típico (estado 19). Los estados con hojas desplegadas sin que hayan alcanzado su tamaño final son muy sensibles a los ataques de áfidos.

Simultáneamente al crecimiento de las hojas tiene lugar el crecimiento longitudinal de los brotes terminales (estado principal 3), en nuestras condiciones se observaron dos brotaciones, una principal en marzo y otra de menor importancia en junio (Figuras 6.5 y 6.7). El estado 31 marca el inicio visible del desarrollo del eje de los brotes, mientras que los estados 32 y 35 corresponden aproximadamente al 20 % y 50 % de la longitud final.

Con el hinchado de las yemas florales (estado 51) comienza el estado principal 5, que se mantiene hasta que la mayoría de las flores con sus pétalos cerrados adquieren forma de bolas huecas (estado 59). En la figura 6.5 además de los dos extremos se recogen los estados 53 y 56, correspondientes a la apertura de las yemas y el alargamiento de los pétalos, respectivamente. La floración (estado principal 6) se inicia con las primeras flores abiertas (estado 60). La plena floración requiere alrededor del 50 % de las flores abiertas (estado 65) y termina con la caída generalizada de pétalos (estado 69).

Tras la caída de los pétalos se inicia el cuajado de los frutos (estado 71), con el crecimiento del ovario y la caída de los frutos no cuajados. Los sépalos comienzan a caer en el estado 72 y en el 73 se produce la segunda caída de frutos. Los frutos con el 50 % de su tamaño final definen el estado 75. El inicio de la maduración del fruto (estado principal 8) comienza con la coloración del fruto. El aumento de coloración marca el tránsito hasta el estado 89, caracterizado por frutos con sabor varietal aptos para el consumo.

La senescencia e inicio del reposo vegetativo (macroestado 9) tiene lugar una vez que los brotes han completado su desarrollo y aparecen las primeras hojas amarillentas. Con el 50 % de las hojas en este estado o caídas se llega al estado 95 y al 97 con el árbol totalmente defoliado, iniciándose el reposo invernal.

En la tabla 6.5 se recogen las horas grado de crecimiento (GDH) acumuladas para completar cada uno de los estados anteriormente descritos, así como las fechas de predominio de cada uno de ellos. Usando este tipo de medidas se pueden extrapolar los resultados obtenidos a otras condiciones de cultivo, así como a otros años, pudiendo, de esta forma, predecir el inicio y/o fin de un determinado estado fenológico en base a medidas objetivas. En este sentido, McIntyre *et al.* (1982) indica que la acumulación de temperaturas máximas entre la ruptura del reposo de yemas y la máxima floración es la

mejor medida de la duración de estos estados fenológicos. Melgarejo *et al.* (1997) señalan, igualmente, la alta dependencia del ciclo vegetativo del granado de la temperatura que soporte el cultivo.

La ruptura del reposo de las yemas de flor del albaricoquero se inicia el 15 de febrero y se llega a máxima floración 20 días después, tras acumular 3784 °C GDH (Tabla 6.5). De forma similar, Richardson *et al.* (1975) obtuvieron, en melocotonero cv. Elberta, 4239 °C GDH al inicio de la máxima floración. Burgos (1991) encuentra que la duración de la receptividad del estigma en albaricoquero, no se extiende más de 4 a 6 días, con unos 300 °C GDH acumulados diariamente.

**Tabla 6.5.** Períodos de predominio y °C GDH acumulados en los distintos estados fenológicos del albaricoquero Búlida, bajo condiciones de adecuado suministro hídrico. 1998.

Estado de desarrollo	Escala		°C GDH		
	BBCH	Período	Inicio	Final	
Yemas en reposo	00	-	20 Fb.	-	1035
Hinchado de yemas vegetativas	01	21 Fb.	25 Fb.	1035	1827
Primordios foliares visibles	09	26 Fb.	27 Fb.	1827	2153
Separación de 1 <sup>as</sup> hojas	10	28 Fb.	5 Mz.	2153	3504
Crecimiento de hojas	11-15	6 Mz.	12 Mz.	3504	5150
Hojas con tamaño final	19	13 Mz.	20 Mz.	5150	6596
Inicio de crecimiento de brotes	31	1 Mz.	12 Mz.	2334	5150
70 % de la longitud final del brote	37	20 Mz.	2 Ab.	6596	9526
Hinchado de yemas florales	51	15 Fb.	25 Fb.	0	1827
Botón rosa	56	26 Fb.	4 Mz.	1827	3274
Pétalos visibles	59	5 Mz.	6 Mz.	3274	3784
Máxima floración	65	7 Mz.	9 Mz.	3784	4725
Final floración	69	10 Mz.	14 Mz.	4725	5377
1 <sup>os</sup> Frutos visibles	70	10 Mz.	1 Ab.	4725	9269
Caída fisiológica del fruto	73	2 Ab.	9 Ab.	9269	11234
50% del tamaño final del fruto	75	10 Ab.	14 Ab.	11234	11886
90% del tamaño final del fruto	79	15 Ab.	27 Ab.	11886	15124
Cambio de color del fruto	80	28 Ab.	8 My	15124	17666
Fruto maduro (1 <sup>a</sup> recolección)	89	26 My.	3 Jn.	23116	25197
2 <sup>a</sup> brotación	39	20 My.	21 Jl.	21332	45152

Las condiciones climáticas durante estos estados juegan un papel determinante en la fructificación. En este sentido, Egea (1995) indica que

temperaturas moderadas, ausencia de lluvias y de vientos fuertes y cálidos durante la floración son favorables para una adecuada fructificación. Además, es importante mantener un adecuado estado hídrico del suelo durante los procesos de floración y cuajado del fruto (Doorenbos y Pruitt, 1986).

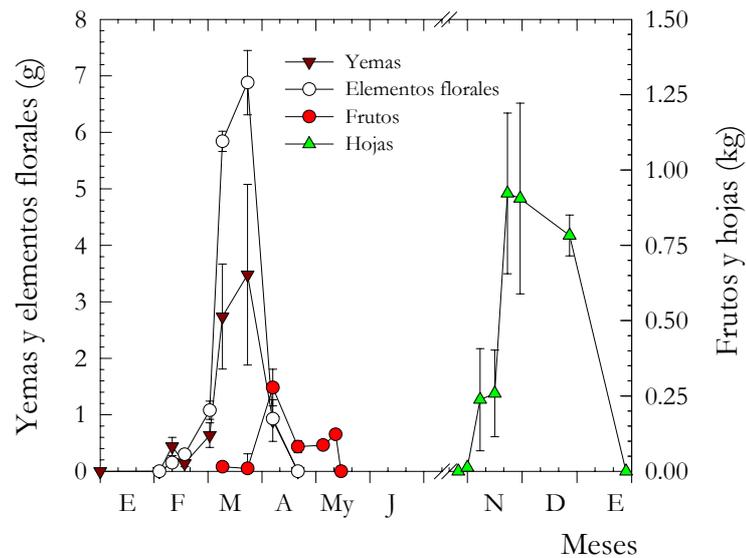
El comienzo de la recolección del albaricoque comienza 105 días después de la ruptura del reposo de las yemas de flor, tras haberse acumulado 23116 °C GDH (Tabla 6.5). Costes *et al.* (1995) indican que el albaricoque cv. Rouge du Roussillon se recolecta a partir del día 110 después del inicio de la floración.

La suma de grados día ha demostrado ser un método seguro para predecir la duración del período comprendido entre la ruptura de las yemas y la máxima floración en albaricoquero (Tabla 6.5), al igual que han encontrado otros autores en parral (Christensen, 1969; Williams, 1987; Williams *et al.*, 1985). En cambio, y a pesar de los estudios que correlacionan la maduración del fruto con la suma de grados día, la maduración va a depender más de las técnicas culturales, de la disponibilidad de agua y de la competencia entre frutos que de la citada integral térmica (González-Altozano 1998; Morris y Cawthon, 1982; Williams y Grimes, 1987; Winkler *et al.*, 1974).

### 6.3.2. Caídas fisiológicas.

La evolución de las caídas fisiológicas durante 1997 se recogen en la figura 6.6, la cual mostró una pauta muy similar al resto de los años de estudio. El inicio de la caída de yemas se produjo a primeros de febrero y continuó hasta mediados de abril, alcanzando su máximo a finales de marzo. La caída de yemas es el efecto más grave que provoca la falta de frío en inviernos suaves (Egea, 1989), a la que son más sensibles el melocotonero y albaricoquero, llegando incluso a caer el total de yemas de flor, y en menor grado resultan afectados el ciruelo, peral y manzano (Tabuenca, 1965, 1971). Monet (1983) destaca como temperaturas superiores a 25 °C en el mes de octubre provocan caídas importantes de yemas de flor en melocotonero.

La evolución conjunta de la caída del resto de elementos florales (estados D, E, F, G) muestra una pauta similar a la descrita para las yemas (Figura 6.6). Tamássy y Zayan (1982) afirman que en albaricoquero existen dos períodos de alta sensibilidad de caída: el inicio de la ruptura del reposo de las yemas y la máxima floración. Las caídas del segundo período son debidas principalmente a flores no fecundadas, fenómeno denominado corrimiento (Baldini, 1992).



**Figura 6.6.** Evolución de las caídas fisiológicas de albaricoquero Búlida, bajo condiciones de adecuado suministro hídrico. Los puntos corresponden a la media de 4 repeticiones  $\pm$  ES, de los distintos elementos recogidos en cada recipiente (1/8 de la proyección de la copa) en base a peso seco. 1997.

La caída de elementos florales fue superior a la de yemas de flor (Figura 6.6), ya que en los primeros se incluyen los pétalos caídos procedentes de flores fecundadas.

En albaricoquero, la caída de frutos se inicia a finales de marzo, con frutos de diámetro medio menor de 5 mm, y aunque la cantidad es importante, su contribución en peso es pequeña por el reducido tamaño de los frutos (Figura 6.6). Esta caída puede verse favorecida por un cuajado defectuoso como consecuencia de inviernos excesivamente templados (García *et al.*, 1988; Gil-Albert, 1989; Egea, *et al.*, 1975; Egea, *et al.*, 1991; Sánchez-Capuchino, 1967). A principios de abril se produce un máximo de caída de frutos, con diámetros de entre 18 y 24 mm, coincidiendo con el final de la fase de multiplicación celular (fase I). Esta caída es debida principalmente a la competencia por los carbohidratos entre frutos (Egea, 1995), como consecuencia directa de la falta de auxinas (Baldini, 1992). La caída de frutos durante mayo, inferior en número pero importante por el tamaño de los mismos (Figura 6.6), es debida a la formación de la capa de abscisión por la madurez. Viti y Monteleone (1991) encuentran porcentajes de caída de frutos que varían entre el 40 y el 97 %, en variedades de albaricoquero cultivadas en Italia.

La abscisión de hojas se inició a mediados de noviembre, alcanzándose su máximo la primera semana de diciembre (Figura 6.6). Este proceso apunta el inicio del período de reposo, aunque Tabuenca (1965) considera que éste se

inicia en el momento en que se detiene el crecimiento vegetativo, antes de la caída de las hojas.

### 6.3.3. Crecimiento y desarrollo.

#### *Dinámica radical*

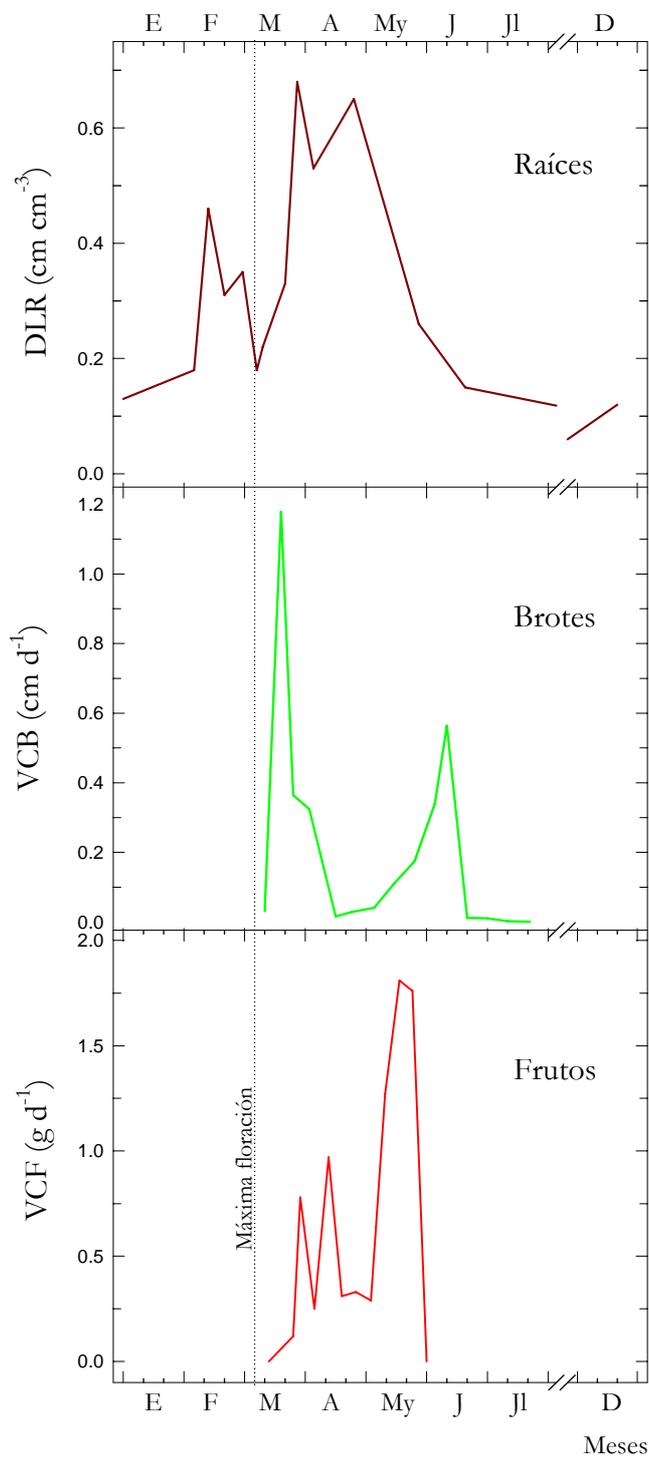
Aunque se observó cierta actividad radical durante todo el año, el crecimiento de las raíces fue mínimo en verano y otoño, con tasas elevadas a finales de invierno y valores máximos durante la primavera (Figura 6.7). En dicha figura se aprecian tres períodos de actividad radical, definidos por la emisión de nuevas raíces (Fotografía 6.3).

El primer período, de escasa intensidad, se inicia a finales de noviembre y se mantiene durante diciembre y enero. Un segundo período mucho más intenso tiene lugar a continuación de éste, el cual tiene lugar durante el mes de febrero. La disminución pronunciada del crecimiento a finales de febrero coincidió con el período de máxima floración e inicio del crecimiento de los brotes (Figura 6.7). En este momento ocurren simultáneamente la floración y el crecimiento de hojas y brotes, por lo que la competencia es muy alta, viéndose limitado el crecimiento del sistema radical (Ross y Catlin, 1978).

En la segunda quincena de marzo, coincidiendo con la disminución en el crecimiento de brotes, comenzó el tercer período, el de mayor actividad radical, con una duración aproximada de dos meses. Durante este último período se registraron dos subperíodos de valores máximos, el primero de ellos ocurrió durante la fase I de crecimiento del fruto y el segundo coincidió con la fase II, período de endurecimiento del hueso. Tras la recolección, el crecimiento radical se mantuvo en niveles muy bajos durante todo el verano.

El estudio comparado de la figura 6.7 muestra como existe una clara competencia entre el crecimiento de la parte aérea y las raíces, coincidiendo el final de los períodos de crecimiento radical con el comienzo del desarrollo de brotes y frutos (Faust, 1989; Watson, 1987).

Es de destacar que el máximo crecimiento de los frutos (fase III) se inicia cuando el crecimiento de las raíces comienza a descender (Figura 6.7). Por esto, cabría pensar que prácticas culturales conducentes a un crecimiento radical más anticipado (portainjertos enanizantes, marcos de plantación reducidos...) podrían adelantar la fase de crecimiento rápido de los frutos, con el consiguiente adelanto en su fecha de recolección, tal y como ya apuntaron Chalmers *et al.*, 1981; Goldhamer *et al.*, 1995).



**Figura 6.7.** Densidad de longitud de raíces (DLR) y velocidad de crecimiento de brotes (VCB) y frutos (VCF) de albaricoquero Búlida, bajo condiciones de adecuado suministro hídrico, durante un ciclo de cultivo. 1998.



**Fotografía 6.3.** Detalle de raíz joven de albaricoquero Búlida, bajo condiciones de adecuado suministro hídrico, atravesando una marca transversal del minirrizotróon.

Ross y Catlin (1978) indican que la mayor parte de la emisión de nuevas raíces, en almendro, ocurre inmediatamente después del crecimiento de los brotes del año. El incremento en longitud, densidad y área superficial de pelos radicales parece ser el componente del sistema radical más efectivo para la absorción de nutrientes. La posterior incorporación a los frutos en desarrollo incide en una menor caída y mayor tasa de crecimiento de éstos.

En este mismo sentido, Bevington y Castle (1985) indican que en naranjos jóvenes las máximas intensidades de crecimiento de brotes coincidían con los mínimos de crecimiento de las raíces, estando inhibidos éstos últimos por las auxinas producidas durante el período de crecimiento de los ramos (Atkinson, 1980). Un claro patrón de crecimiento alternante entre brotes y raíces ha sido encontrado en diversas especies forestales (Harris *et al.*, 1995).

El estado fenológico en el que se encuentre la planta, así como las condiciones medioambientales a las que se vea sometida tienen una notable influencia en el grado de actividad de sus raíces (Fernández, 1989). Este mismo autor encuentra en olivo que el crecimiento de nuevas raíces tiene una mayor duración con un aporte hídrico adecuado (2 meses y medio en riego por goteo y 1 mes en secano). Bajo nuestras condiciones, con un adecuado suministro hídrico, las raíces de albaricoquero tuvieron una vida media (inicio, crecimiento y muerte) de unos 3 meses (Fotografía 6.4).



**Fotografía 6.4.** Detalle de raíz joven de albaricoquero Búlida, bajo condiciones de adecuado suministro hídrico, atravesando una marca transversal del minirrizotrófono, a 70 cm de profundidad, en febrero (izquierda) y junio (derecha).

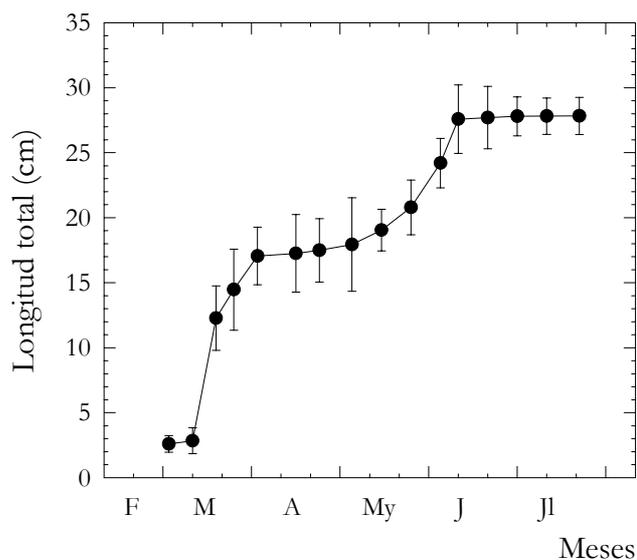
### ***Crecimiento de brotes y tronco.***

Los datos correspondientes al crecimiento de los brotes durante 1997, año representativo del período de estudio se muestran en las figuras 6.7 y 6.8. La brotación se inicia en la segunda semana de marzo y finaliza a primeros de abril. Durante los treinta días siguientes el crecimiento de los ramos es prácticamente nulo, coincidiendo con la fase II de crecimiento del fruto e inicio de la fase III (Figuras 6.7 y 6.10). El segundo período de crecimiento activo de los brotes, de unos treinta días de duración, coincidió con el final de la fase III de crecimiento del fruto y la recolección. La dinámica de crecimiento de los brotes se caracterizó por una curva sigmoide, consecuencia de las diferentes tasas de crecimiento durante su ciclo. Así la tasa de crecimiento fue máxima en la segunda mitad de marzo, prácticamente nula durante abril y primeros de mayo, y con valores altos en la última y primera decena de mayo y junio (Figura 6.7).

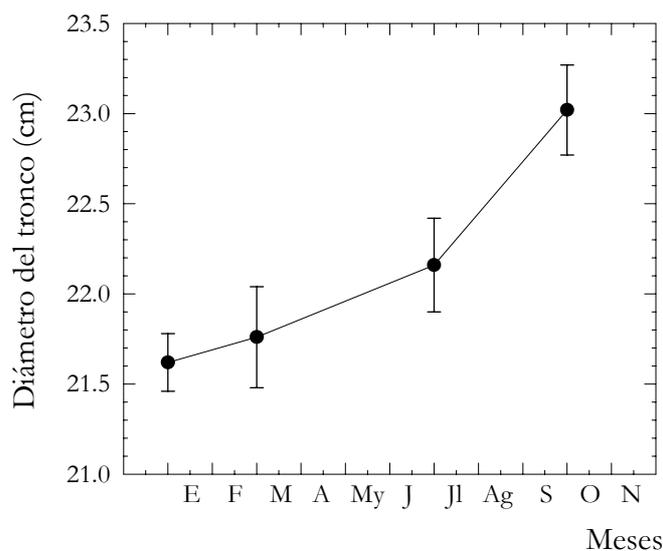
Un patrón de crecimiento similar fue observado por Domingo (1994) en limonero Fino y González-Altozano y Castel (2000) en clementina de Nules. Según estos autores el período de reposo vegetativo que tiene lugar entre ambas brotaciones puede deberse a la competencia por los fotoasimilados entre los distintos procesos de crecimiento del árbol, con un claro balance desfavorable para los ramos. Además, el máximo crecimiento de los brotes se produce en el período de lento crecimiento radical (Figura 6.7).

La figura 6.9 muestra la evolución anual del crecimiento en diámetro del tronco, observándose un menor crecimiento durante la primera mitad del año que durante la segunda. Similar pauta de crecimiento diferencial fue

observada por González-Altozano (1998) en clementina de Nules. En albaricoquero, este hecho puede ser debido a que los principales procesos de crecimiento a nivel de raíz, tallo y fruto tienen lugar en el primer semestre del año, originándose la ya citada competencia por los asimilados. Una vez recolectados los frutos, el árbol parece dedicar sus recursos al crecimiento secundario (tejidos de reserva), ya que prácticamente no se producen nuevas elongaciones (Figura 6.7).



**Figura 6.8.** Evolución del crecimiento en longitud de los brotes de albaricoquero Búlida bajo condiciones de adecuado suministro hídrico. Los puntos corresponden a la media de 4 repeticiones  $\pm$  ES. 1997.



**Figura 6.9.** Evolución del crecimiento anual en diámetro del tronco de albaricoquero Búlida, bajo condiciones de adecuado suministro hídrico. Los puntos corresponden a la media de 4 repeticiones  $\pm$  ES. 1997.

### ***Crecimiento del fruto.***

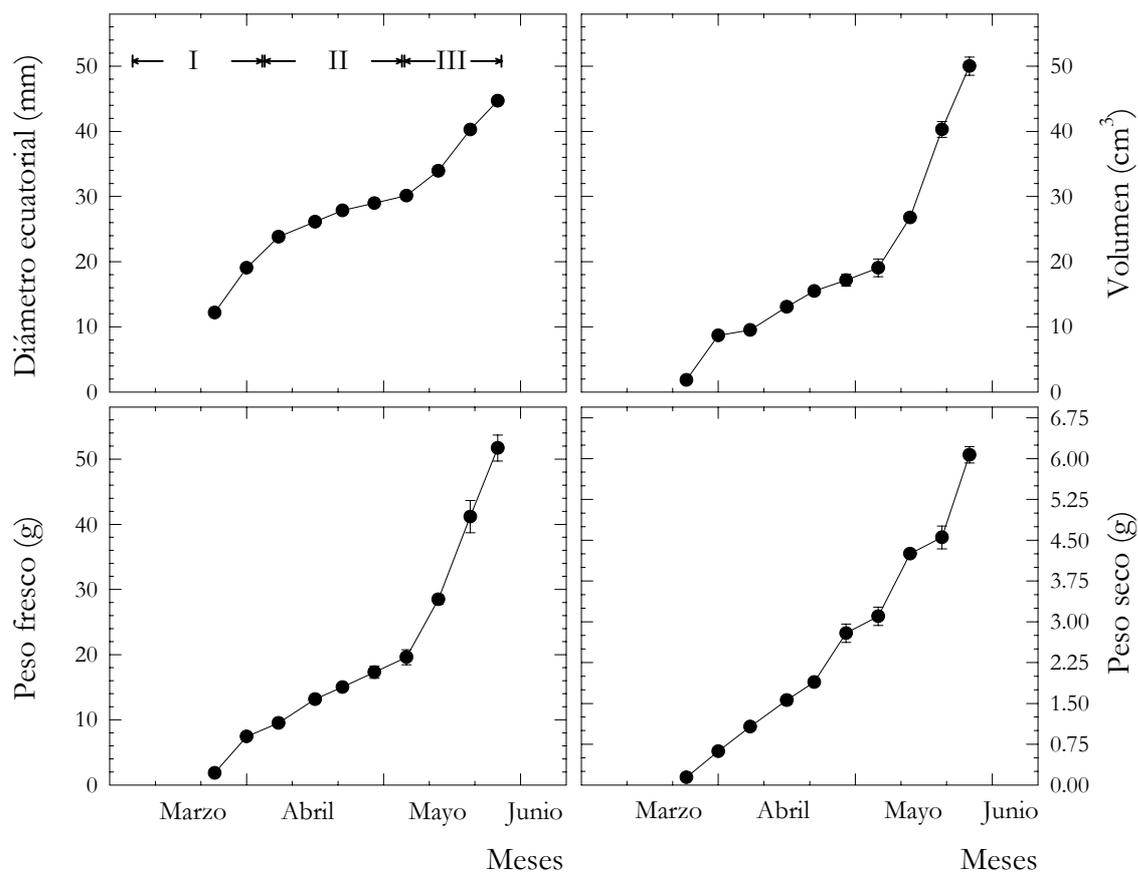
La caracterización de la dinámica de crecimiento del fruto, junto con la de los brotes, es fundamental para planificar el manejo del riego, desde un punto de vista más fisiológico. Incluso, Furr (1955) y Oppenheimer y Elze (1941) proponen el estudio de la evolución del fruto como un indicador útil en la programación del riego en cítricos y, en este mismo sentido, Assaf *et al.* (1982) en manzano.

En la figura 6.10 se muestran las evoluciones del diámetro ecuatorial, volumen, peso fresco y seco del albaricoque. En ellas, excepto en la del peso seco, que mantiene una tasa de acumulación prácticamente constante, se puede apreciar el patrón de crecimiento, en doble sigmoide, característico de los frutales de hueso (Baldini, 1992; Lichou y Audubert, 1989) en el que aparecen claramente diferenciadas tres fases de crecimiento: la fase I de intensa multiplicación y división celular y que incluye también el primer período de crecimiento rápido, correspondiente al aumento en volumen del endocarpio (Monet *et al.*, 1974).

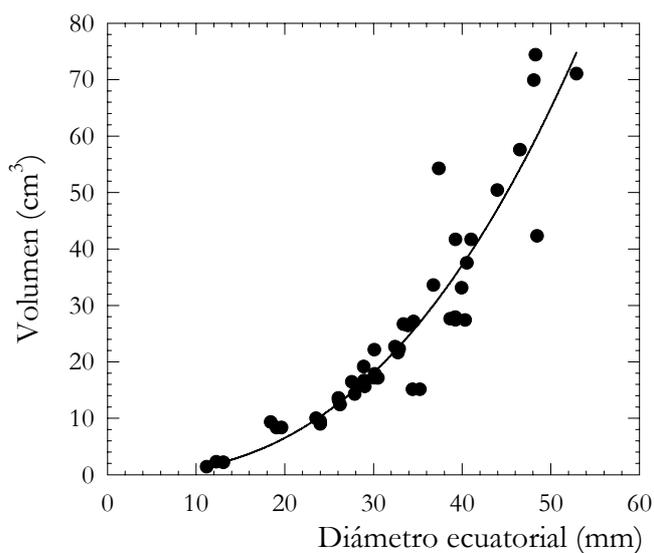
La fase II o de ralentización del crecimiento, donde tienen lugar los procesos de endurecimiento del hueso y crecimiento del embrión (Baldini, 1992; Navarro, 1978), y la fase III, correspondiente al segundo período de crecimiento rápido, básicamente debido al engrosamiento de las células del mesocarpio (Jackson y Coombe, 1966), alcanzándose en esta fase velocidades de crecimiento mayores de  $1 \text{ g d}^{-1}$  (Costes *et al.*, 1995). El primer sigmoide de la función corresponde, principalmente, al crecimiento de la pepita y el segundo al del pericarpio.

La fase de endurecimiento del hueso (II) es más fácilmente identificada en la curva correspondiente al crecimiento en diámetro ecuatorial del fruto, lo cual permite distinguir el cambio de fase en la evolución del crecimiento del albaricoque (Figura 6.10).

Por otra parte, en la figura 6.11 se muestra la ecuación de tipo potencial que evidencia la estrecha relación existente entre los valores del volumen de los frutos y su diámetro ecuatorial, para albaricoqueros bajo condiciones de adecuado suministro hídrico. Assaf *et al.*, (1982), Domingo *et al.*, (1996), González-Altozano (1998), Mitchell (1986) y Zekri y Parsons (1989), encontraron relaciones parecidas para el caso de manzana, limón, mandarina, pera y pomelo, respectivamente.

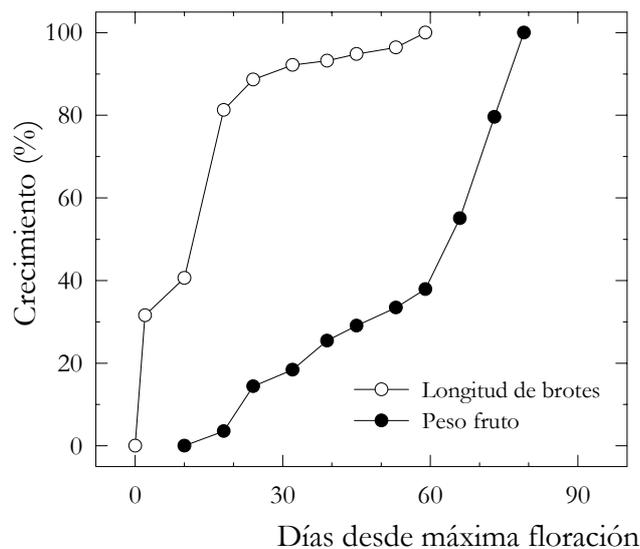


**Figura 6.10.** Evolución de las características físicas del albaricoque Búlida en condiciones de adecuado suministro hídrico. Los puntos corresponden a la media de 4 repeticiones  $\pm$  ES. 1998.



**Figura 6.11.** Relación entre el diámetro ecuatorial ( $\varnothing_E$ ) y el volumen del albaricoque Búlida, bajo condiciones de adecuado suministro hídrico ( $V = 0.0036 \cdot \varnothing_E^{2.51}$ ,  $R^2 = 0.87$ ).

El estudio conjunto del crecimiento de los brotes y frutos de albaricoquero, expresado en porcentaje respecto al total (Figura 6.12) muestra como el crecimiento de los frutos se inicia cuando, aproximadamente, se ha completado la mitad del crecimiento de los brotes. El final de la fase I de crecimiento del fruto coincide con el 93 % del crecimiento total de los brotes, mientras que la fase III comienza cuando se ha completado el crecimiento total de los brotes. De modo que aproximadamente el 35 % del crecimiento del albaricoquero se solapa con el de los brotes.



**Figura 6.12.** Crecimiento acumulado de brotes y frutos (% respecto al máximo) de albaricoquero Búlida bajo condiciones de adecuado suministro hídrico. 1998.

Este comportamiento es similar al encontrado en peral y melocotonero (Chalmers. 1990), pistacho (Goldhamer *et al.*, 1987) y limonero (Domingo *et al.*, 1996), en donde la fase de crecimiento del fruto más crítica al déficit de riego se inicia cuando se ha completado más del 90 % del crecimiento de los brotes, por lo que la competencia entre ambos procesos por los fotoasimilados será mínima. Sin embargo, en nogal existe una coincidencia entre los procesos de crecimiento activo de brotes y frutos (Goldhamer, 1989). La separación de ambos procesos es una característica ventajosa para la aplicación del riego deficitario controlado (Goldhamer, 1989; Sánchez-Blanco y Torrecillas, 1995).

## 6.4. Conclusiones.

El estudio de la fenología del albaricoquero Búlida ha permitido caracterizar los distintos períodos fenológicos del cultivo, tomando como referencia tanto una escala cronológica como un proceso fisiológico

determinado (máxima floración). Además se ha determinado que el inicio de la fase III de crecimiento del fruto (período crítico al déficit hídrico (Galego, 1998; Sansavini y Giannerini, 1991)), se diagnostica con facilidad a través de la evolución de sus parámetros físicos, y tras acumularse 15124 °C GDH.

El estudio fenológico del albaricoquero ha mostrado la existencia de una alternancia entre el crecimiento de la parte aérea (brotes, tronco y frutos) y el de las raíces, coincidiendo el final de los períodos de crecimiento radical con el comienzo del desarrollo de brotes y frutos.

Así mismo, los resultados indican que en albaricoquero existe una separación de los procesos de crecimiento de brotes y frutos, de forma que la aplicación de déficit de riego previamente a la fase III de crecimiento del fruto, sólo afectaría al crecimiento vegetativo, lo cual tiene connotaciones favorables por disminuir la poda (Mitchell *et al.*, 1989). En cualquier caso, Goldhamer (1989) señala que esta separación resulta esencial para la aplicación con éxito de estrategias de RDC en cultivos leñosos.

En consecuencia, los resultados anteriores, junto con el conocimiento de los mecanismos desarrollados en respuesta al estrés hídrico, vienen a validar la posibilidad de aplicar una estrategia de RDC al albaricoquero Búlida. De esta forma se aportaría el 100 % de la ETc durante los períodos críticos correspondientes a la segunda fase de crecimiento rápido del fruto, y la fase postcosecha inicial (Torrecillas *et al.*, 2000), mientras que, durante el resto del ciclo de cultivo, se aplicaría un déficit de riego que implicase un ahorro considerable de agua y que no diese lugar a la aparición de una situación de estrés trascendental para la producción y calidad del albaricoque.

**7. Respuesta al riesgo deficitario controlado (RDC).**

## 7.1. Introducción.

En el área mediterránea, la escasez e irregularidad de las precipitaciones, unido a la alta demanda evaporativa son causas de desarrollo de fuertes déficits hídricos estacionales. Bajo estas condiciones es imposible lograr cosechas de alto rendimiento y calidad comercial si falta el agua para el riego regular de los cultivos. La escasez de recursos hídricos en el área ha promovido el desarrollo de estudios centrados en la optimización y mejora de la eficiencia en el uso del agua de riego (Domingo *et al.*, 1996; Girona *et al.*, 1993; González-Altozano y Castel, 1999).

El riego deficitario controlado (RDC) es una estrategia de riego introducida con éxito por Chalmers y colaboradores (Mitchell y Chalmers, 1982; Mitchell *et al.*, 1986; Mitchell *et al.*, 1989), basada en la idea de reducir los aportes hídricos en aquellos períodos fenológicos en los que un déficit hídrico controlado no afecta sensiblemente a la producción y calidad de la cosecha y de cubrir plenamente las necesidades de la planta durante el resto del ciclo de cultivo.

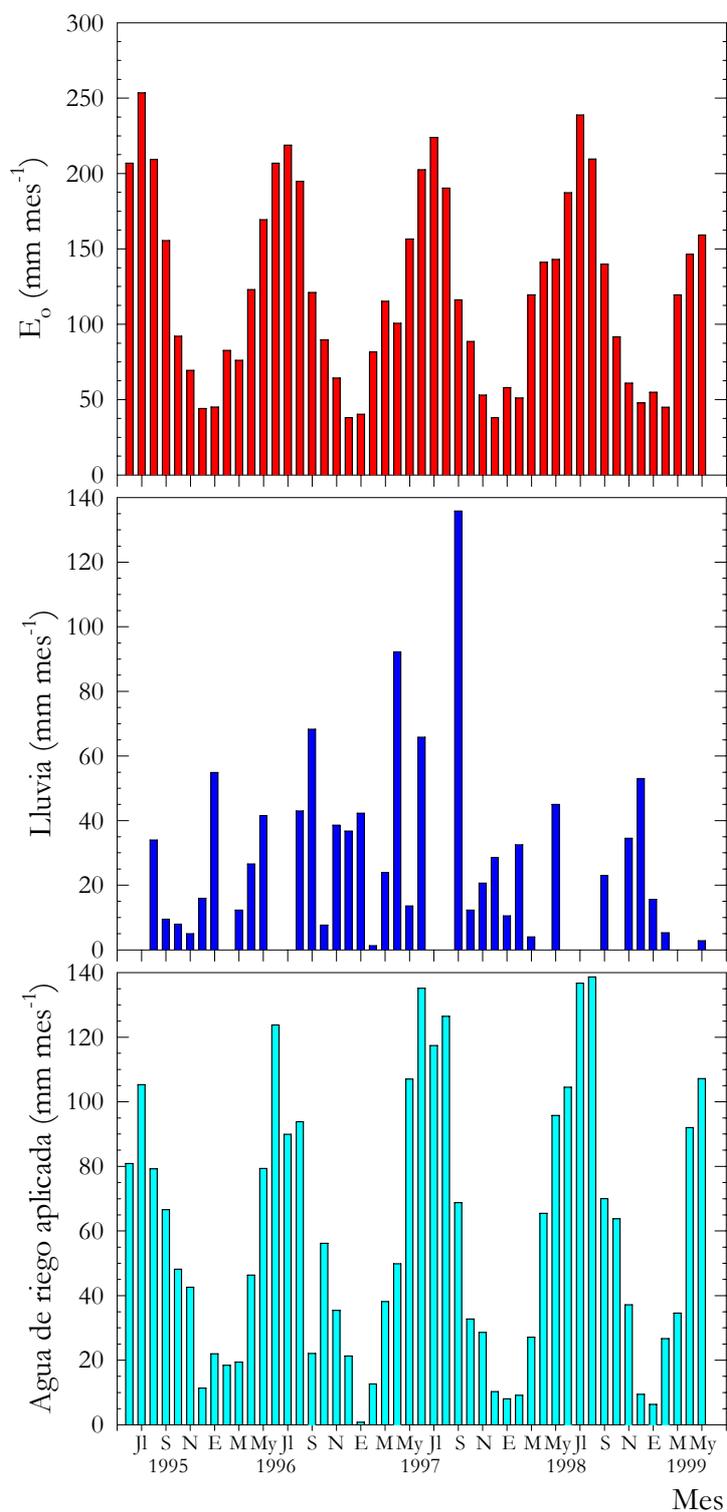
Basándonos en los buenos resultados obtenidos con la técnica de RDC en melocotonero, peral y cítricos (Domingo *et al.*, 1996; González-Altozano y Castel, 1999; Mitchell y Chalmers, 1982; Mitchell *et al.*, 1986) iniciamos un ensayo al objeto de evaluar la idoneidad del albaricoquero para ser sometido a estrategias de RDC. Para ello, cantidades de agua inferiores a las necesarias fueron aplicadas durante los períodos de menor sensibilidad al déficit hídrico, mientras que se aplicó la totalidad de sus necesidades en los períodos críticos (segundo período de crecimiento rápido del fruto y durante los dos meses siguientes a la cosecha) (Ruiz-Sánchez *et al.*, 1999; Torrecillas *et al.*, 2000).

## 7.2. Material y Métodos.

### 7.2.1. Condiciones experimentales.

Los trabajos se desarrollaron durante las campañas 1995/96 a 1998/99 en la explotación agrícola 'El Minglanillo'. Las características de la parcela, material vegetal, tipo de suelo, sistema y manejo del riego han sido descritas en el capítulo anterior.

Durante el período experimental, la climatología fue típicamente mediterránea. La evaporación en cubeta clase A ( $E_o$ ) osciló entre 1.4 (enero) y 7.5 mm d<sup>-1</sup> (julio), siendo la media anual de 1 470 mm, y la precipitación de 320 mm (Figura 7.1 y Tabla 7.1).



**Figura 7.1.** Evolución de la evaporación en cubeta clase A ( $E_o$ ), lluvia y agua de riego aplicada al tratamiento control durante el período 1995-1999.

### 7.2.2. Tratamientos.

Se aplicaron 4 tratamientos de riego, distribuidos según un diseño experimental de bloques al azar, con 4 bloques (A, B, C, D) y una repetición por bloque de cada tratamiento. Cada repetición estaba formada por 2 hileras de 8 árboles cada una, considerando la primera fila, según el sentido de circulación del riego, y los árboles extremos de la segunda como bordes, y los 5 restantes de la segunda como árboles testigo (Figura 7.2).

Los tratamientos ensayados fueron: un tratamiento control (T1), con riego al 100 % de la ETc durante todo el ciclo (apartado 6.2.1), otro denominado T2, con riego al 50 % del T1, y otros dos de riego deficitario controlado, RDC, (T3 y T4) regados al 100 % de la ETc durante los períodos críticos (segunda fase de crecimiento rápido del fruto y durante los dos meses siguientes a la recolección) y con porcentajes de aplicación variable durante el resto del ciclo de cultivo de las campañas 1995/96 y 1996/97, mientras que éstos fueron del 60 y 40 % de la ETc para el T3 y T4, respectivamente, en las dos últimas campañas (Figura 7.3 y Tabla 7.1).

**Tabla 7.1.** Fechas de máxima floración, del período de riego al 100 % de la ETc en los tratamientos de RDC y de la primera recolección durante el período experimental.

Año	Máxima floración	Riego al 100 %	1ª recolección
1996	20 marzo	16 mayo – 9 septiembre	24 mayo
1997	5 marzo	28 abril – 12 agosto	12 mayo
1998	8 marzo	28 abril – 3 septiembre	25 mayo
1999	1 marzo	23 abril	15 mayo

El volumen medio de agua aplicado en el tratamiento control fue de unos 7000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y los ahorros de agua derivados de la aplicación de los tratamientos de RDC oscilaron entre valores máximos del 46 % (T4 en 1995/96) y mínimos del 15 % (T3 en 1997/98) (Tabla 7.1).

**Tabla 7.2.** Climatología, riego y porcentaje de ahorro de agua en la parcela experimental.

mm	1995/96	1996/97	1997/98	1998/99	Media
<b>Eo</b>	1527	1428	1425	1501	<b>1470</b>
<b>Lluvia</b>	208	368	355	134	<b>266</b>
<b>Riego (T1)</b>	656	649	722	774	<b>700</b>
<b>% de ahorro de agua respecto al T1</b>					
<b>T2</b>	51	52	45	51	<b>50</b>
<b>T3</b>	39	30	15	17	<b>25</b>
<b>T4</b>	46	39	21	22	<b>32</b>

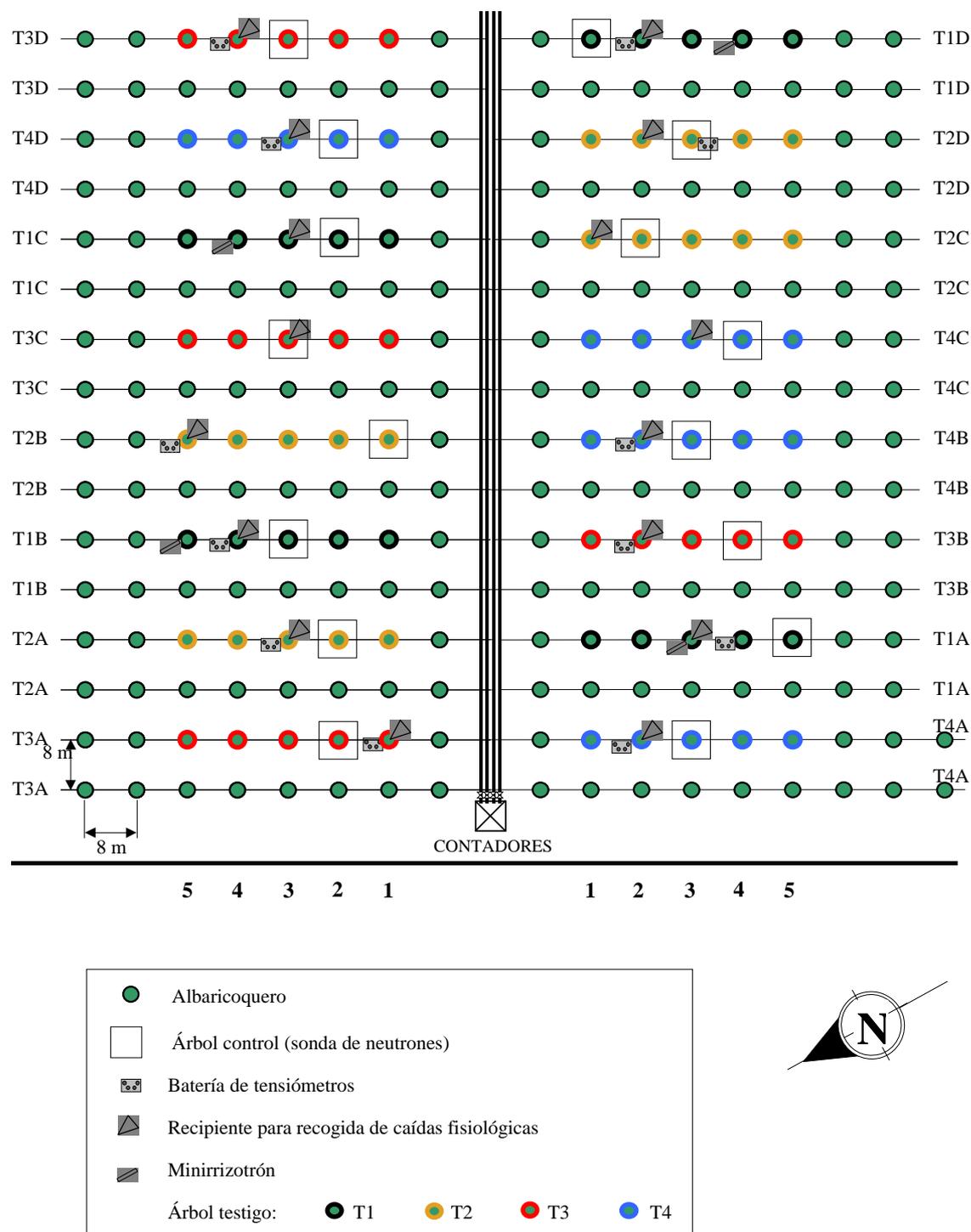


Figura 7.2. Distribución de los tratamientos de riego y ubicación del equipamiento de medida en la parcela experimental.

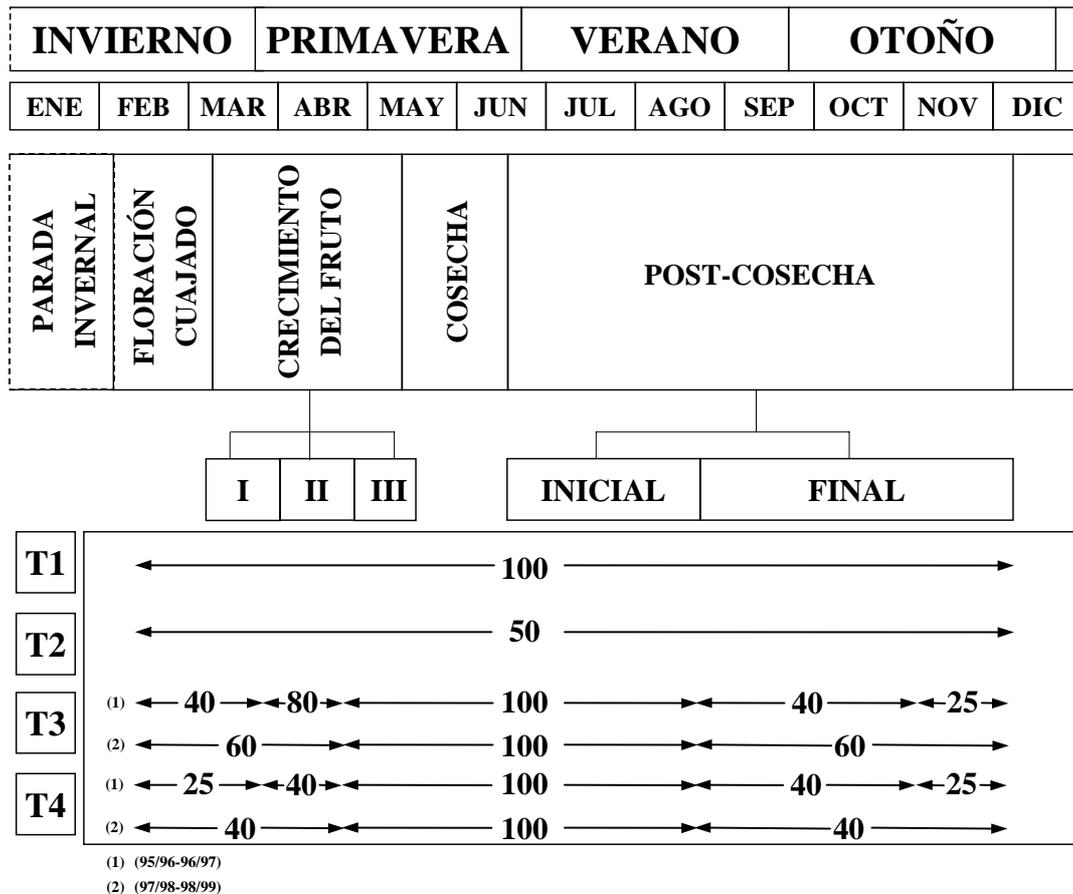


Figura 7.3. Porcentaje de la ETc aplicado en cada tratamiento de riego y período fenológico del cultivo.

### 7.2.3. Medidas.

Se controlaron los parámetros siguientes, según la metodología descrita en el capítulo 3.

#### *Suelo.*

Para el control del estado hídrico del suelo se realizó un seguimiento del potencial matricial del agua en el suelo ( $\Psi_m$ ) con tensiómetros situados a 30, 60 y 90 cm de profundidad, en 3 bloques por tratamiento. El contenido volumétrico ( $\theta_v$ ) fue medido con sonda de neutrones, en 4 tubos por bloque y tratamiento, situados perpendicularmente al lateral de riego (Figura 3.1).

La salinidad del suelo en el bulbo húmedo del gotero se determinó en base a medidas de conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEe) y concentración de cloruros (Cl), en muestras tomadas en abril de 1998, coincidiendo con el final del período de déficit de riego en los tratamientos deficitarios, en 2 repeticiones por tratamiento.

### **Planta.**

El estado hídrico de la planta fue evaluado a partir de medidas de potencial hídrico foliar y sus componentes, antes del alba y a mediodía, con cámara de presión y osmómetro. La conductancia foliar ( $g_i$ ) y fotosíntesis neta ( $F_n$ ) se midieron con aparato de intercambio gaseoso portátil. Las medidas se realizaron cada 7-20 días en 16 hojas adultas (4 hojas por árbol y 1 árbol por bloque) en cada tratamiento. La temperatura de la cubierta vegetal ( $T_f$ ) se midió con un termómetro de infrarrojos, realizando 6 medidas en 2 árboles por bloque y tratamiento.

En determinados momentos del ciclo de cultivo se realizaron evoluciones diarias de los parámetros hídricos foliares anteriormente citados, con medidas cada 2 h desde antes del alba hasta el anochecer.

La concentración foliar en elementos nutritivos se determinó en 1997, mediante muestreo mensual, en todos los árboles testigo de los tratamientos de riego.

La floración y fructificación se determinó a partir de conteos de yemas, flores y frutos realizados en 4 ramas por árbol en 2 árboles por bloque y tratamiento. La caída fisiológica de yemas, flores, frutos y hojas se evaluó a partir de los elementos recogidos en los 16 recipientes instalados con tal fin (1 por bloque de cada tratamiento).

El crecimiento vegetativo se evaluó en base a medidas de distribución de raíces, longitud de brotes, diámetro de tronco y ramas principales, superficie sombreada, área foliar y peso de la poda de otoño. La distribución radical se estudió en muestras de suelo tomadas en el invierno de los años 1997 y 1999, en 1 árbol por tratamiento representativo de la parcela. La longitud de los brotes se midió quincenalmente en 4 brotes marcados por árbol y en 2 árboles por bloque de cada tratamiento. El crecimiento del tronco, así como el peso de la poda se controló anualmente en todos los árboles testigo de la parcela. El índice de área foliar y la superficie sombreada se determinó en 2 árboles por tratamiento, en 1999.

El diámetro del fruto fue medido semanalmente, desde el cuajado hasta la recolección, usando un calibre digital. En 1996 y 1997 el estudio se realizó a partir de 10 frutos marcados en cada uno de los 20 árboles testigo de cada tratamiento. En 1998 y 1999, el diámetro se determinó en 100 frutos, escogidos al azar de los 5 árboles testigo de cada bloque y tratamiento.

Paralelamente, en 1997 y 1998 se realizó un muestreo semanal tomando 20 frutos por bloque y tratamiento, en los que se realizaron medidas de las características físicas (diámetro ecuatorial, longitudinal y de sutura, peso

fresco y seco, volumen, firmeza y color de la piel) y las químicas (acidez, pH, sólidos solubles, ácidos orgánicos, elementos minerales, pigmentos fotosintéticos y carotenoides).

El control de la producción se realizó durante los meses de mayo y junio de cada año, pesando el total de frutos recolectados en cada fecha y evaluando el número de frutos por árbol. Además se determinaron las características físicas de los frutos en cada fecha de recolección, en muestras de 20 frutos por bloque. En 1997 y 1998 el estudio se completó con medidas de las características químicas en cada fecha de recolección.

El efecto de los tratamientos de riego fue determinado mediante análisis de la varianza de los datos de cada año, según diseño factorial de bloques al azar, usando el procedimiento GLM del paquete estadístico SPSS 7.5.1 (SSPS Inc., 1996).

El modelo estadístico que corresponde al diseño empleado es:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + TB_{ij} + \varepsilon_{k(ij)}$$

donde:

$Y_{ijk}$  : valor observado para la variable.

$\mu$  : efecto común debido a la media propia de la variable en la población.

$T_i$  : efecto debido al tratamiento de riego (factor fijo)

$$i = 1, 2, 3, 4$$

$B_j$  : efecto debido al bloque (factor aleatorio)

$$j = 1, 2, 3, 4$$

$TB_{ij}$  : efecto de la combinación (interacción) entre el tratamiento y el bloque.

$\varepsilon_{k(ij)}$  : efecto de la unidad experimental o árbol (error experimental)

$$k = 1, 2, 3, 4, 5 \text{ (dentro de cada } ij)$$

[en el caso de una repetición por bloque,  $k = 1$  (para cada  $ij$ ) y por tanto  $B_j$  y  $\varepsilon_{k(ij)}$  están fundidos].

El crecimiento de la sección del tronco fue analizado usando el valor correspondiente a 1995 (inicio del ensayo) como covariable.

## 7.3. Resultados y Discusión.

### 7.3.1. Relaciones Agua-Suelo-Planta.

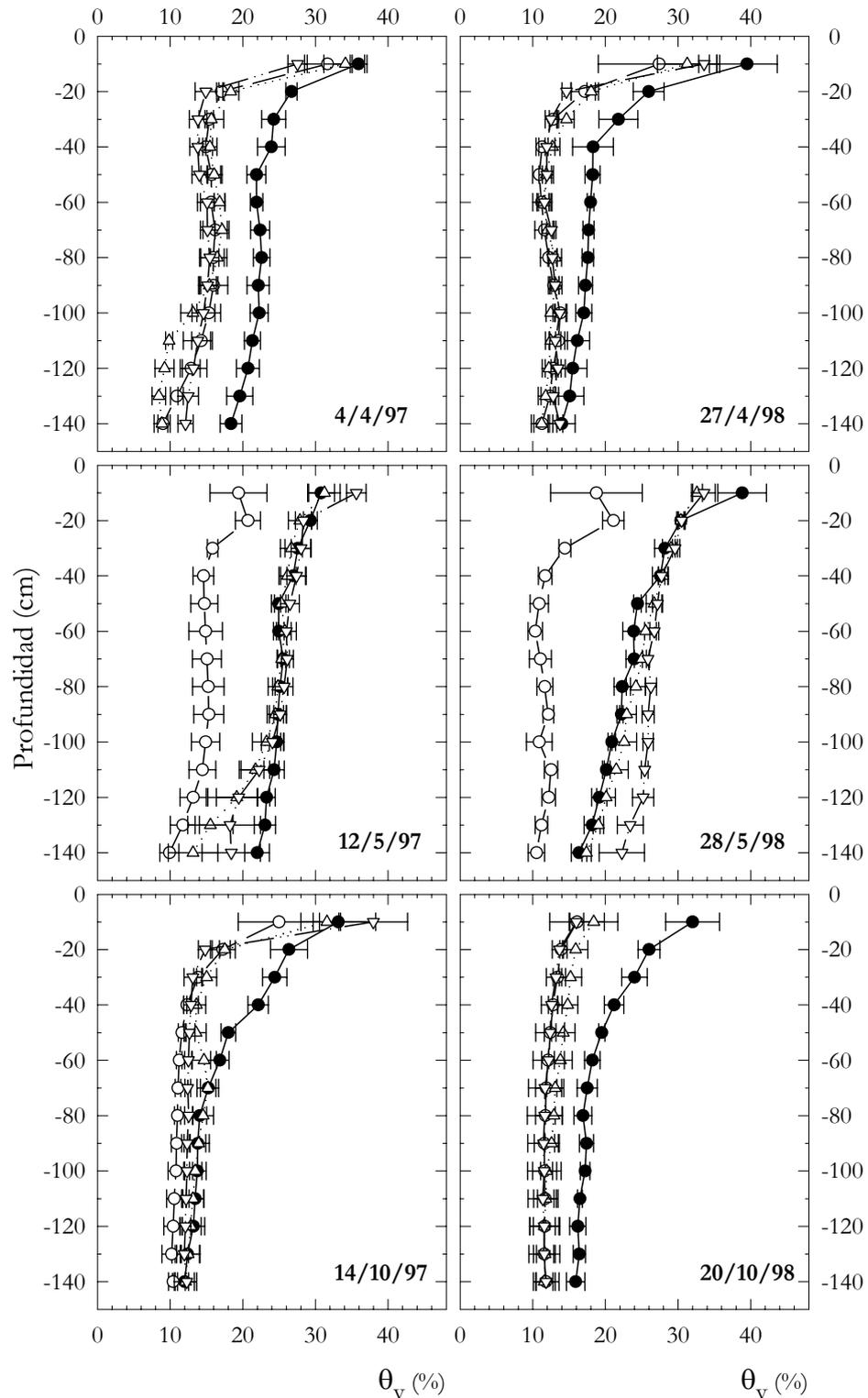
#### *Agua-Suelo.*

Durante las 4 campañas de estudio se realizaron medidas de humedad volumétrica en el suelo ( $\theta_v$ ), con sonda de neutrones, cada 10 cm y hasta la profundidad de 140 cm. A pesar de las irregularidades del terreno, la variabilidad tridimensional originada por el propio sistema de riego y la influencia de la pendiente, los valores obtenidos en el tiempo siguieron una conducta razonable en todos los tratamientos de riego ensayados.

En la figura 7.4 se muestran los perfiles hídricos de  $\theta_v$ , para los 4 tratamientos de riego, durante 1997 y 1998. Estos perfiles representan las tres etapas más relevantes de la estrategia de riego seguida (Figura 7.3). En el mes de abril, coincidiendo con las fases I y II de crecimiento del fruto, las reducciones de riego aplicadas a los tratamientos T3 y T4 originaron una disminución del agua en el suelo en la zona radicular más activa; en mayo, (fase III de crecimiento del fruto) se produjo una recuperación de los niveles de humedad en los tratamientos deficitarios, cuando los aportes de agua cubrieron el 100 % de la ETc, a excepción del T2 que permaneció al 50 % ETc. En octubre, período postcosecha final, se evidencia la reducción de la humedad del suelo en todo el perfil, al disminuir los aportes hídricos en los tratamientos de RDC.

Los valores de  $\theta_v$  en el tratamiento control (T1) y en la profundidad de máxima actividad radical (primeros 40 cm) se mantuvieron relativamente constantes y con valores medios próximos a capacidad de campo ( $\theta_{vCC} = 29.4$  %). Estos valores fueron disminuyendo paulatinamente con la profundidad, alcanzándose valores medios del 16 % a 140 cm.

Es de destacar la gran uniformidad de los perfiles correspondientes a los tratamientos T2, T3 y T4 durante los meses de abril y octubre, e igualmente durante mayo para los del T1, T3 y T4. Esta tónica era esperable, ya que los ahorros de agua en los tratamientos deficitarios son muy parecidos entre sí durante abril y octubre y que los tratamientos T3 y T4 recibieron idénticos volúmenes de riego que el control durante mayo. Así mismo, se observan claras diferencias de contenido de humedad entre los tratamientos T1 y T2 a lo largo de todo el año, manteniendo este último, para las profundidades superiores a 40 cm, valores de contenido de humedad cercanos al punto de marchitez (Figura 7.4).



**Figura 7.4.** Perfiles hídricos de humedad volumétrica ( $\theta_v$ ) correspondientes al tubo de acceso situado junto al gotero, en dos fechas representativas de los meses de abril, mayo y octubre de 1997 y 1998 en los 4 tratamientos de riego: T1 (□), T2 (●), T3 (△) y T4 (◇). Los puntos corresponden a la media de 4 repeticiones  $\pm$  ES.

Los bajos valores de  $\theta_v$  del tratamiento control durante el mes de octubre sugieren la aplicación de dotaciones hídricas ligeramente inferiores a las necesarias para satisfacer la evapotranspiración máxima del cultivo.

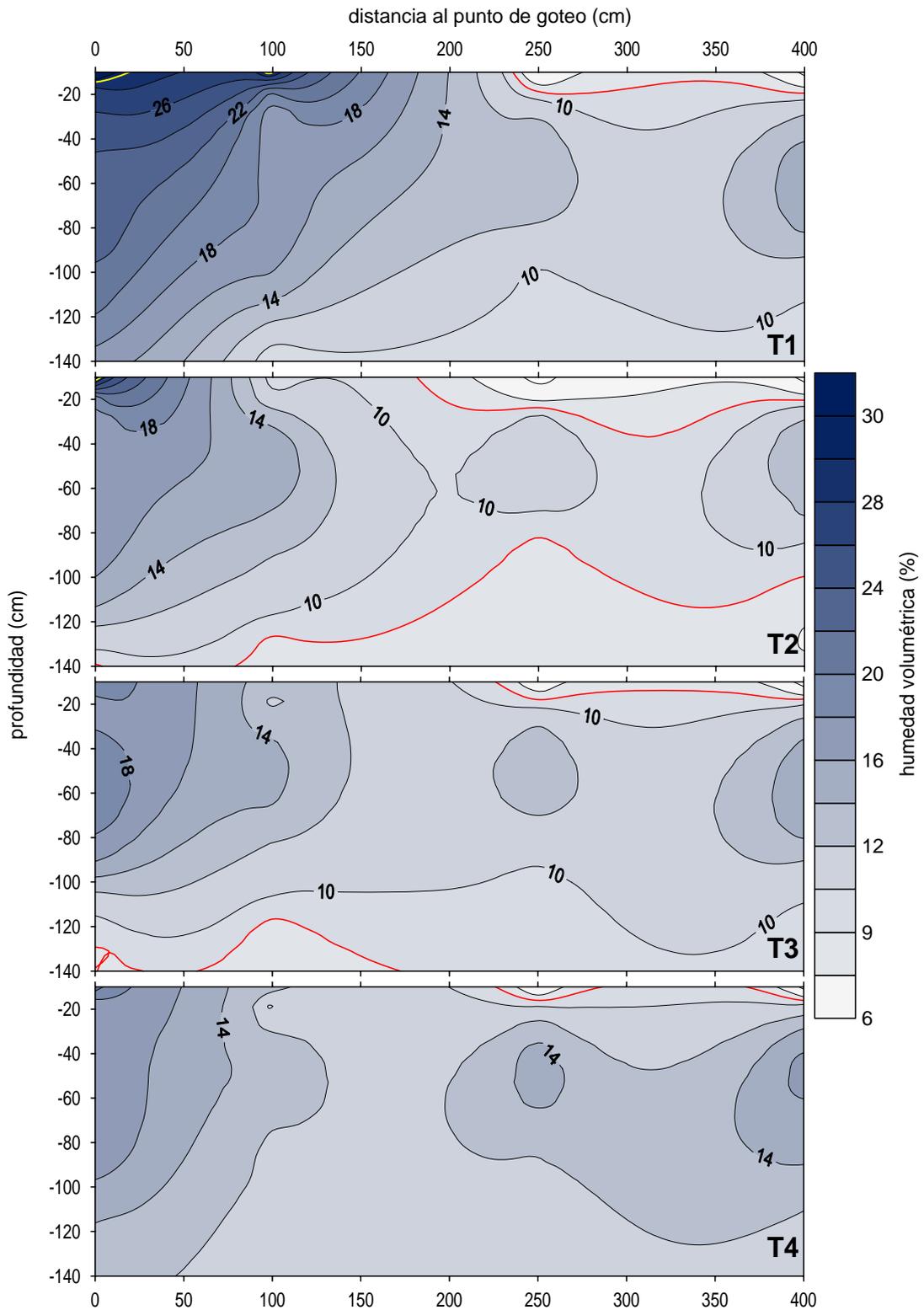
Al igual que en los perfiles mostrados en la figura 7.4, las curvas de isovalores para  $\theta_v$  en dos fechas distintas a las anteriores: una en marzo, con reducciones del riego del 60 y 75 % para los tratamientos T3 y T4, respectivamente (Figura 7.5) y otra en julio, coincidiendo con el período de riego al 100 % de la ETc en ambos tratamientos (Figura 7.6), muestran diferencias netas durante el período de reducción del riego y la gran similitud de la distribución del agua en los tratamientos cuando son regados al 100 % de la ETc. En estos mapas de isovalores se han identificado con una línea amarilla y otra roja las zonas con contenidos de humedad por encima y por debajo de los correspondientes a capacidad de campo y punto de marchitez, respectivamente, con el fin de facilitar la caracterización del bulbo húmedo.

La evolución del stock hídrico correspondiente al marco de plantación y a la profundidad de 1.40 m (Figura 7.7) se ha obtenido a partir de las medidas de contenido de humedad de los 4 tubos, teniendo en cuenta las superficies correspondientes a cada uno, ya descritas en el capítulo 3 (Tabla 3.2).

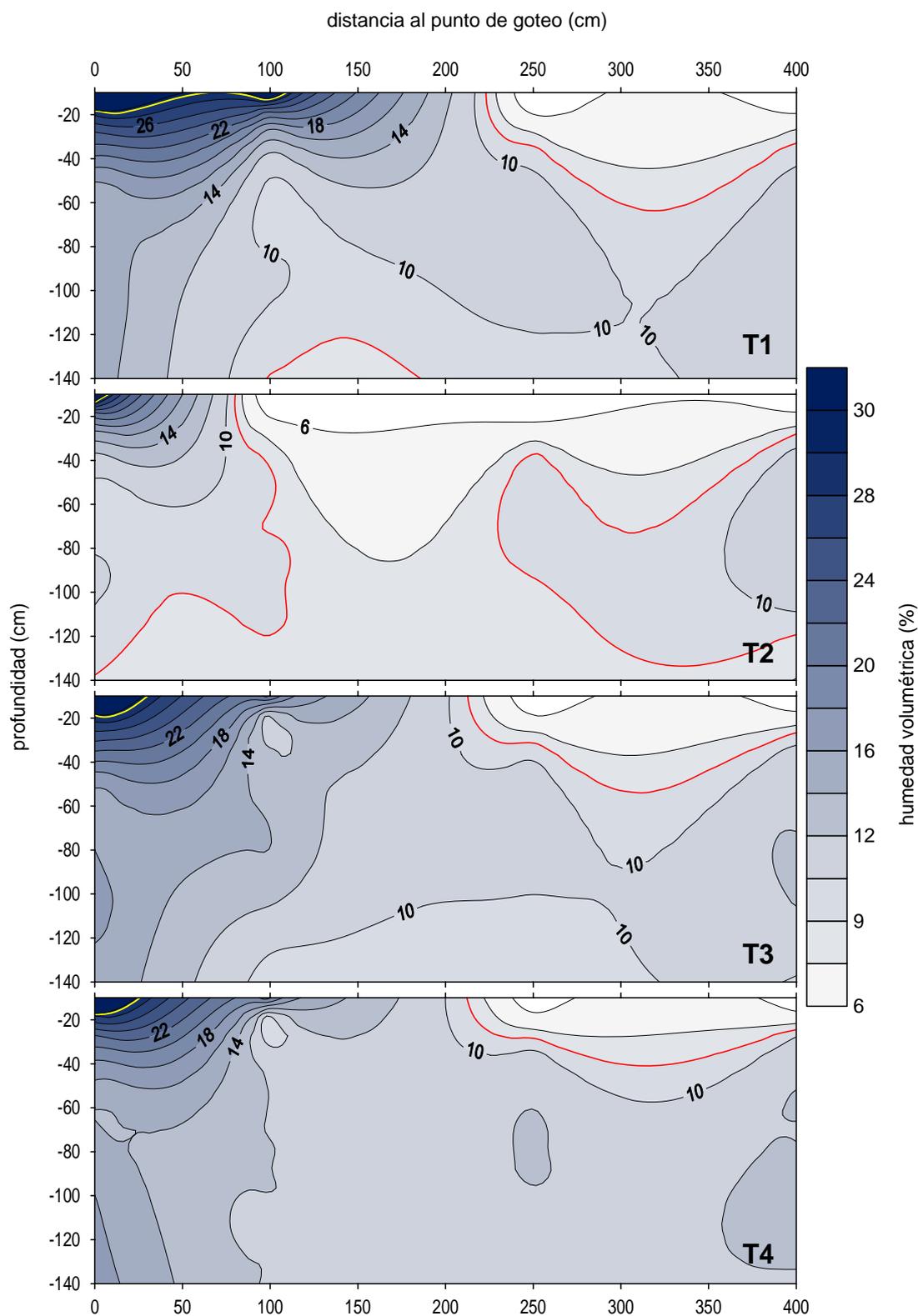
Los valores de stock para el tratamiento control permanecieron en torno a 200 mm durante casi todo el año, mientras que en el T2 éstos fueron del orden de 130 mm. Tras reanudarse el riego al 100 % de la ETc, después del período de déficit en los tratamientos de RDC, se observa la recarga del perfil del suelo, que en el caso del tratamiento T4 pasó de 149 a 185 mm, 9 días después; en el mismo tiempo el T3 pasó de 146 a 174 mm. Cuando a principios de septiembre se indujo de nuevo el déficit hídrico en los tratamientos de RDC, los valores de stock hídrico disminuyeron de forma significativa (Figura 7.7).

Las evoluciones del potencial matricial a las profundidades de 30, 60 y 90 cm, correspondientes a 1998 se recogen en la figura 7.8. En ella, se aprecia la marcada influencia del régimen de riego en los valores de  $\Psi_m$ . En el tratamiento control, en la zona húmeda y de mayor actividad radical (30 cm) el  $\Psi_m$  se mantuvo dentro de valores correspondientes a capacidad de campo, con -23 kPa de media. Estos valores descendieron con la profundidad, alcanzándose niveles medios de -38 y -46 kPa, a 60 y 90 cm, respectivamente. Contrariamente, en el tratamiento T2, para las tres profundidades y en la generalidad del año, se dieron valores inferiores al rango de lectura del tensiómetro, inclusive en períodos de lluvias, debido a la baja eficiencia de las mismas. En los tratamientos de RDC se dio una situación intermedia, con

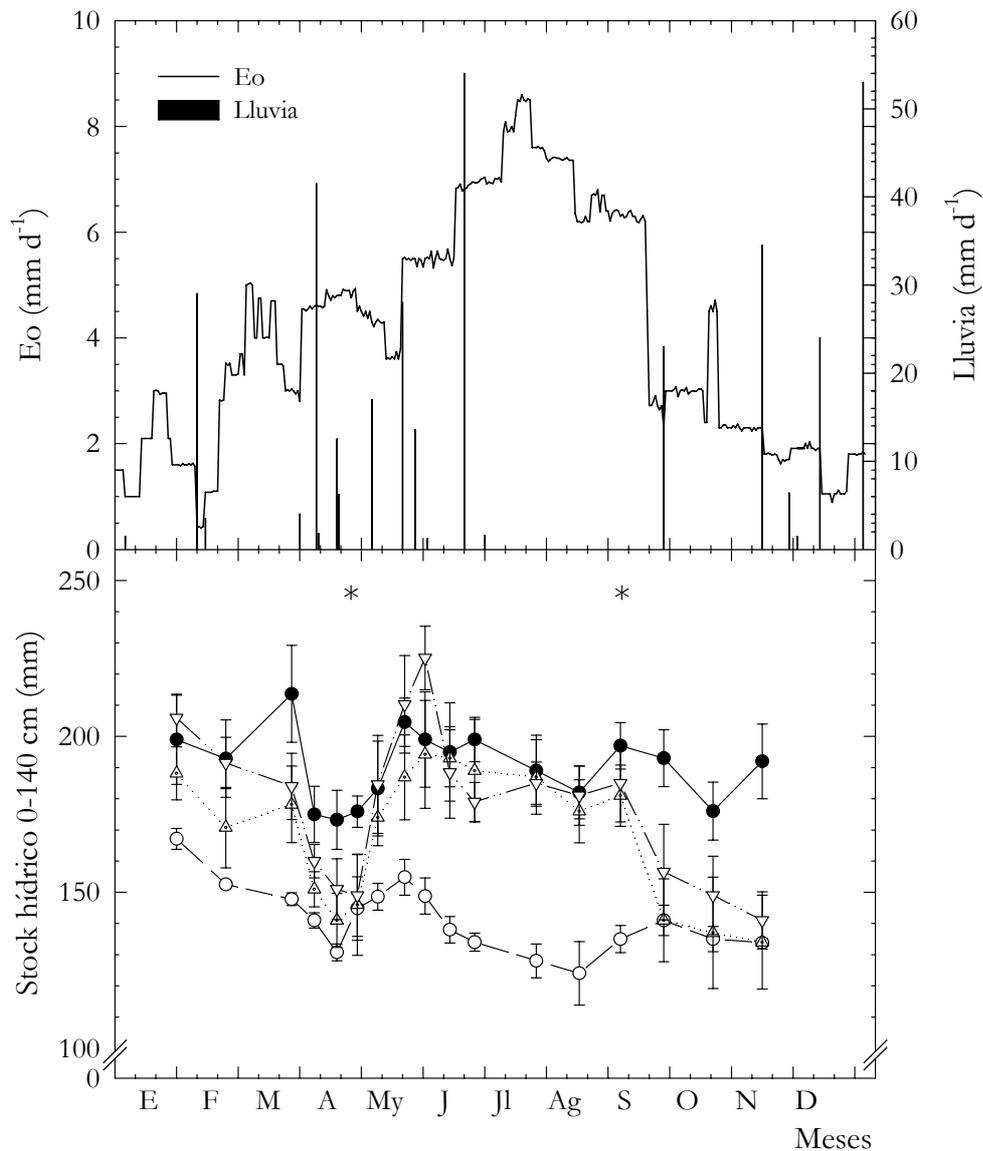
valores parecidos a los del T2 en los períodos de reducción del riego y similares a los del T1 cuando se aplicó el total de las necesidades estimadas.



**Figura 7.5.** Mapa de isovalores, obtenidos por kriging, de humedad volumétrica ( $\theta_v$ ) en el tubo situado en la línea portagoteros (0-140 cm de profundidad) para los 4 tratamientos de riego. Los valores son media de 4 repeticiones. Marzo, 1997.



**Figura 7.6.** Mapa de isovalores, obtenidos por kriging, de humedad volumétrica ( $\theta_v$ ) en el tubo situado en la línea portagoteros (0-140 cm de profundidad) para los 4 tratamientos de riego. Los valores son media de 4 repeticiones. Julio, 1997.



**Figura 7.7.** Evolución del stock hídrico representativo del marco de plantación (0 a 140 cm de profundidad) en los 4 tratamientos de riego: T1 (○), T2 (△), T3 (□) y T4 (●). Los puntos corresponden a la media de 4 repeticiones  $\pm$  ES. \* indica el cambio de riego en los tratamientos T3 y T4. 1998.

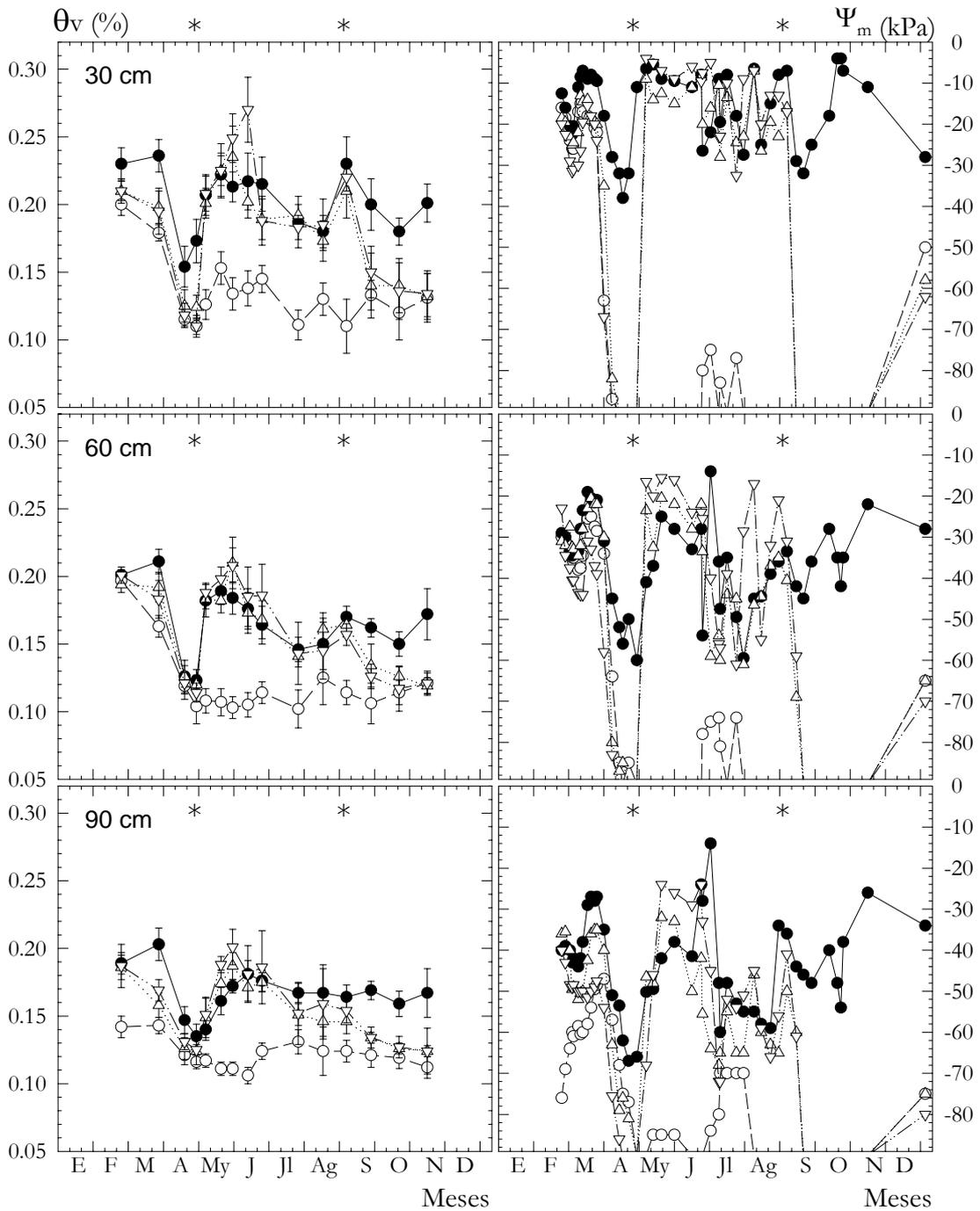
Teniendo en cuenta que la porción de suelo humectado por el sistema de riego está en torno al 22 %, los valores de  $\Psi_m$  registrados durante los períodos de déficit son considerados como muy bajos y capaces de inducir un déficit hídrico significativo en la planta (Du Plessis, 1988; Fereres *et al.*, 1981). El manejo del riego seguido en el tratamiento control permitió el mantenimiento de potenciales matriciales altos en la zona radical de mayor actividad (Figura 7.8), lo que es acorde con los criterios de Pogue y Pooley (1985).

Las determinaciones del gradiente hidráulico entre las profundidades de 30 a 60 cm y de 60 a 90 cm fueron indicativas de flujo descendente, si bien la baja conductividad hidráulica del suelo, para los contenidos de humedad observados a 140 cm de profundidad, dio lugar a pequeños drenajes, entre el 5 y 10 % (Ruiz-Canales, 2000), lo que es compatible en el riego por goteo con aguas de baja salinidad (Fererres *et al.*, 1981)

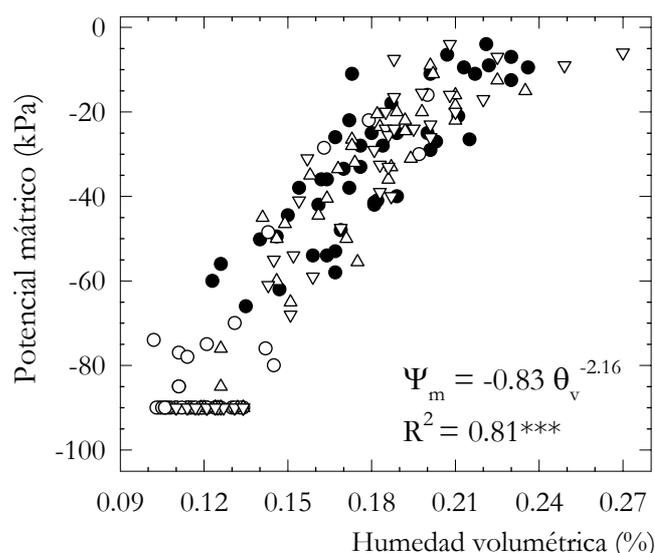
La disminución drástica de la energía del agua en el suelo en los tratamientos deficitarios se inicia a finales de marzo (Figura 7.8), coincidiendo con uno de los períodos de crecimiento más activos del árbol, con el aumento de la demanda evaporativa y con la consiguiente disminución de las reservas de agua en el suelo, llegando a un claro déficit hídrico, que en el caso de los tratamientos T3 y T4 se prolonga durante prácticamente todo el mes de abril al mantenerse las reducciones de riego. En el tratamiento T2 la reducción de  $\Psi_m$  se mantiene hasta mediados de noviembre, observándose una ligera recuperación cuando aparecen las primeras lluvias otoñales y disminuye la demanda evaporativa (Figura 7.8). La recarga hídrica del perfil del suelo, a niveles similares al control, requirió de unos ocho días tras el cambio de riego al 100 % de las necesidades del árbol. En este período y a 30 cm de profundidad los tratamientos T3 y T4 pasaron de potenciales matriciales inferiores a -80 kPa a niveles similares a los del control (-8 kPa).

El contenido medio de humedad volumétrica obtenido a partir de los tubos de acceso situados en el punto de goteo y a 50 cm de éste, para las profundidades de 30, 60 y 90 cm, siguió una tónica muy similar a la evolución de las lecturas tensiométricas (Figura 7.8). Por esta razón, la relación encontrada entre  $\theta_v$  y  $\Psi_m$  mostró un buen ajuste para el conjunto de los años y para cada uno de los tratamientos por separado (Figura 7.9). La ecuación que mejor se ajustó fue del tipo:  $\Psi_m = a \theta_v^b$ , expresiones de uso frecuente en física de suelos (González-Altozano, 1998; Marshall y Holmes, 1988). La dispersión de puntos mostrada es debida, fundamentalmente, a la variabilidad espacial del terreno y al fenómeno de histéresis (Watson *et al.*, 1975).

La distribución de sales en el perfil del suelo fue evaluada durante 1998, en dos puntos diferentes del volumen humedecido por el gotero: frente húmedo y punto de goteo. Las isóneas de los valores de conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEe) y de concentración de cloruros (Cl) en los distintos tratamientos de riego, en el muestreo realizado justo antes del cambio de riego al 100% de la ETc en los tratamientos T3 y T4 (final de abril) se vio afectada por el manejo de riego seguido (Figura 7.10).



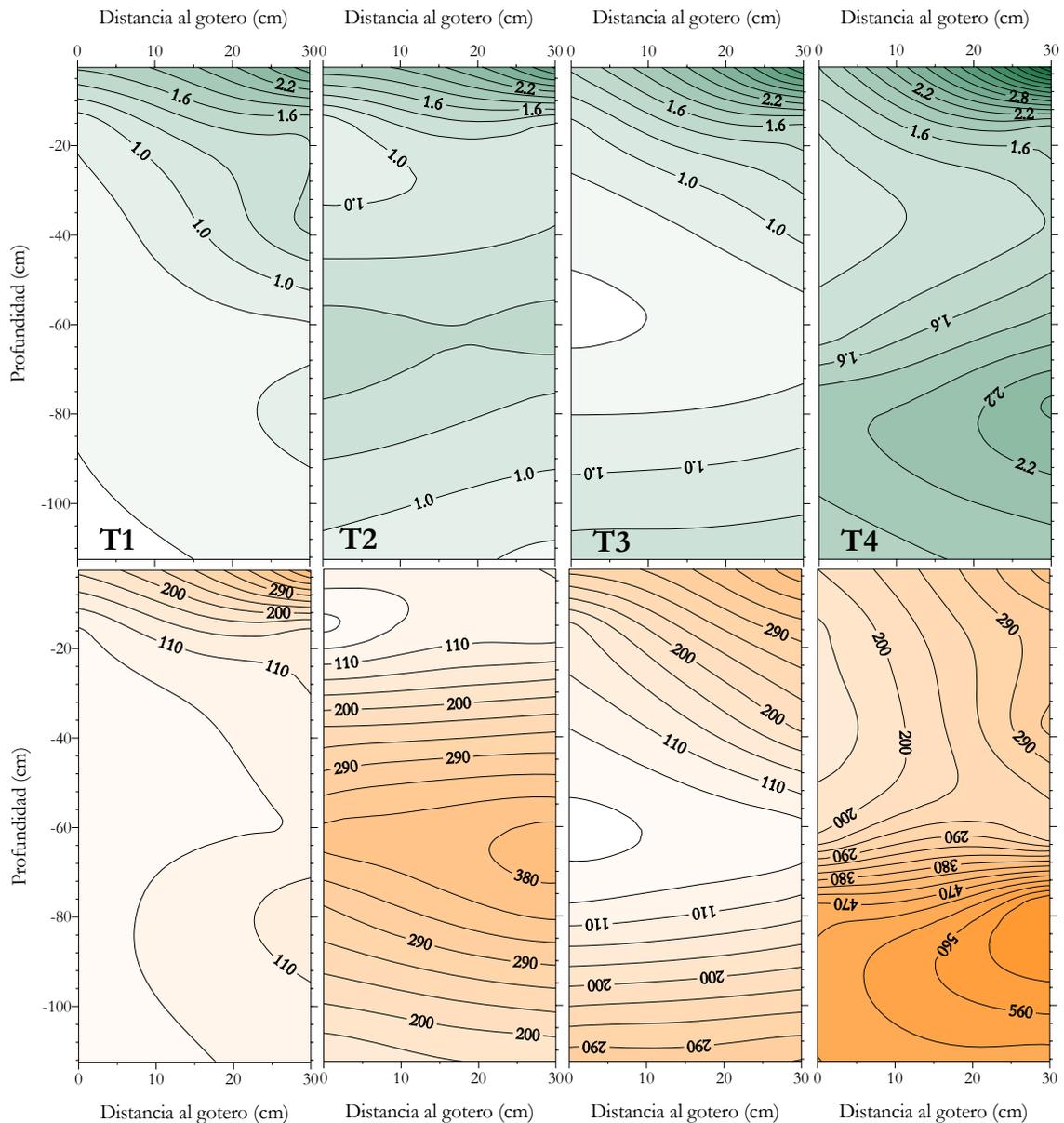
**Figura 7.8.** Evolución del contenido de humedad ( $\theta_v$ ) y del potencial matricial ( $\Psi_m$ ) en los 4 tratamientos de riego: T1 (○), T2 (△), T3 (□) y T4 (◇) a las profundidades de 30, 60 y 90 cm. Los puntos corresponden a la media  $\pm$  ES. \* indica el cambio de riego en los tratamientos T3 y T4. 1998.



**Figura 7.9.** Relación entre el contenido volumétrico ( $\theta_v$ ) y el potencial matricial del agua en el suelo ( $\Psi_m$ ). Cada punto representa la media del contenido de humedad a 0 y 50 cm del gotero y el potencial matricial a 30 cm del mismo, en las profundidades de 30, 60 y 90 cm. T1 ( ), T2 ( ), T3 ( ) y T4 ( ). 1998.

En la superficie del frente húmedo, la sal acumulada alcanzó valores de 2.4, 2.6, 3.0 y 3.6  $\text{dS m}^{-1}$ , para los tratamientos T1, T2, T3 y T4, respectivamente, mientras que en la proyección del gotero y en la zona radical principal ( $\approx 0.5$  m) el contenido salino fue claramente inferior (en torno a 1.0, 1.4, 1.0 y 1.4  $\text{dS m}^{-1}$ ). Esta distribución de sales es acorde al sistema de riego y a la baja salinidad del agua empleada, así como a las distintas fracciones de lavado de los cuatro tratamientos de riego y a su patrón de enraizamiento, que sitúa el 40 % de su sistema radical más activo en los primeros 20 cm (Tabla 7.3). Parece lógico, por lo tanto, que la máxima concentración salina ocurra en el frente de la zona humectada y en la capa más superficial donde tiene lugar la máxima extracción de agua por el cultivo, y donde las pérdidas por evaporación resultan más evidentes.

La distribución de sales, evaluada a partir de la concentración de cloruros, muestra una pauta similar a la de la CEe (Figura 7.10). En los tratamientos deficitarios la concentración de  $\text{Cl}^-$  aumenta con la distancia al gotero y en profundidad, con valores estrechamente relacionados con el régimen hídrico impuesto. Mientras que la concentración de  $\text{Cl}^-$  en el tratamiento control permanece constante y a bajos niveles ( $\approx 100$  ppm), entre los 30 y 90 cm de profundidad, en el tratamiento T4 ésta se duplica, pasando de 250 ppm, a 30 cm, a 540 ppm, a 90 cm, lo que sugiere pequeñas fracciones de lavado (Figura 7.10).



**Figura 7.10.** Distribución en el perfil de suelo (0-1.20 m) de isovalores de la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (CEe, arriba) y de la concentración de cloruros (Cl, abajo) para los 4 tratamientos de riego. Isolíneas cada  $0.2 \text{ dS m}^{-1}$  (CEe) y cada 30 ppm (Cl). Abril, 1998.

Asumiendo un patrón de extracción de agua por el cultivo análogo al de su distribución radical más activa (Tabla 7.3), aproximadamente el 40, 30, 15 y 15 % de la  $ET_c$  será satisfecha a partir de las extracciones de agua de las capas de suelo de 0-15, 15-30, 30-45 y 45-100 cm, respectivamente. Esta tendencia del sistema radical a ocupar las capas más superficiales es acorde a la programación de riego seguida, pequeñas dosis de riego con elevada frecuencia, al objeto de evitar posibles escorrentías derivadas de la pendiente del terreno y de su permeabilidad estabilizada media. Bajo este patrón de extracción, la salinidad promedio en la zona radical, evaluada a partir de la

CEe, estaría comprendida entre los 1.3 dS m<sup>-1</sup> del tratamiento T1 y los 1.9 dS m<sup>-1</sup> del T4. Estos niveles salinos, según Ayers y Westcot (1987), no suponen riesgo de reducción del rendimiento potencial del cultivo para el tratamiento T1 y ligeramente inferior al 10 % para el T4, siempre y cuando el nivel salino se mantuviese constante a lo largo del ciclo de cultivo, lo que es poco probable durante los períodos de riego al 100 % de la ETC.

En esta misma línea, y asumiendo un volumen humedecido equivalente en superficie a la mancha húmeda y a un metro de profundidad, así como que el tratamiento T1 se encuentra a capacidad de campo, el factor de concentración del agua de riego ( $CE_{25^{\circ}C} = 0.5 \text{ dS m}^{-1}$ ) es de 2.6 lo que presupone fracciones de lavado en el rango del 5 al 10 % (Ayers y Westcot, 1987).

En ninguno de los tratamientos ensayados se observaron síntomas foliares por exceso de cloruro y sodio. Aunque diversos autores (Bernstein, 1975; Boland *et al.*, 1993) señalan la función desempeñada por la parte leñosa del árbol como lugar de almacenamiento de los iones tóxicos y la necesidad, por lo tanto, de un cierto número de años para que los síntomas resulten evidentes, es poco probable que los niveles de Cl<sup>-</sup> alcanzados en la zona radical en los períodos de máxima concentración resulten fitotóxicos para el albaricoquero. La ausencia de diferencias significativas en los niveles foliares de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu (Figuras 7.19 y 7.20) entre los distintos tratamientos de riego, contrariamente a las alteraciones nutricionales frecuentemente provocadas por la presencia de sales en el suelo, es otra razón de la inexistencia de efectos negativos inducidos por la salinidad.

El pH del extracto de saturación fue medido paralelamente a la CEe y concentración de cloruros. Los valores de pH en la zona humectada, en el perfil de 1.2 m, fueron relativamente constantes ( $\approx 6.6$ ) e independientes de la profundidad (datos no mostrados) con similares valores en los cuatro tratamientos. El crecimiento vegetativo observado durante los cuatro años de ensayo (Figura 7.28) muestra como el albaricoquero vegeta muy bien en las proximidades de la neutralidad.

El hecho de que los niveles foliares de la generalidad de los elementos nutritivos se mantuviesen dentro del rango de normalidad es consecuente con la favorecida disponibilidad, en el rango de pH observado, de la forma iónica en que son asimilables por la planta la gran mayoría de los elementos nutrientes.

### ***Agua-Planta.***

Durante el período experimental los parámetros hídricos foliares controlados resultaron sensibles al déficit hídrico. En el tratamiento control el potencial hídrico foliar antes del alba ( $\Psi_a$ ) presentó valores medios en torno a los -0.45 MPa durante el período experimental (Figura 7.11), lo que sugiere la ausencia de condiciones limitantes a la transpiración en los árboles de este tratamiento (Domingo *et al.*, 1996; Girona *et al.*, 1993), mostrando los tratamientos de RDC valores de  $\Psi_a$  inferiores durante los períodos de riego deficitario.

Al final del primer período de déficit (fase II de crecimiento del fruto)  $\Psi_a$  alcanzó valores de -0.65 y -0.70 MPa para el T3 y T4, respectivamente, en 1997, y de -0.73 y -0.83 MPa en 1998. Tras restituir el riego al 100 % de la ETc en los tratamientos de RDC,  $\Psi_a$  alcanzó niveles similares a los del tratamiento control en el siguiente día de medida (7-8 días). Después del período postcosecha inicial, el riego fue reducido de nuevo y  $\Psi_a$  descendió, alcanzándose unos valores mínimos de -0.93 y -1.00 MPa, en 1997 y de -1.19 y -1.71 MPa, en 1998, para el T3 y T4, respectivamente.

Los mayores niveles de déficit hídrico en 1998, respecto a los de 1997, vienen determinados fundamentalmente por la diferente climatología durante los dos períodos de riego deficitario. De esta forma, la mayor pluviometría ocurrida en 1997 (94 mm en abril y 136 mm en septiembre de 1997 frente a los 21 y 23 mm en abril y septiembre de 1998) junto con una menor demanda evaporativa en estos meses ( $E_o = 3.1$  y  $4.7$  mm día<sup>-1</sup> en abril de 1997 y 1998, respectivamente y  $3.9$  y  $4.7$  mm día<sup>-1</sup> en septiembre de 1997 y 1998, respectivamente), son los responsables del mantenimiento de unos potenciales hídricos más altos (Figura 7.11). Es de destacar, además, que la climatología menos demandante mitigó los efectos de los mayores porcentajes de reducción del riego aplicados en la primavera del 1997 (Figura 7.3).

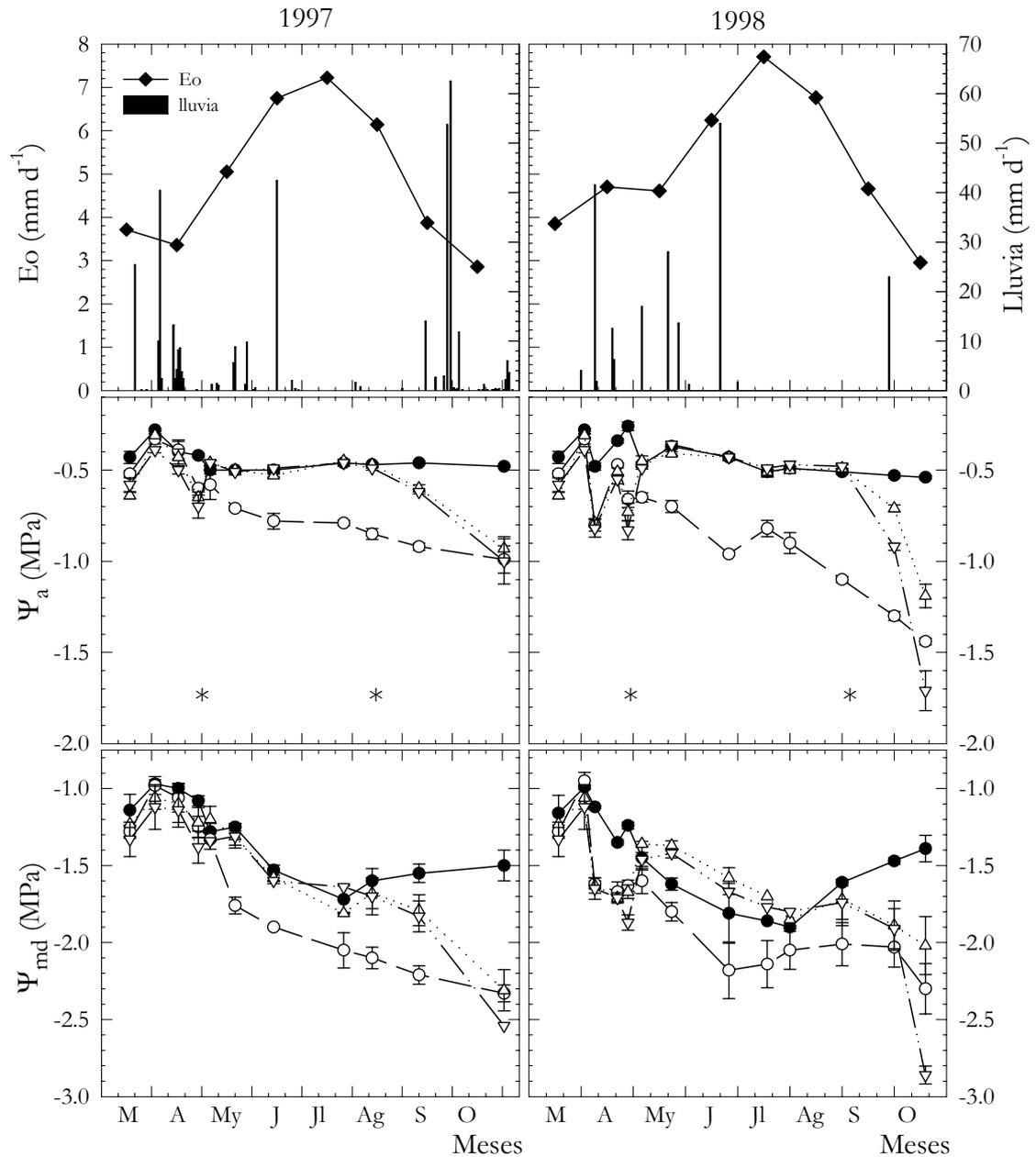
El tratamiento T2 mostró valores más bajos que el control durante todo el año. Coincidiendo con el final del primer período de riego deficitario se alcanzaron valores de  $\Psi_a$  de -0.60 y -0.86 MPa en 1997 y 1998, respectivamente, con valores similares a los de los tratamientos de RDC a principios del otoño. En este momento, cabe destacar, la correspondencia de los porcentajes de agua aplicada (50, 60 y 40 % de la ETc para el T2, T3 y T4, respectivamente) con los valores de  $\Psi_a$  obtenidos en octubre de 1998 (Figura 7.11). Las diferencias en otoño de 1997 son mitigadas por la ocurrencia de lluvias a final de septiembre.

Los valores del potencial hídrico foliar a mediodía ( $\Psi_{md}$ ) mostraron menores diferencias relativas entre los tratamientos de riego, debido principalmente a la mayor dependencia de  $\Psi_{md}$  de las condiciones climáticas (Torrecillas *et al.*, 1988a), tal y como se puede comprobar al observar su dinámica estacional, frente a la constancia en los valores de  $\Psi_a$ , en el tratamiento control (Figura 7.11). Por estas razones, los valores del potencial hídrico antes del alba resultan más adecuados para definir el estado hídrico de la planta, al existir en ese momento un equilibrio hídrico en el sistema suelo-planta-atmósfera, tal y como ha sido comprobado en otros cultivos leñosos (Domingo *et al.*, 1996; Ruiz-Sánchez y Girona, 1995; Torrecillas *et al.*, 1988a).

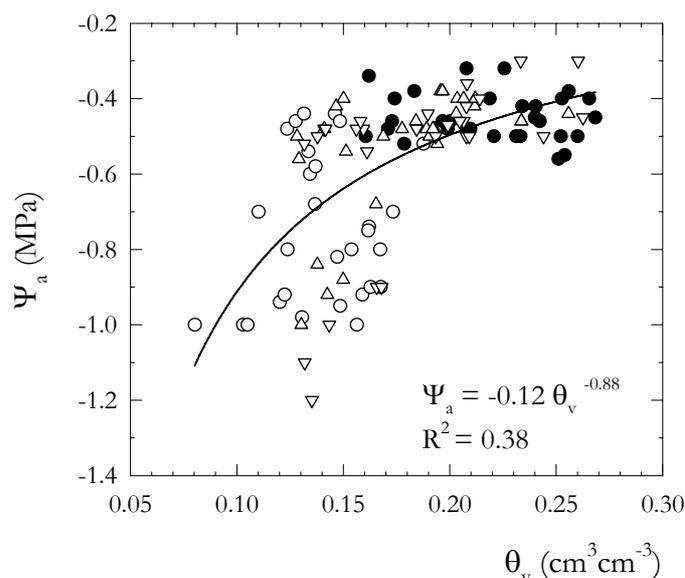
La evolución estacional del potencial hídrico foliar antes del alba en los distintos tratamientos de riego (Figura 7.11) mostró un patrón similar al del contenido volumétrico de agua en el suelo (Figura 7.8), lo que justifica la relación encontrada entre ambos parámetros (Figura 7.12), en la que, a pesar de la dispersión característica de este tipo de relaciones (González-Altozano, 1998), se sugiere un valor de  $\theta_v$  de  $0.16 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  por debajo del cual  $\Psi_a$  disminuye en mayor medida en respuesta a las reducciones de  $\theta_v$ . Este valor corresponde a un potencial hídrico foliar antes del alba de  $-0.6 \text{ MPa}$ . Estos datos indican que los niveles de  $\Psi_a$  pueden tener un valor indicativo de los efectos del déficit de riego en el estado hídrico tanto del suelo como de la planta (Girona *et al.*, 1993).

El estudio de los componentes del potencial hídrico foliar, en las medidas tomadas antes del alba, se muestra en la figura 7.13 donde se puede observar la ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos de riego en los valores de potencial osmótico a máxima turgencia ( $\Psi_{os}$ ). La ausencia de ajuste osmótico en los tratamientos deficitarios era esperable, en base a los estudios previos realizados en macetas (capítulo 5), en donde se describe la necesidad de alcanzar niveles severos de déficit hídrico en hoja ( $\Psi_a < -1.5 \text{ MPa}$ ) para desarrollar mecanismos de ajuste osmótico. Además, se observa una disminución de marzo a octubre de los niveles globales de  $\Psi_{os}$ , que puede ser adscrita a la acumulación activa de solutos con la edad de la hoja, característica de los frutales (Lakso *et al.*, 1984; Yoon y Richter, 1990).

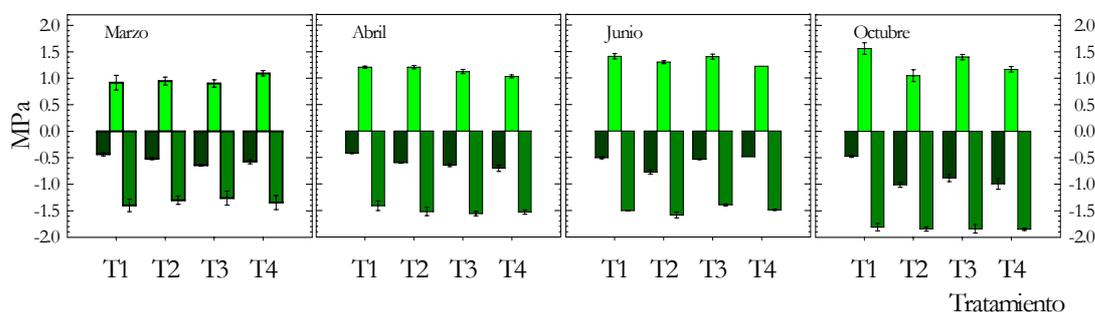
Los déficits hídricos alcanzados no generaron situaciones de pérdida de turgencia foliar en ningún tratamiento durante el periodo experimental, sólo cabe destacar la disminución significativa de los niveles del potencial de presión ( $\Psi_p$ ) en los tratamientos más deficitarios (T2 y T4), en las medidas realizadas en octubre (Figura 7.13), lo que indica que el potencial osmótico actual ( $\Psi_o$ ) no disminuyó de forma suficiente para permitir mantener la turgencia foliar en los mismos niveles que en el tratamiento control, reflejándose una disminución de  $\Psi_p$  por efecto del estrés acumulado.



**Figura 7.11.** Evolución estacional del potencial hídrico foliar antes del alba ( $\Psi_a$ ) y a mediodía ( $\Psi_{md}$ ) de los 4 tratamientos de riego: T1 (○), T2 (□), T3 (△) y T4 (●). Cada punto corresponde a la media de 3 repeticiones  $\pm$  ES. 1997 y 1998. \* indica el cambio de riego en los tratamientos T3 y T4.



**Figura 7.12.** Relación entre el potencial hídrico foliar antes del alba ( $\Psi_a$ ) y el contenido volumétrico medio de agua en el perfil de suelo 0-140 cm ( $\theta_v$ ). Los valores de  $\theta_v$  corresponden al tubo colocado en la línea portagoteros de los 4 tratamientos de riego: T1 ( ), T2 ( ), T3 ( ) y T4 ( ). Cada punto corresponde a la media de 3 repeticiones. 1997.



**Figura 7.13.** Valores del potencial hídrico foliar al alba ( $\Psi_a$ ,  $\Psi_p$ ), potencial de presión ( $\Psi_p$ ) y potencial osmótico a máxima saturación ( $\Psi_{os}$ ) en los 4 tratamientos de riego. Cada barra corresponde a la media de 3 repeticiones + ES. 1997.

La conductancia estomática ( $g_i$ ) y la fotosíntesis neta (Fn) presentaron una dinámica estacional (Figura 7.14) caracterizada por una mayor fluctuación en sus valores que los del potencial hídrico foliar (Figura 7.11). Además, cabe destacar el aumento de marzo a mayo en los niveles globales de ambos parámetros. Estos niveles máximos estacionales alcanzados en la primavera se mantienen durante el verano y descienden al final del ciclo de cultivo. Los bajos niveles de conductancia y fotosíntesis foliares en hojas jóvenes son debidos fundamentalmente a la existencia de estomas inmaduros, no plenamente funcionales (Sam y Flore, 1983), así como a los bajos contenidos de proteínas y clorofila por unidad de área característicos de hojas jóvenes (Schubert *et al.*, 1996). La disminución de  $g_i$  y Fn al final de la estación es

atribuible a los procesos de origen ontogénico y a cambios en el balance hormonal de la hoja, así como a la pérdida de potencial fotosintético de los cloroplastos con la edad (Meidner, 1970; Solárová y Pospíšilová, 1983; Evans, 1983).

En cuanto al efecto de los tratamientos de riego, los niveles de  $g_i$  en los tratamientos de RDC se mantuvieron por debajo de los del control durante los períodos de riego deficitario (Figura 7.14), denotando la regulación de las pérdidas de agua por transpiración en respuesta a la reducción en el suministro hídrico (Turner *et al.*, 1985; Girona *et al.*, 1993). En este sentido se ha constatado que condiciones de déficit hídrico ligero provocan una importante regulación estomática y un descenso en las tasas de intercambio gaseoso en plantas cultivadas en climas mediterráneo y desértico (Pereira *et al.*, 1986; Schulze *et al.*, 1972; Tenhunen *et al.*, 1982).

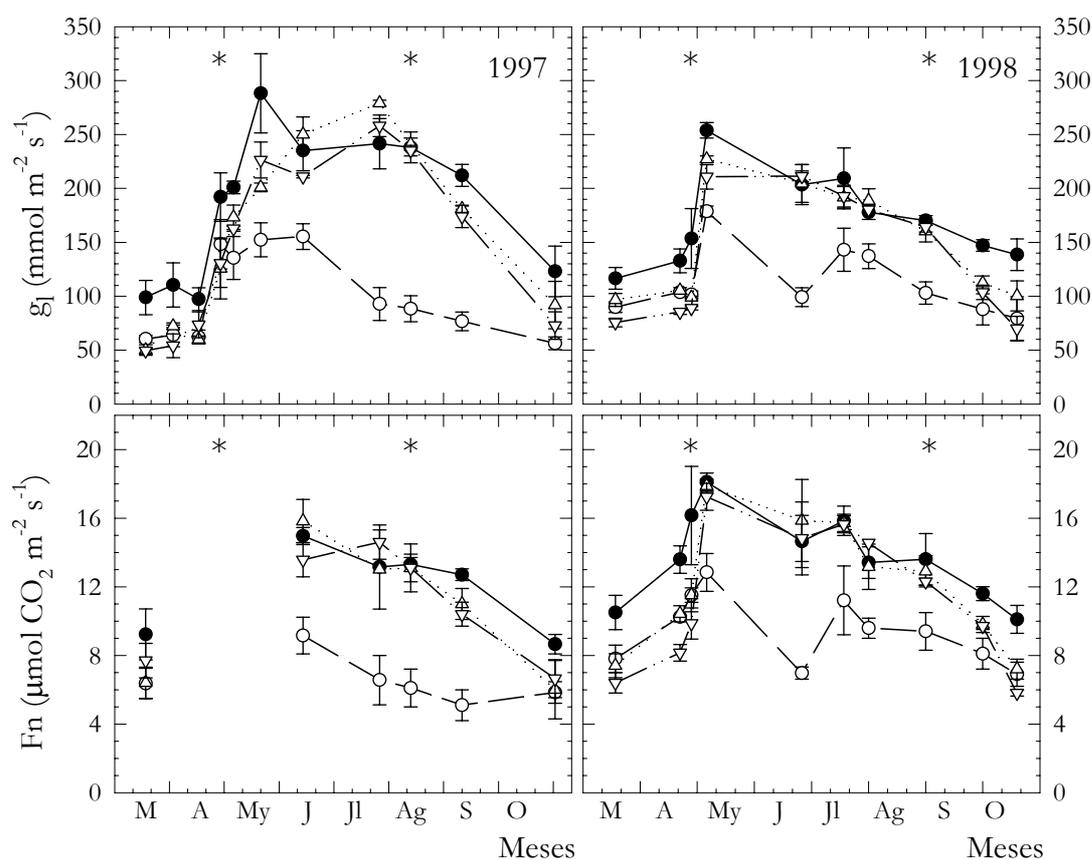
Los valores mínimos de conductancia alcanzados al final del primer período de déficit, en 1997, fueron de 126 y 131  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para el T3 y T4, lo que supuso una reducción del 34 y 32 %, respectivamente, con respecto al tratamiento control. La rotura del equipo de fotosíntesis impidió la adquisición de datos durante el período de abril a mayo de 1997. En 1998, como ya se ha indicado anteriormente, el déficit alcanzado fue mayor (Figura 7.11), lo cual provocó una mayor disminución de  $g_i$ , con reducciones del 44 y 51 % respecto al control, para el T3 y T4, respectivamente. Los niveles más bajos de  $g_i$  y  $F_n$  se observaron en el tratamiento T4 (Figura 7.14).

La recuperación de la conductancia foliar tras la reanudación del riego al 100 % de la  $ET_c$ , se produjo de forma más lenta que la del potencial hídrico. Este es un mecanismo de seguridad que permite a la hoja rehidratarse de una forma más eficiente (Mansfield y Davies, 1981). La fotosíntesis neta parece recuperar sus niveles de forma más rápida que la  $g_i$ , lo cual es considerado un mecanismo para mantener la productividad, mientras se promueve la rehidratación foliar (Torrecillas *et al.*, 1999).

Durante el período de déficit hídrico aplicado en la postcosecha final en los tratamientos de RDC, la conductancia y fotosíntesis foliares disminuyeron significativamente respecto a los niveles del tratamiento control con una reducción de  $g_i$  del 25 y 41 % en 1997 y del 28 y 49 % en 1998 para el T3 y T4, respectivamente. En cuanto a la fotosíntesis las reducciones fueron del 31 y 23 % en 1997 y del 29 y 43 % en 1998, para el T3 y T4, respectivamente (Figura 7.14).

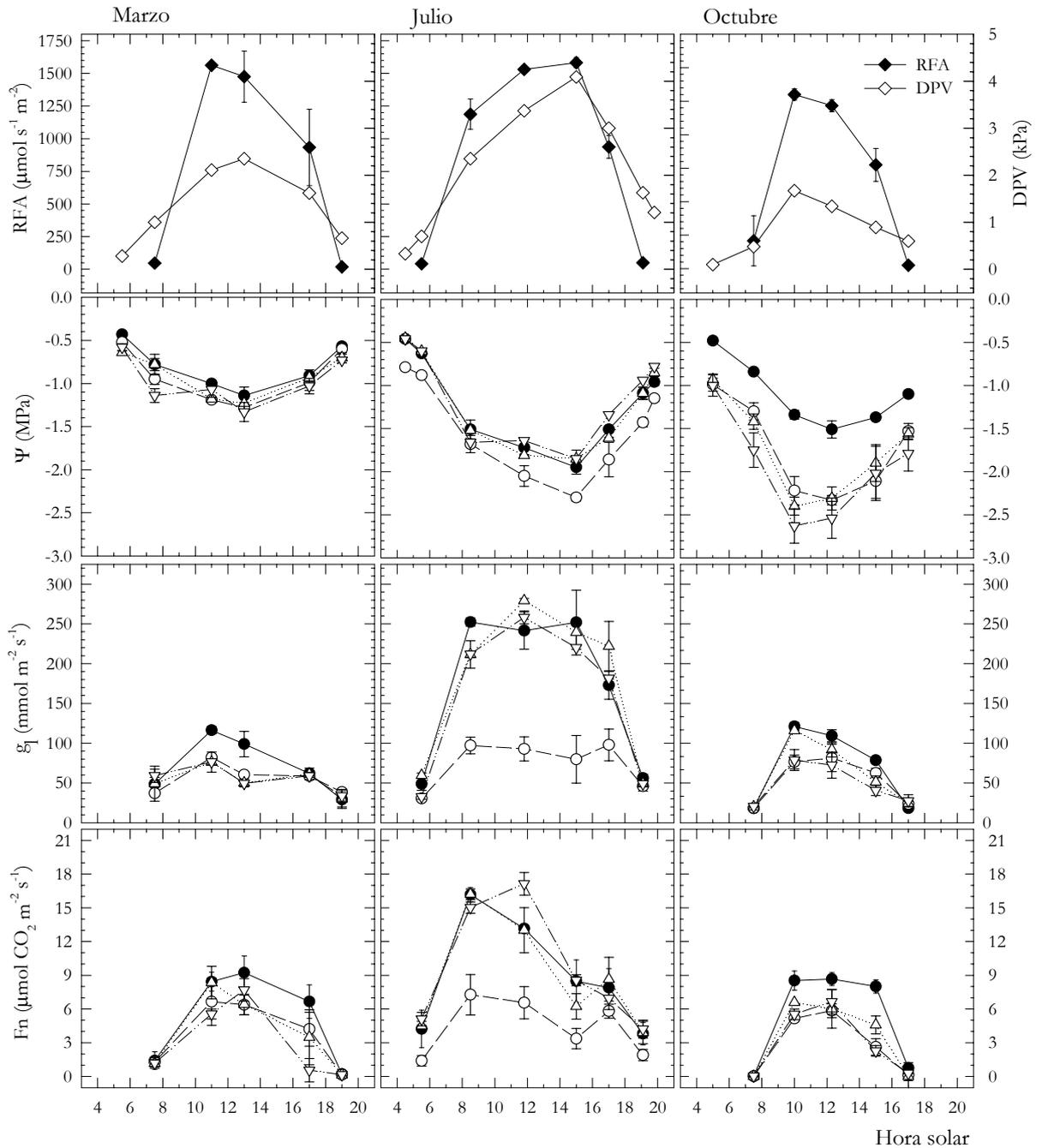
El tratamiento T2 (regado al 50 % todo el año) mostró valores de  $g_i$  y  $F_n$  inferiores a los del tratamiento control durante todo el año. La dinámica estacional fue la descrita anteriormente, con valores máximos en la primavera;

sin embargo, es de destacar el descenso anticipado de los niveles de intercambio gaseoso ( $g_i$  y  $F_n$ ) por efecto del estrés hídrico acumulado (Torrecillas *et al.*, 1988a), de forma que los valores en verano son similares a los del final de la estación (Figura 7.14).



**Figura 7.14.** Evolución estacional de la conductancia foliar ( $g_i$ ) y la fotosíntesis neta ( $F_n$ ) en los 4 tratamientos de riego: T1 (○), T2 (△), T3 (□) y T4 (◇). Cada punto corresponde a la media de 3 repeticiones  $\pm$  ES. 1997 y 1998. \* indica el cambio de riego en los tratamientos T3 y T4.

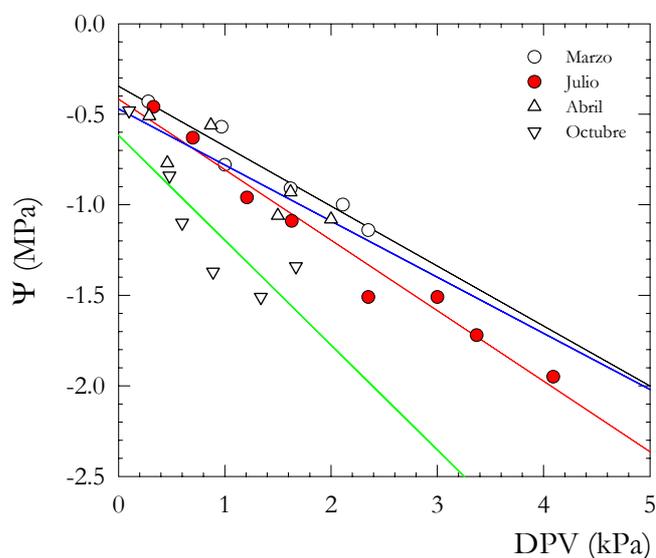
Con objeto de completar el estudio de la influencia de los tratamientos de riego en las relaciones hídricas foliares, se realizaron evoluciones diarias de los parámetros anteriores en tres fechas del ciclo de cultivo: marzo, julio y octubre (Figura 7.15). La primera de ellas coincide con el período de riego deficitario (40 y 25 % de la  $ET_c$  para el T3 y T4, respectivamente) y con hojas jóvenes. La segunda se corresponde con la fase de postcosecha inicial con riego al 100 % de la  $ET_c$  en los tratamientos de RDC. La evolución de octubre corresponde a un período de déficit en los tratamientos de RDC, con un aporte del 60 y 40 % de la  $ET_c$  en los tratamientos T3 y T4, respectivamente.



**Figura 7.15.** Evolución diaria de los valores de la radiación fotosintéticamente activa (RFA), déficit de presión de vapor (DPV), potencial hídrico foliar ( $\Psi$ ), conductancia foliar ( $g_l$ ) y fotosíntesis neta ( $F_n$ ) en los 4 tratamientos de riego: T1 (○), T2 (□), T3 (△) y T4 (◇). Cada punto corresponde a la media de 3 repeticiones  $\pm$  ES. 1997.

La evolución diaria del potencial hídrico ( $\Psi$ ) mostró un ritmo circadiano característico, con valores máximos al alba (antes de la salida del sol) y mínimos a mediodía. En las plantas bien regadas, el descenso de  $\Psi$  en las horas centrales del día fue más acusado en la evolución realizada en julio, lo que muestra la estrecha dependencia de este parámetro de las condiciones de demanda evaporativa del ambiente, tal y como indican los altos

coeficientes de correlación encontrados entre el potencial hídrico foliar y el déficit de presión de vapor (Figura 7.16). El aumento de marzo a octubre tanto de la ordenada en el origen como de la pendiente puede ser debido al aumento de la resistencia al flujo de agua en el xilema con la edad de la hoja (Planes, 1994; Rudich *et al.*, 1981).

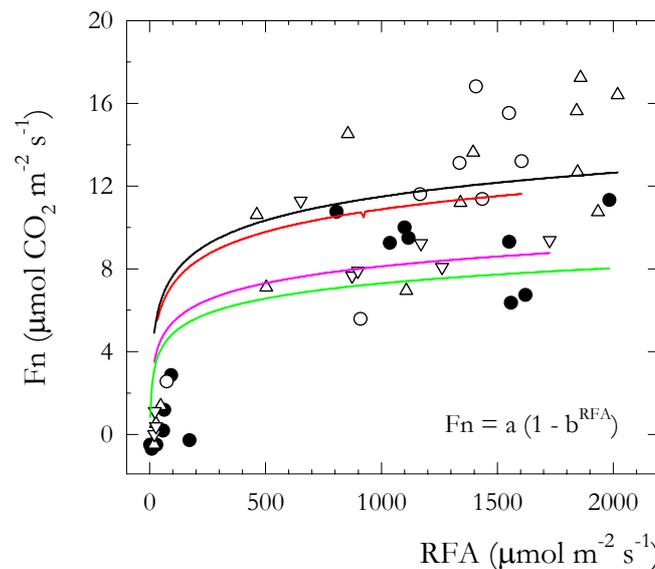


**Figura 7.16.** Relación entre el potencial hídrico foliar ( $\Psi$ ) y el déficit de presión de vapor (DPV) en el tratamiento control. Los datos corresponden a las evoluciones diarias de marzo ( $y = -0.35 - 0.33 x$ ,  $R^2 = 0.94^{***}$ ), abril ( $y = -0.47 - 0.31 x$ ,  $R^2 = 0.75^*$ ), julio ( $y = -0.42 - 0.39 x$ ,  $R^2 = 0.97^{***}$ ) y octubre ( $y = -0.62 - 0.58 x$ ,  $R^2 = 0.75^*$ ). 1997.

El potencial hídrico foliar en los árboles de riego deficitario mostró una evolución similar a la de las plantas control, con niveles ligeramente inferiores, en marzo, indicadores de los ligeros déficits hídricos y de las condiciones de baja demanda evaporativa en este período. En julio, los tratamientos de RDC (regados al 100 % de la ETe) mostraron valores de  $\Psi$  similares a los del tratamiento control, mientras que los del T2 se mantuvieron entre 0.3 y 0.4 MPa por debajo del control, durante todo el día. En octubre, el estrés hídrico acumulado tras casi 3 meses de riego deficitario en los tratamientos de RDC, se refleja en mayores descensos de  $\Psi$ , mostrando el tratamiento T4 los niveles más bajos (Figura 7.15).

Con la salida del sol (aumento de RFA) se abren los estomas, aumentando la conductancia foliar y la fotosíntesis neta (Figura 7.15), alcanzándose el máximo entre las 10 y las 12 hora solar, tras lo cual se produce una disminución progresiva de  $g_s$  y  $F_n$  en el tratamiento control, la cual sucedió de forma más anticipada en los tratamientos deficitarios, disminuyendo el tiempo en el que se mantiene la máxima apertura estomática (Henson *et al.*, 1982; Torrecillas *et al.*, 1988a).

Las curvas de respuesta a la luz de la fotosíntesis neta (Figura 7.17) y la conductancia foliar (datos no mostrados) mostraron que a partir de 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  de radiación fotosintéticamente activa (RFA) se alcanzan los valores máximos de intercambio gaseoso para hojas de albaricoquero bajo condiciones de adecuado suministro hídrico, valor que corresponde a la tercera parte del RFA máxima solar durante el periodo estudiado (Figura 7.15). Similares valores de saturación lumínica han sido encontrados en cítricos tanto bajo condiciones ambientales naturales (Vu *et al.*, 1986) como en condiciones controladas (Syvertsen, 1984).



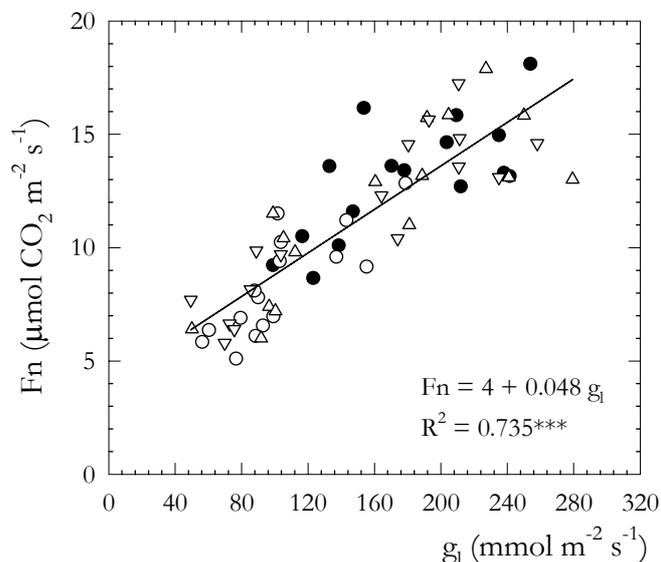
**Figura 7.17.** Relación entre la fotosíntesis neta ( $F_n$ ) y la radiación fotosintéticamente activa (RFA), en el tratamiento control en las evoluciones diarias de marzo ( , ), abril ( , ), julio ( , ) y octubre ( , ). Cada punto corresponde a la media de 3 repeticiones. 1997.

En julio, es de destacar los altos niveles de intercambio gaseoso observados durante la mayor parte del día en los tratamientos bien regados (T1, T3 y T4), indicadores de un período de alta demanda hídrica. Sin embargo, el tratamiento T2 (regado al 50 % de la  $E_{Tc}$ ) muestra valores muy bajos durante todo el día (Figura 7.15).

La temperatura foliar ha demostrado ser también un buen indicador del estado hídrico del albaricoquero, de forma que las hojas de los árboles bajo déficit de riego mostraron temperaturas entre 3 y 5  $^{\circ}\text{C}$  por encima de las del tratamiento control, con máximas diferencias en el mediodía (datos no mostrados).

El comportamiento similar de la conductancia foliar y la fotosíntesis neta, en los distintos tratamientos de riego, viene confirmado por la estrecha relación lineal encontrada entre los valores de ambas variables durante el

período experimental (Figura 7.18), tal y como ya se ha indicado en plantas jóvenes (Figura 5.6). Por lo que existe una clara influencia de la conducta estomática sobre la actividad fotosintética (Chaves *et al.*, 1987).



**Figura 7.18.** Relación entre la fotosíntesis neta (Fn) y la conductancia estomática (g<sub>i</sub>) a mediodía en los 4 tratamientos de riego: T1 (○), T2 (△), T3 (●) y T4 (◻). 1997 y 1998. Cada punto corresponde a la media de 3 repeticiones.

De acuerdo con los resultados obtenidos, el potencial hídrico y la conductancia foliares han mostrado ser indicadores sensibles y consistentes del estado hídrico del albaricoquero, por lo que ambos pueden ser usados para la programación del riego, tal y como sugieren Hutmacher *et al.* (1990).

### 7.3.2. Concentración de nutrientes en hoja.

El disponer de un programa de diagnóstico que permita conocer el estado nutricional del frutal en cualquier momento es importante para la planificación de la fertilización (Breton, 1983; Carpena y Casero, 1987; López-Roca *et al.*, 1985). El contenido foliar de nutrientes es un buen indicador del nivel de disponibilidad de elementos nutritivos por la planta, ya que las hojas son muy sensibles a los cambios en el medio nutritivo.

Sin embargo, la información disponible en *Prunus* sp. sobre el procedimiento para obtener la muestra con fines de diagnóstico es escasa y contradictoria, lo que exige la estandarización del método de muestreo: edad y posición de las hojas que componen la muestra.

Por todo ello, durante 1997 se realizó un muestreo mensual de hojas en la parcela experimental a fin de estudiar, además, la influencia de los

tratamientos de riego deficitario sobre la dinámica de los nutrientes a lo largo del ciclo vegetativo del albaricoquero Búlida. Las hojas se tomaron en el punto medio del brote del año (Huguet, 1987).

La concentración foliar de nitrógeno mostró niveles altos en el período de máxima actividad vegetativa, y experimentó un acusado descenso a partir del mes de mayo, coincidiendo con la fase III de crecimiento del fruto, manteniéndose estos niveles hasta la caída de hojas en el mes de noviembre (Figura 7.19). Esta tendencia es semejante a la encontrada en melocotonero (Egea *et al.*, 1972; Heras *et al.*, 1976; Jasso *et al.*, 1999), caqui (Clark y Smith, 1990), almendro (Ruiz-Sánchez *et al.*, 1987), peral japonés (Buwalda y Meekings, 1990) y manzano (Westwood, 1993), debiéndose este descenso a la elevada síntesis de proteínas durante el período de activo crecimiento de brotes y frutos (Carpena y Casero, 1987). La dinámica del fósforo fue también de un continuo descenso desde el primer muestreo, incluso más pronunciado que el del nitrógeno (Figura 7.19). El descenso de estos macronutrientes, similar en todos los tratamientos de riego, indica la existencia de un desequilibrio entre la llegada de nutrientes a la hoja y el consumo por otros órganos de la planta, estando favorecido este último (Esteban *et al.*, 1969).

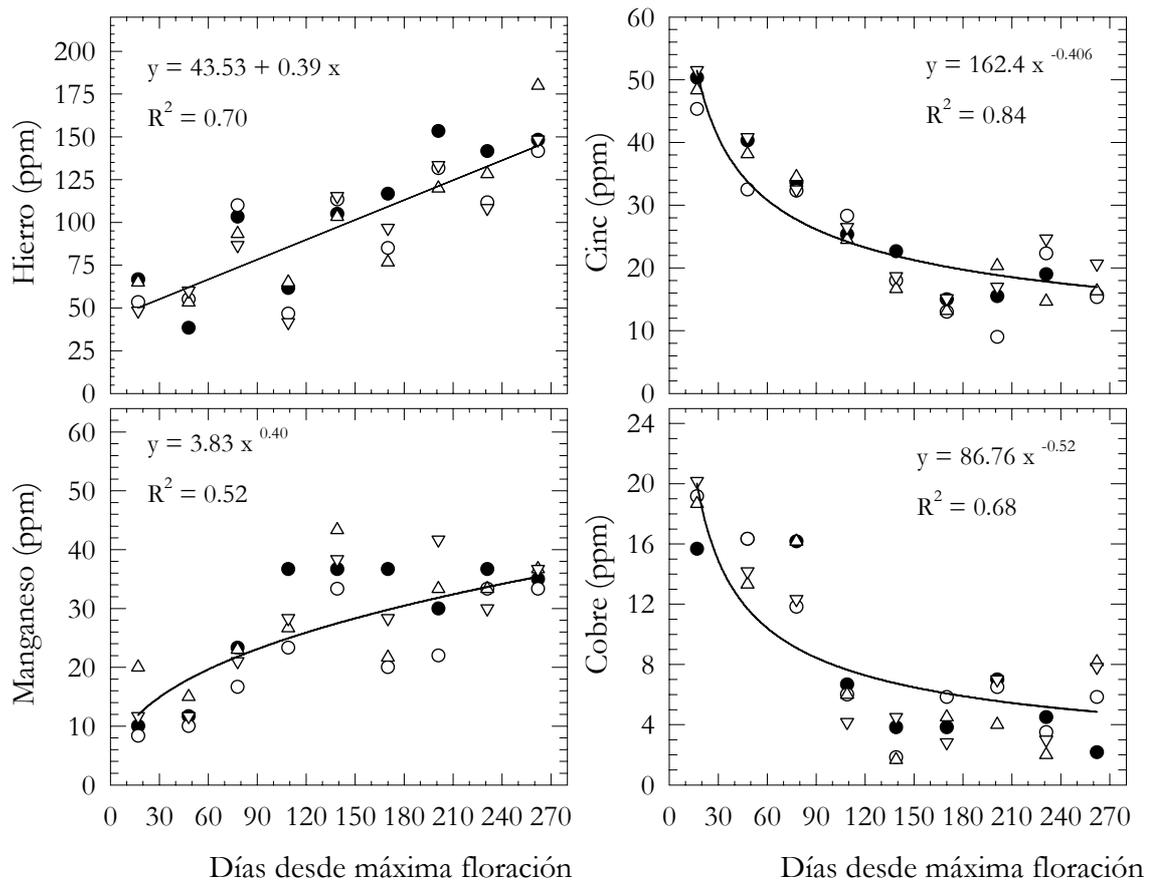
La evolución de la concentración de potasio mostró un aumento continuado, alcanzando niveles máximos en junio, que se mantienen durante el verano, para posteriormente disminuir hasta el final del ciclo de cultivo (Figura 7.19). La facilidad de movimiento que tiene este elemento en la planta, justifica los diferentes comportamientos de su evolución estacional (Batjer y Westwood, 1958; Carpena y Casero, 1987; Ortuño *et al.*, 1972; Jasso *et al.*, 1999), aunque en general existe una tendencia inicial ascendente para disminuir sus niveles al final del ciclo de cultivo.

La dinámica del calcio y magnesio fue similar para todos los tratamientos de riego ensayados, con aumentos importantes al inicio del ciclo para posteriormente mantener valores prácticamente constantes hasta la senescencia (Figura 7.19). El aumento del Ca está asociado a su escasa movilidad en la planta (Carpena y Casero, 1987), mientras que más del 70 % del contenido de Mg en la planta está ligado a aniones difusibles, de ahí su carácter móvil en la planta (Johnson y Uriu, 1989).

La evolución de los micronutrientes hierro y manganeso muestran una acumulación gradual en las hojas de albaricoquero, alcanzando las concentraciones más altas al final del ciclo vegetativo (Figura 7.20), similar a lo encontrado en melocotonero (Carpena y Casero, 1987).

**Figura 7.19.** Evolución de las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg en hojas de albaricoquero Búlida en los 4 tratamientos de riego: T1 ( ), T2 ( ), T3 ( ) y T4 ( ). Los puntos corresponden a la media de 3 repeticiones. Máxima floración: 8 marzo.

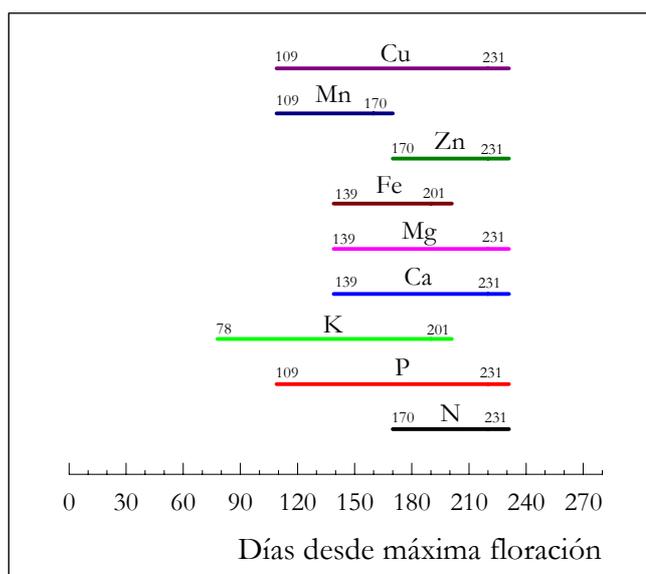
La dinámica de las concentraciones de cobre y cinc es opuesta a la de las dos anteriores, con un continuo descenso hasta el verano, estabilizándose posteriormente (Figura 7.20). El consumo de estos micronutrientes en los procesos de fructificación, multiplicación y división celular en el fruto justifica los descensos observados. No se detectaron diferencias significativas entre tratamientos en el contenido foliar de micronutrientes (Figura 7.20).



**Figura 7.20.** Evolución de las concentraciones de Fe, Mn, Zn y Cu en hojas de albaricquero Búlida en los 4 tratamientos de riego: T1 (○), T2 (△), T3 (□) y T4 (◇). Los puntos corresponden a la media de 3 repeticiones. Máxima floración: 8 marzo.

En la figura 7.21 se muestra el período de estabilidad de los niveles foliares de cada nutriente, pudiéndose concluir que entre los días 160 y 200 desde la máxima floración, lo cual coincide con los meses de agosto y septiembre, es el momento más apropiado para efectuar un muestreo foliar con fines de diagnóstico (Ruiz-Sánchez *et al.*, 1987).

En resumen, la tendencia estacional de las concentraciones de macro y micronutrientes en hojas de albaricquero siguió el patrón general típico de los frutales caducifolios, caracterizada por un descenso de N, P, Cu y Zn y un aumento de Ca, Mg, Fe, Mn a lo largo del ciclo de cultivo. El descenso de los macronutrientes se atribuye al efecto de dilución como resultado del aumento de la masa foliar del árbol (Jasso *et al.*, 1999; Fernández *et al.*, 1990). También la edad de las hojas tiene un efecto marcado en la composición, que varía rápidamente cuando las hojas son muy jóvenes y durante la caída fisiológica. La edad y posición de la hoja determinan, en muchos casos, diferencias en la composición mineral, mayores que las provocadas por la propia nutrición (Westwood, 1993).



**Figura 7.21.** Período de estabilización de la concentración foliar de los elementos nutritivos de albaricoquero Búlida. Máxima floración: 8 marzo.

Aunque es conocido que altos potenciales de agua en el suelo favorecen la absorción de nutrientes (Fererres, 1983; O'Toole y Baldia, 1982), el análisis estadístico de los resultados indicó la ausencia de diferencias significativas en los niveles de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu entre los distintos tratamientos de riego (Figuras 7.19 y 7.20). Las reservas de nutrientes en las partes leñosas del árbol pueden explicar la ausencia de efectos significativos del riego deficitario (Castel y Buj, 1990; Domingo, 1994; Sánchez-Blanco y Torrecillas, 1995). Sin embargo, en condiciones extremas de déficit de riego se han observado diferencias en el contenido foliar de potasio en almendro (Ruiz-Sánchez *et al.*, 1987) y peral (Brun *et al.*, 1985).

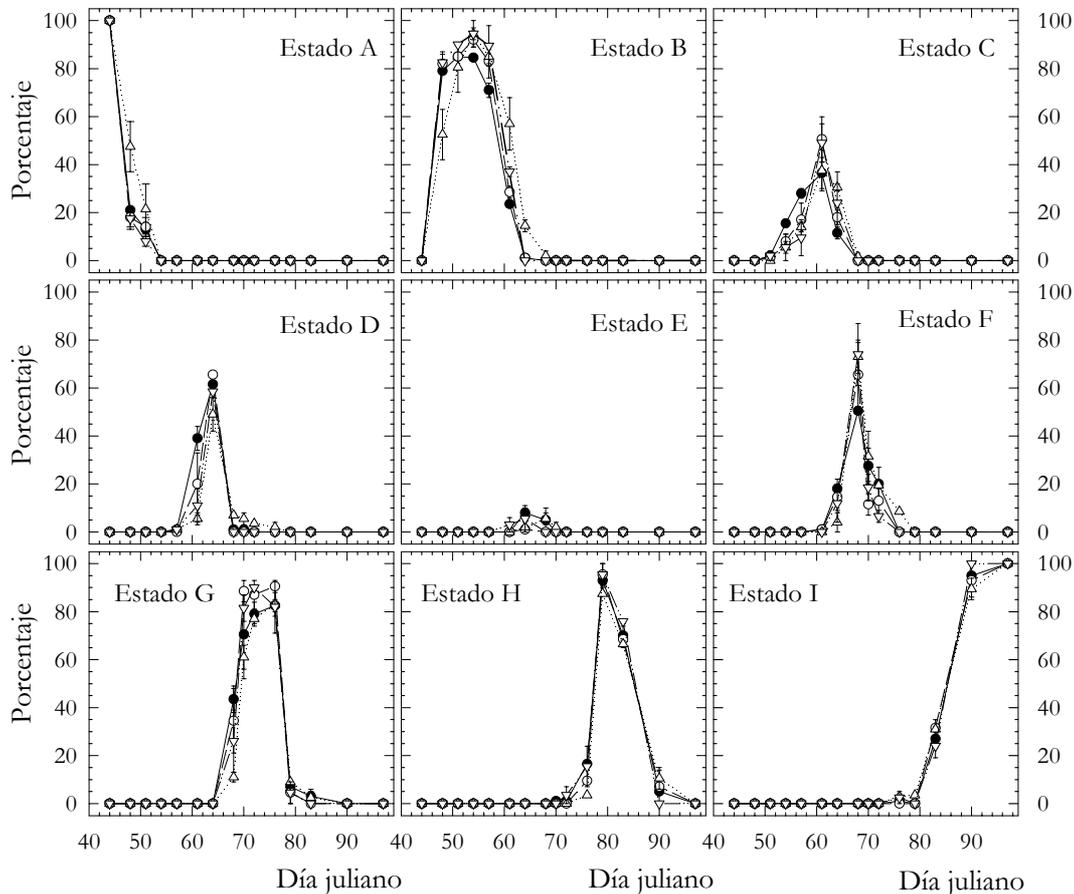
### 7.3.3. Floración y fructificación. Caídas fisiológicas.

#### *Floración y fructificación.*

La evolución de los estados fenológicos para las yemas de flor del albaricoquero, definidos en el capítulo 6 (Figura 6.3), no mostró diferencias significativas entre los tratamientos de riego ensayados (Figura 7.22). Durante el período experimental, la máxima floración se situó en la primera semana de marzo, salvo en 1996 que se retrasó al día 20 (Tabla 7.21). En este momento en el que coexisten los estados del C al G.

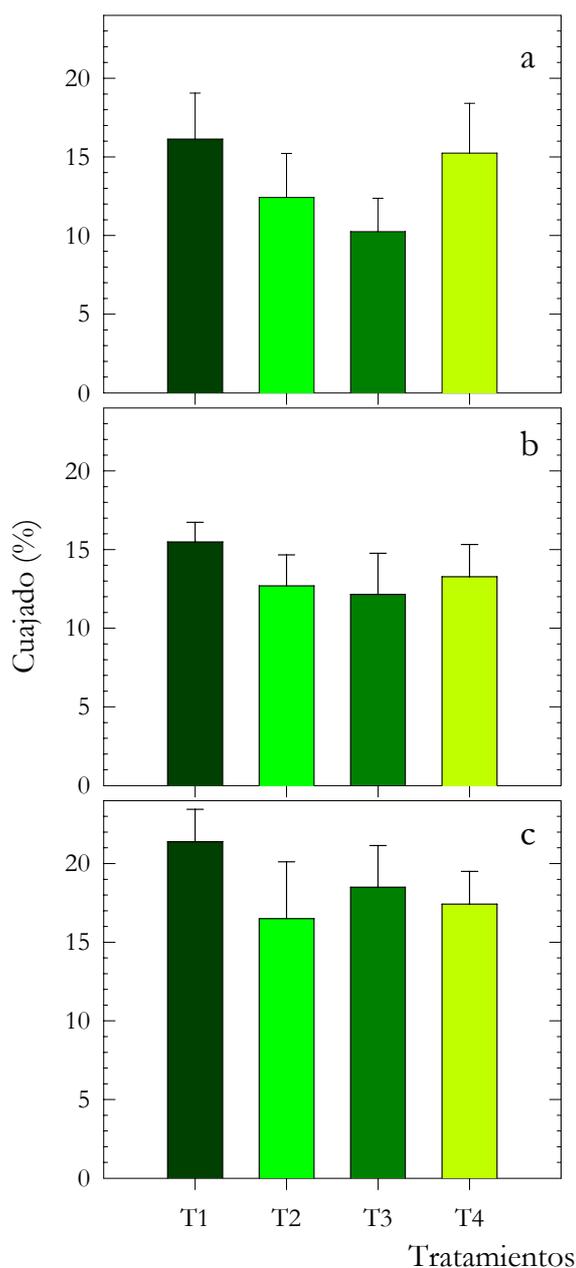
Los porcentajes de fructificación, evaluados cuatro semanas después de la máxima floración, no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos de riego ensayados, durante el período experimental (Figura 7.23), con valores en torno al 15 %, considerados normales para este cultivo

en condiciones climáticas mediterráneas (Egea y Burgos, 1998; Egea *et al.*, 1994; Ruiz-Sánchez *et al.*, 1999).



**Figura 7.22.** Evolución de los estados fenológicos de las yemas de flor de albaricoquero Búlida (estados A-I), para los 4 tratamientos de riego: T1 (○), T2 (●), T3 (△) y T4 (◇). Los puntos corresponden a la media de 4 repeticiones  $\pm$  ES. 1998.

Se ha constatado una reducción en el cuajado de frutales bajo déficits hídricos severos (Brun *et al.*, 1985). Así mismo, en albaricoquero Búlida, situaciones de estrés hídrico severo durante el período de inducción-diferenciación floral (postrecolección) redujeron significativamente el porcentaje de fructificación (Torrecillas *et al.*, 2000). Bajo nuestras condiciones experimentales, los tratamientos de RDC se programaron con el fin de mantener un adecuado estado hídrico en suelo y planta durante el período crítico correspondiente a la postrecolección; además, el déficit del tratamiento T2 fue moderado, por lo que no cabría esperar diferencias significativas en este parámetro.



**Figura 7.23.** Porcentajes de fructificación de albaricoquero Búlida en los 4 tratamientos de riego. Cada barra corresponde a la media de 4 repeticiones + ES. Los valores de cada año seguidos de letras distintas son significativamente diferentes según el test de la  $MDS_{0.05}$ . 1996 (a), 1997 (b) y 1998 (c).

### ***Caídas fisiológicas.***

El efecto de los tratamientos de riego en la caída fisiológica de yemas, flores (estados A-G), frutos (estados H- I) y hojas, evaluada en base a los elementos recogidos en los recipientes diseñados a tal fin, se recogen en las figura 7.24. En ella se observan niveles más altos de caída de elementos florales (yemas y flores) en los tratamientos deficitarios (T2, T3 y T4)

respecto al tratamiento control. La pérdida de elementos florales tras un período de déficit durante la floración y el cuajado es un hecho conocido y referenciado en cítricos (Kriedemann y Barrs, 1981) y en el que se ha implicado el papel de determinadas hormonas que son sintetizadas en las raíces durante el estrés y transportadas a los tallos

En cuanto a la caída de frutos, el máximo se alcanzó durante la primera semana de abril, con un diámetro medio de 5 mm, presentando valores similares en todos los tratamientos de riego (Figura 7.24). La abscisión de hojas comenzó a finales de noviembre, observándose niveles más altos en el tratamiento control (Figura 7.24), posiblemente indicadores de la mayor masa foliar de estos árboles.

### **7.3.4. Crecimiento vegetativo.**

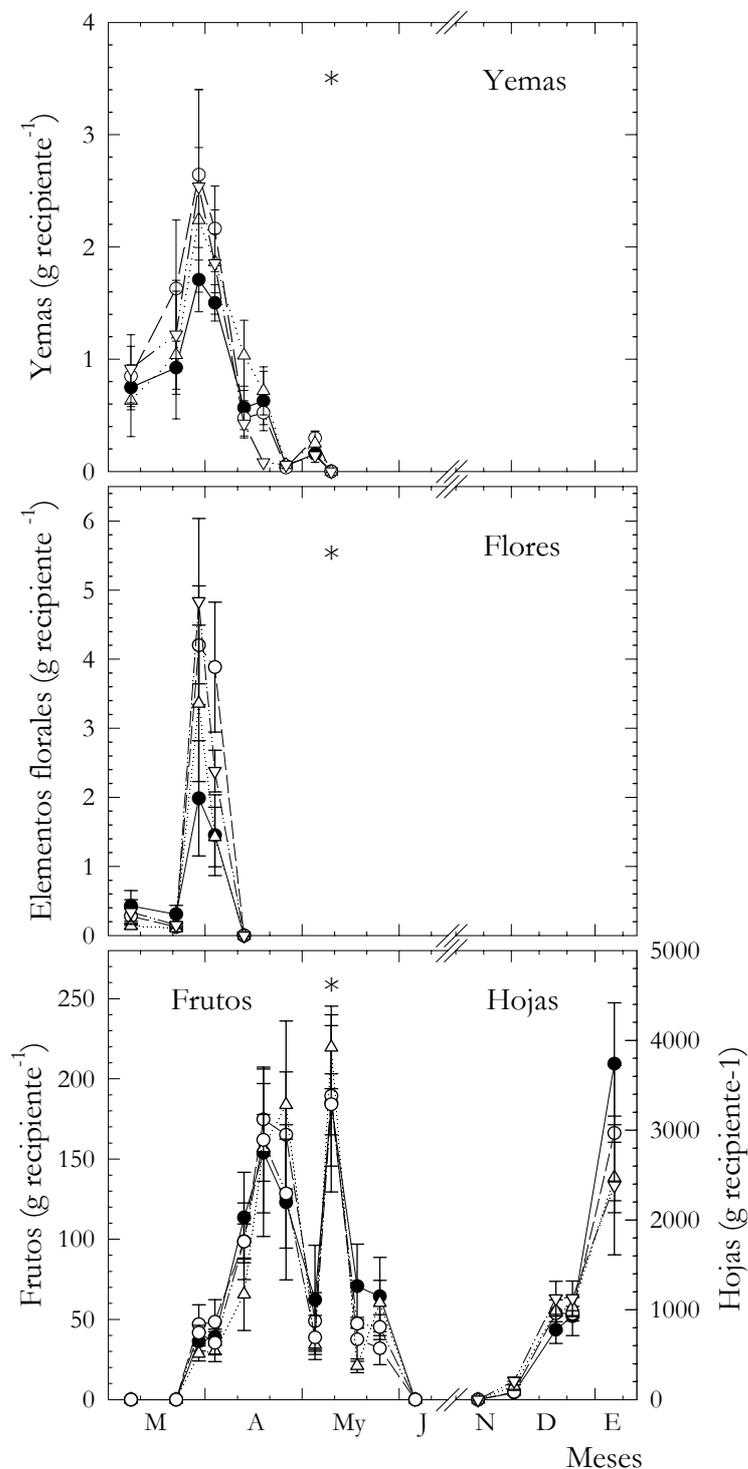
#### ***Distribución radical.***

Los resultados del estudio de la distribución de raíces en los distintos tratamientos de riego realizado en enero de 1999, siguiendo la malla de muestreo definida en el capítulo 3 (Figura 3.2), se recogen en la tabla 7.3. Dada la baja concentración de raíces obtenidas a 200 y 250 cm de la línea portagoteros, según los datos del muestreo realizado en 1997 (datos no mostrados), se prescindió de la toma de muestras a esas distancias en 1999.

Los valores, expresados como densidad de longitud de raíces (DLR), muestran la existencia de una elevada concentración de raíces de diámetro inferior a 1 mm, en todos los tratamientos, lo que implica una gran capacidad de absorción de agua del sistema radical del albaricoquero (Tabla 7.3). Además, se observa una disminución de la DLR con la profundidad, situándose aproximadamente el 80 % de las raíces en los primeros 45 cm y el 95 % en los primeros 75 cm, para el tratamiento control.

La alta densidad de longitud de raíces observada en albaricoquero en los horizontes más superficiales de la zona humectada del suelo es un hecho común de los sistemas de riego localizado, donde el efecto hidrotópico predomina sobre el geotópico, tal y como se ha constatado en numerosos estudios en cítricos y frutales (Del Amor *et al.*, 1987; Fernández *et al.*, 1992; Franco y Abrisqueta, 1997; Ruggiero, 1984; Ruggiero y Andiloro, 1984). La densidad radical en la zona húmeda se vio ligeramente incrementada con el tiempo, ya que en 1997 el 72 % de las raíces se encontraban a 50 cm de la línea portagoteros y el 95 % a 125 cm de ella (datos no mostrados), y en 1999 el 92 % del sistema radical se localizaba a 75 cm de la línea portagoteros (Tabla 7.3). En este sentido, Bielorai (1982) y Bielorai *et al.*, (1981) indican que la densidad radical en cítricos regados por goteo aumentaba cada año de

ensayo en la zona húmeda, mientras que se mantenía constante en la zona seca, concentrándose el 75-85 % del total del peso de las raíces en los primeros 90 cm de profundidad.



**Figura 7.24.** Caída fisiológica de yemas, flores, frutos y hojas (peso seco/recipiente) en albaricoquero Búlida en los 4 tratamientos de riego: T1 (○), T2 (△), T3 (□) y T4 (●). Los puntos corresponden a la media de 4 repeticiones ± ES. \* indica el cambio de riego al 100 % en los tratamientos T3 y T4. 1996.

**Tabla 7.3.** Densidad de longitud de raíces (DLR, cm raíz cm<sup>-3</sup> suelo) en el perfil de 0-1.20 m, en función del diámetro de raíz y la distancia a la línea portagoteros (0, 25, 50, 75 y 125 cm), en albaricoquero Búlida en los 4 tratamientos de riego. 1999.

	T1			T2			T3			T4		
<b>0 cm</b>												
Prof.	<1 mm	> 1 mm	Suma	<1 mm	> 1 mm	Suma	<1 mm	> 1 mm	Suma	<1 mm	> 1 mm	Suma
15	149.85	2.10	<b>151.95</b>	213.90	3.91	<b>217.81</b>	294.54	6.83	<b>301.37</b>	335.48	1.91	<b>337.39</b>
30	88.31	2.63	<b>90.94</b>	193.26	6.10	<b>199.36</b>	156.58	7.93	<b>164.51</b>	166.24	24.00	<b>190.23</b>
45	43.78	2.71	<b>46.49</b>	22.52	3.16	<b>25.67</b>	70.42	11.33	<b>81.76</b>	54.29	4.50	<b>58.78</b>
60	23.52	0.35	<b>23.87</b>	17.39	3.00	<b>20.39</b>	20.14	5.31	<b>25.45</b>	32.02	2.90	<b>34.92</b>
75	10.63	1.53	<b>12.16</b>	7.63	0.00	<b>7.63</b>	49.28	1.39	<b>50.68</b>	10.13	2.76	<b>12.89</b>
90	6.88	2.50	<b>9.38</b>	5.63	0.00	<b>5.63</b>	27.27	0.00	<b>27.27</b>	8.14	0.00	<b>8.14</b>
105	16.39	2.17	<b>18.56</b>	2.38	0.00	<b>2.38</b>	29.39	1.62	<b>31.02</b>	5.19	0.00	<b>5.19</b>
120	0.00	0.00	<b>0.00</b>	0.00	0.00	<b>0.00</b>	0.00	0.00	<b>0.00</b>	0.03	0.00	<b>0.03</b>
Suma	<b>339.36</b>	<b>14.00</b>	<b>353.35</b>	<b>462.69</b>	<b>16.17</b>	<b>478.86</b>	<b>647.63</b>	<b>34.43</b>	<b>682.06</b>	<b>611.52</b>	<b>36.07</b>	<b>647.58</b>
<b>25 cm</b>												
Prof.	<1 mm	> 1 mm	Suma	<1 mm	> 1 mm	Suma	<1 mm	> 1 mm	Suma	<1 mm	> 1 mm	Suma
15	139.84	4.29	<b>144.13</b>	240.60	4.76	<b>245.36</b>	202.70	2.21	<b>204.91</b>	203.09	1.32	<b>204.41</b>
30	108.20	4.47	<b>112.67</b>	163.30	8.58	<b>171.88</b>	149.04	6.50	<b>155.54</b>	146.04	4.09	<b>150.13</b>
45	78.88	11.18	<b>90.06</b>	60.10	1.26	<b>61.36</b>	75.61	5.87	<b>81.49</b>	82.68	13.57	<b>96.25</b>
60	32.90	4.49	<b>37.38</b>	27.83	0.63	<b>28.46</b>	32.46	1.75	<b>34.21</b>	25.64	4.35	<b>29.99</b>
75	17.15	0.00	<b>17.15</b>	9.76	0.31	<b>10.06</b>	32.77	1.60	<b>34.37</b>	9.31	1.91	<b>11.22</b>
90	5.99	0.15	<b>6.14</b>	5.63	0.29	<b>5.92</b>	18.89	1.54	<b>20.43</b>	8.94	0.09	<b>9.04</b>
105	1.38	0.00	<b>1.38</b>	2.13	0.00	<b>2.13</b>	9.76	0.00	<b>9.76</b>	8.02	0.00	<b>8.02</b>
120	0.81	0.00	<b>0.81</b>	4.25	0.00	<b>4.25</b>	2.50	0.00	<b>2.50</b>	0.03	0.00	<b>0.03</b>
Suma	<b>385.15</b>	<b>24.58</b>	<b>409.73</b>	<b>513.60</b>	<b>15.82</b>	<b>529.42</b>	<b>523.73</b>	<b>19.48</b>	<b>543.21</b>	<b>483.74</b>	<b>25.33</b>	<b>509.07</b>
<b>50 cm</b>												
Prof.	<1 mm	> 1 mm	Suma	<1 mm	> 1 mm	Suma	<1 mm	> 1 mm	Suma	<1 mm	> 1 mm	Suma
15	168.80	0.47	<b>169.27</b>	91.81	0.96	<b>92.78</b>	82.62	1.79	<b>84.41</b>	82.81	0.00	<b>82.81</b>
30	78.47	0.25	<b>78.72</b>	78.30	3.16	<b>81.46</b>	56.48	2.51	<b>58.99</b>	57.04	1.32	<b>58.36</b>
45	83.87	4.29	<b>88.16</b>	16.32	0.49	<b>16.81</b>	18.64	1.46	<b>20.09</b>	19.39	6.82	<b>26.20</b>
60	34.84	3.48	<b>38.31</b>	12.57	1.96	<b>14.53</b>	13.63	0.77	<b>14.40</b>	15.89	6.31	<b>22.20</b>
75	25.77	0.87	<b>26.64</b>	6.13	0.26	<b>6.39</b>	5.50	0.28	<b>5.78</b>	11.13	0.35	<b>11.48</b>
90	6.00	0.00	<b>6.00</b>	0.49	0.00	<b>0.49</b>	4.12	0.03	<b>4.15</b>	6.75	0.35	<b>7.11</b>
105	0.33	0.00	<b>0.33</b>	0.00	0.00	<b>0.00</b>	1.13	0.00	<b>1.13</b>	3.50	0.20	<b>3.70</b>
120	0.61	0.06	<b>0.68</b>	1.13	0.00	<b>1.13</b>	0.13	0.00	<b>0.13</b>	0.01	0.00	<b>0.01</b>
Suma	<b>398.68</b>	<b>9.42</b>	<b>408.10</b>	<b>206.75</b>	<b>6.83</b>	<b>213.58</b>	<b>182.24</b>	<b>6.83</b>	<b>189.07</b>	<b>196.52</b>	<b>15.35</b>	<b>211.87</b>
<b>75 cm</b>												
Prof.	<1 mm	> 1 mm	Suma	<1 mm	> 1 mm	Suma	<1 mm	> 1 mm	Suma	<1 mm	> 1 mm	Suma
15	110.85	1.83	<b>112.69</b>	27.46	0.25	<b>27.70</b>	32.52	0.39	<b>32.91</b>	48.72	0.00	<b>48.72</b>
30	68.47	0.83	<b>69.30</b>	26.96	0.25	<b>27.20</b>	31.02	0.39	<b>31.41</b>	23.45	0.51	<b>23.96</b>
45	46.56	0.61	<b>47.17</b>	9.51	0.21	<b>9.71</b>	11.07	0.54	<b>11.61</b>	8.94	11.04	<b>19.99</b>
60	20.01	0.43	<b>20.44</b>	19.26	0.21	<b>19.47</b>	10.82	0.54	<b>11.36</b>	10.07	1.00	<b>11.06</b>
75	8.63	0.00	<b>8.63</b>	2.24	0.00	<b>2.24</b>	4.74	0.05	<b>4.79</b>	5.25	0.11	<b>5.36</b>
90	2.00	0.02	<b>2.02</b>	0.63	0.00	<b>0.63</b>	4.63	0.05	<b>4.67</b>	5.50	0.00	<b>5.50</b>
105	0.31	0.00	<b>0.31</b>	1.13	0.00	<b>1.13</b>	1.13	0.00	<b>1.13</b>	2.50	0.00	<b>2.50</b>
120	0.58	0.04	<b>0.62</b>	0.38	0.00	<b>0.38</b>	0.38	0.00	<b>0.38</b>	0.00	0.00	<b>0.00</b>
Suma	<b>257.41</b>	<b>3.76</b>	<b>261.18</b>	<b>87.55</b>	<b>0.90</b>	<b>88.45</b>	<b>96.30</b>	<b>1.95</b>	<b>98.25</b>	<b>104.45</b>	<b>12.65</b>	<b>117.10</b>
<b>125 cm</b>												
Prof.	<1 mm	> 1 mm	Suma	<1 mm	> 1 mm	Suma	<1 mm	> 1 mm	Suma	<1 mm	> 1 mm	Suma
15	41.08	30.90	<b>71.98</b>	20.55	8.06	<b>28.61</b>	16.80	2.30	<b>19.10</b>	10.20	0.80	<b>11.00</b>
30	20.10	10.80	<b>30.90</b>	14.60	2.40	<b>17.00</b>	8.40	0.80	<b>9.20</b>	6.40	1.60	<b>8.00</b>
45	15.40	0.01	<b>15.41</b>	10.60	0.00	<b>10.60</b>	8.10	0.00	<b>8.10</b>	5.60	15.40	<b>21.00</b>
60	5.60	0.09	<b>5.69</b>	4.30	0.44	<b>4.74</b>	3.80	0.00	<b>3.80</b>	7.60	8.40	<b>16.00</b>
75	8.50	0.00	<b>8.50</b>	2.60	0.00	<b>2.60</b>	4.10	0.00	<b>4.10</b>	4.01	2.06	<b>6.07</b>
90	4.70	0.00	<b>4.70</b>	0.40	0.00	<b>0.40</b>	0.30	0.00	<b>0.30</b>	0.90	0.90	<b>1.80</b>
105	0.30	0.00	<b>0.30</b>	0.88	0.00	<b>0.88</b>	0.40	0.00	<b>0.40</b>	0.00	0.00	<b>0.00</b>
120	0.08	0.00	<b>0.08</b>	0.25	0.00	<b>0.25</b>	0.25	0.00	<b>0.25</b>	0.00	0.00	<b>0.00</b>
Suma	<b>95.76</b>	<b>41.80</b>	<b>137.56</b>	<b>54.18</b>	<b>10.90</b>	<b>65.08</b>	<b>42.15</b>	<b>3.10</b>	<b>45.25</b>	<b>34.71</b>	<b>29.16</b>	<b>63.87</b>

Los valores corresponden a la suma de los 5 puntos de muestreo a lo largo de la línea portagoteros, para cada distancia.

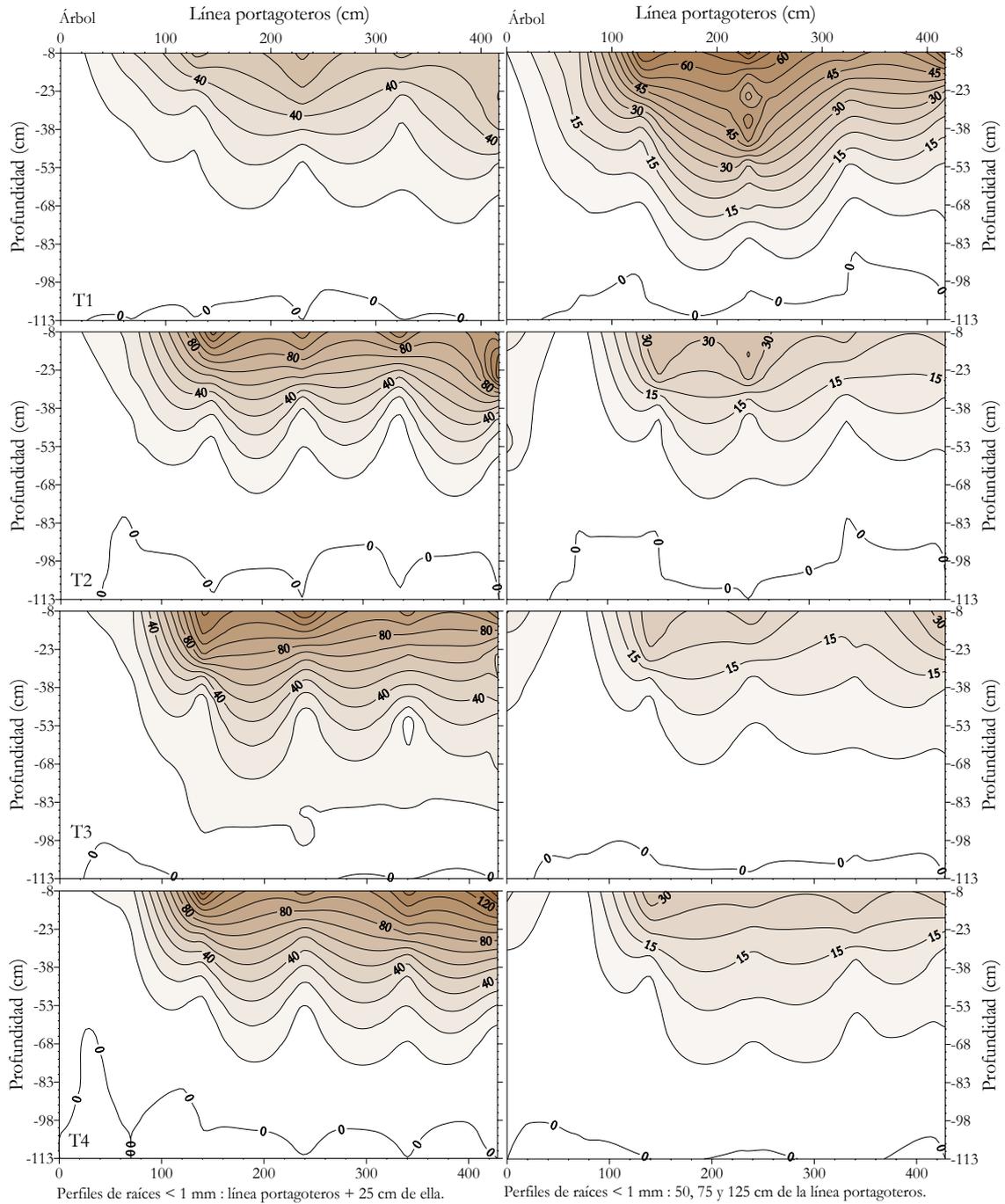
En cuanto al efecto del tratamiento de riego, los resultados muestran cómo el 48 % de la DLR total en el tratamiento control (T1) se encuentra en la franja de muestreo comprendida en los primeros 25 cm de la línea portagoteros (medida a 0 y 25 cm), mientras que en los deficitarios, este porcentaje se eleva al 73 % para el tratamiento T2 y al 79 y 75 % para el T3 y T4, respectivamente (Tabla 7.3 y Figura 7.25).

La mayor concentración de raíces en la zona húmeda de los tratamientos deficitarios que en la del control se debe al menor tamaño de los bulbos húmedos correspondientes a los tratamientos deficitarios. En este sentido, se ha constatado que, en tratamientos deficitarios de riego localizado, las raíces tienden a concentrarse en la zona humectada (Chalmers, 1990; Ramos *et al.*, 1987), disminuyendo la densidad radical al aumentar el volumen de agua aportado, y favoreciéndose en estas condiciones un mayor crecimiento en profundidad (Ruggiero y Andiloro, 1984). Bieloraí (1982) encontró una mayor densidad radical en pomelos regados por goteo que en los regados por aspersión, donde el volumen humectado es mayor. En cambio, Abrisqueta *et al.* (1994) y Franco *et al.* (1995) no encontraron diferencias en la profundidad máxima de enraizamiento en almendro, bajo distintos regímenes de riego por goteo.

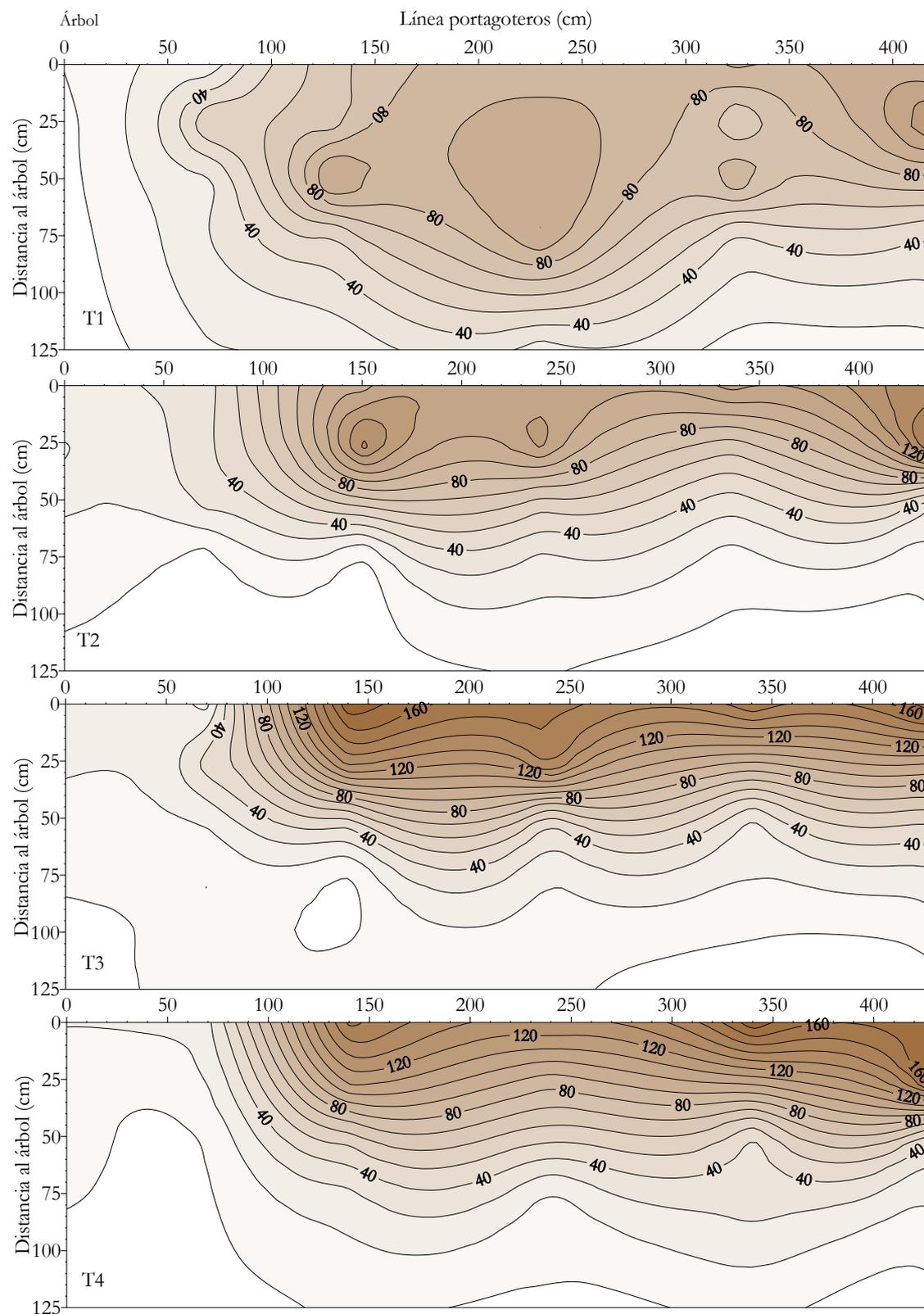
Es de destacar que la mayor diferencia entre tratamientos se produce al considerar las raíces de menor diámetro, no encontrándose ninguna diferencia significativa al considerar las más gruesas (Tabla 7.3).

En la figura 7.25 se representan las isolíneas de DLR, para raíces de diámetro menor de 1 mm, en el perfil de 0 a 120 cm. En ella se observan valores de DLR en superficie y en la zona más cercana a la línea portagoteros de 146, 136 y 148  $\text{cm cm}^{-3}$  para los tratamientos T2, T3 y T4, respectivamente, prácticamente el doble que en el control (72  $\text{cm cm}^{-3}$ ). En cambio, en la zona más alejada (50-125 cm), el tratamiento control mostró una DLR, en superficie, de 77  $\text{cm cm}^{-3}$ , el doble que la de los deficitarios (38, 34 y 35  $\text{cm cm}^{-3}$  para el T2, T3 y T4, respectivamente).

La distribución en planta de los valores de DLR, incluyendo todo tipo de diámetro en el perfil de 0 a 120 cm de profundidad (Figura 7.26), muestra como el tratamiento control tuvo una DLR máxima de 122  $\text{cm cm}^{-3}$ , menor que la de los deficitarios: 155, 177 y 178  $\text{cm cm}^{-3}$  en el T2, T3 y T4 respectivamente, pero con un mayor volumen de suelo explorado por sus raíces. La mayor concentración de raíces tuvo lugar en la zona de influencia de los goteros, de forma más acentuada en los tratamientos deficitarios que en el control, lo cual facilitaría en mayor medida el agotamiento y recarga del agua en el suelo en los momentos de aplicación y recuperación de los déficits de riego (Lampinen *et al.*, 1995).



**Figura 7.25.** Distribución radical vertical de las isóneas de DLR para raíces menores de 1 mm de diámetro en el perfil de suelo (0-120 cm), en albaricoquero Búlida para los 4 tratamientos de riego. El valor de las isóneas representan la suma de las DLR correspondientes a los puntos de la línea portagoteros y a 25 cm de ella (izquierda) y a las de 50, 75 y 125 cm de aquélla (derecha) cada 10 y 5 cm  $\text{cm}^{-3}$ , respectivamente. 1999.



**Figura 7.26.** Distribución en planta de las isóneas de DLR de albaricoquero Búvida. Los valores representan la DLR correspondiente a la totalidad de raíces encontradas en el perfil de suelo (0-120 cm) para los 4 tratamientos de riego. Isóneas cada 10  $\text{cm cm}^{-3}$ . 1999.

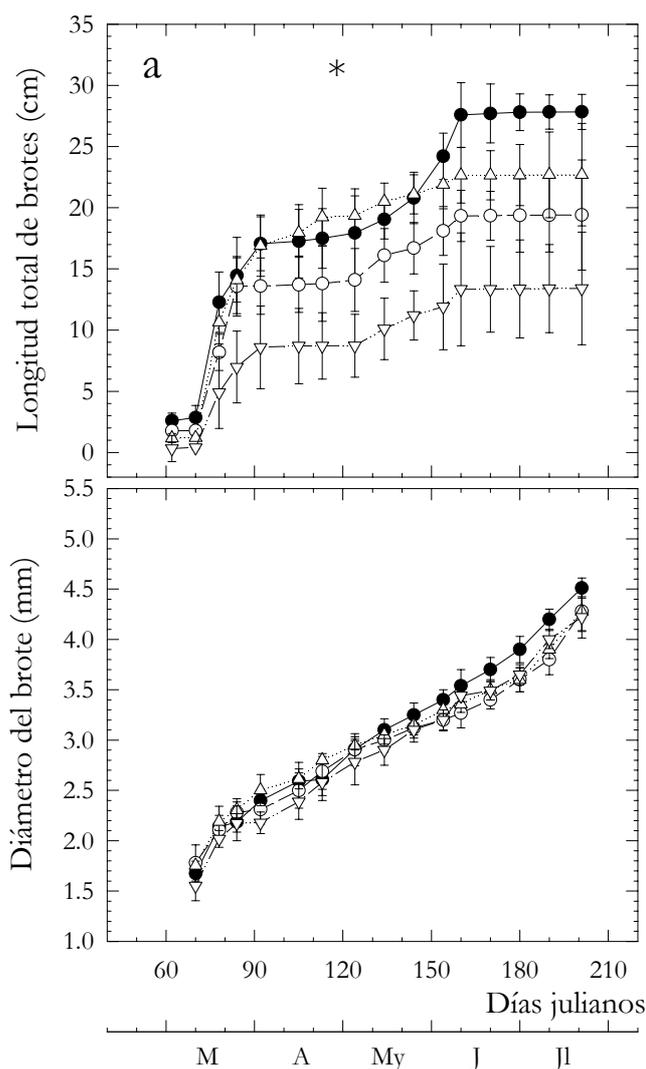
Además, si se tiene en cuenta que la mayor actividad radical del albaricoquero, bajo las condiciones de ensayo, está localizada en los primeros 75 cm de profundidad, los aportes de agua a capas más profundas son innecesarios. De ahí que con fines de programación del riego, y cuando se utilizan aguas de baja salinidad, parezca razonable tomar como profundidad radical efectiva 0.5 m.

### ***Brotos.***

El crecimiento en longitud y diámetro de los brotes correspondiente al año 1997 (Figura 7.27a) muestra un mayor crecimiento en el tratamiento control que en los deficitarios. A pesar de la gran dispersión de los datos obtenidos, este parámetro parece ser sensible al déficit hídrico aplicado (Chalmers *et al.*, 1984; Caspari *et al.*, 1994; DeJong *et al.*, 1987; Girona *et al.*, 1995). El tratamiento T4 presentó valores de longitud total significativamente menores que el control durante todo el período estudiado, mientras que, a partir de junio, se observaron diferencias también en el T2 y T3, coincidiendo con el segundo período de crecimiento anual de brotes. Las medidas de julio indicaron una reducción del 30 % para el T2 y del 19 y 51 % para el T3 y T4, respectivamente.

El crecimiento en diámetro de los brotes muestra menores diferencias entre tratamientos (Figura 7.27b), si bien el T4 presentó un menor grosor, prácticamente durante todo el ciclo y el T2 y T3 después de la recolección. Este parámetro también resultó sensible al déficit hídrico, aunque en menor medida que la longitud (Girona *et al.*, 1995; Larson *et al.*, 1988). Así mismo, es de destacar el crecimiento continuado del diámetro de los brotes durante todo el período estudiado (Figura 7.27b), similar a lo encontrado en melocotonero (DeJong *et al.*, 1987), por lo que existiría una competencia con el fruto (fase III). En este sentido, Girona *et al.* (1995) indican que reducciones previas de la masa vegetativa podrían disminuir la competencia con los frutos por la disponibilidad de agua y asimilados.

La reducción del riego al 25 % de la ETc (T4) durante la primavera de 1997, a pesar de generar un déficit hídrico foliar ligero ( $\Psi_a$  de -0.70 MPa y  $\Psi_{md}$  de -1.38 MPa, Figura 7.11), provocó una ralentización del crecimiento vegetativo que no fue compensada con la restitución del riego al 100 % a finales de abril (Figura 7.27a). La coincidencia de la fase III de crecimiento activo de los frutos con la segunda de crecimiento de brotes supondría un agotamiento de los fotoasimilados en favor de los primeros (Forshey y Elfving, 1989), tal y como se puede observar en la similitud del crecimiento de los frutos en este año, en todos los tratamientos de riego (Figura 7.31b). De esta forma, en los tratamientos deficitarios, el efecto acumulado del déficit hídrico se tradujo en un menor vigor al final de la estación (Figura 7.27a).



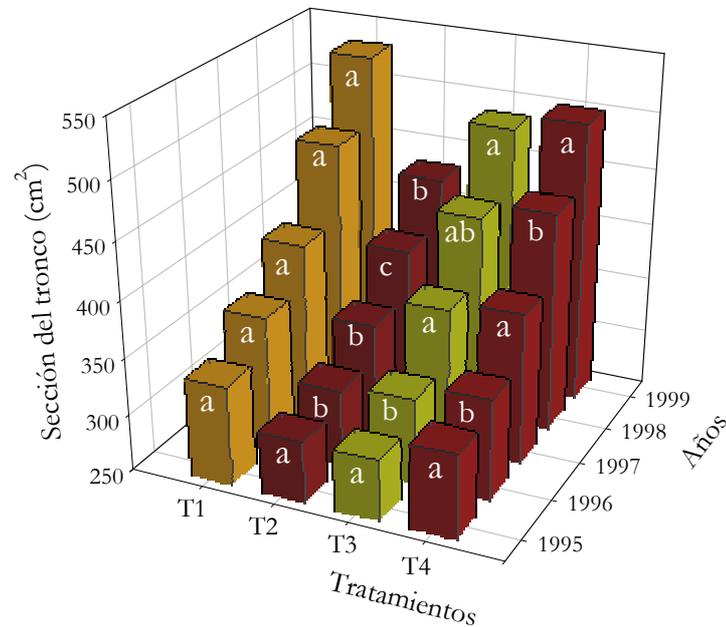
**Figura 7.27.** Dinámica del crecimiento de brotes en longitud (a) y en diámetro (b) de albaricoquero Búlida en los 4 tratamientos de riego: T1 (●), T2 (○), T3 (△) y T4 (▽). Cada punto corresponde a la media de 4 repeticiones  $\pm$  ES. \* indica el cambio de riego al 100 % de la ETc en los tratamientos T3 y T4. 1997.

### ***Tronco y ramas principales.***

La evolución de la sección del tronco durante el período experimental (1995-1999) se muestra en la figura 7.28, donde queda clara la influencia del déficit hídrico continuado sobre el tamaño del tronco de los árboles de tratamiento T2, produciendo una disminución significativa de su sección del tronco desde el primer año de aplicación de los tratamientos (1996).

Los tratamientos de RDC mostraron una reducción en su crecimiento, si bien ésta fue significativa, con respecto al control, en el año 1996, debido a la mayor reducción del riego en ese año (Figura 7.3 y Tabla 7.2) y en 1998, donde sólo el T4 muestra un valor más bajo que el T1, al partir de árboles más grandes que los del T3. Reducciones en el crecimiento del tronco por

efecto del déficit hídrico han sido encontradas en otros frutales de hoja caduca (Boland *et al.*, 1993; Chalmers *et al.*, 1985; Irving y Drost, 1987; Mitchell *et al.*, 1989).



**Figura 7.28.** Evolución de la sección del tronco de albaricoquero Búlida en los 4 tratamientos de riego durante el período experimental (1995-1999). Cada barra corresponde a la media de 4 repeticiones. Los valores de cada año seguidos de letras distintas son significativamente diferentes según el test de la  $MDS_{0.05}$ , considerando los de 1995 como covariable.

El crecimiento en diámetro de las ramas principales mostró un comportamiento similar al del tronco, con un crecimiento global de 2.97, 3.23 y 2.67 cm en los tratamientos T1, T3 y T4, respectivamente, durante el período experimental (1995-1999), mientras que en el T2 el crecimiento fue de 2.01 cm (datos no mostrados).

En la tabla 7.4 se muestra la dinámica de crecimiento del diámetro del tronco durante 1999 para los 4 tratamientos de riego. El tratamiento control (T1) y los de RDC (T3 y T4) experimentaron un incremento similar (1.46, 1.48 y 1.44 cm, respectivamente, de enero a octubre), mientras que éste en el T2 fue de sólo 1.18 cm, dando lugar a un diámetro significativamente menor al tratamiento control en estos árboles, y destacando que la velocidad de crecimiento en el T2 fue menor a la del control (análisis de varianza,  $P < 0.06$ ) sólo en el período de marzo a julio (Tabla 7.4).

Junto con las máximas velocidades de crecimiento observadas de julio a octubre, cabe destacar las mayores, aunque no significativas, velocidades de los tratamientos deficitarios (T3 y T4) con respecto al control, debido a la restitución del riego al 100 % en este momento, lo cual apunta la posibilidad de un crecimiento compensatorio del tronco. Similarmente, González-Altozano (1998) indica que, en clementina, la reducción de riego en la primera mitad del año provoca un menor crecimiento del tronco, compensándose éste en la segunda mitad tras la restitución de los volúmenes de agua al 100 % de la ETc y no mostrándose diferencias en el conjunto del año.

**Tabla 7.4.** Evolución del diámetro ( $\emptyset$ , mm) y velocidad de crecimiento (VC, mm d<sup>-1</sup> 10<sup>-2</sup>) del diámetro del tronco de albaricoquero Búlida en los 4 tratamientos de riego durante 1999.

Tratamiento	Enero		Marzo		Julio		Octubre	
	$\emptyset$	$\emptyset$	VC (M-E)	$\emptyset$	VC (Jl-M)	$\emptyset$	VC (O-Jl)	
<b>T1</b>	245.0 a	247.3 a	3.74 a	251.7 a	3.71 a	259.7 a	8.82 a	
<b>T2</b>	221.7 c	223.5 c	3.42 a	225.4 c	1.57 b	233.6 c	8.84 a	
<b>T3</b>	233.4 b	234.8 b	2.36 a	238.1 b	2.68 ab	248.2 b	11.26 a	
<b>T4</b>	237.3 ab	238.3 ab	1.72 a	242.8 ab	3.69 a	251.7 ab	9.97 a	

Los valores de cada columna seguidos de letras distintas son significativamente diferentes según el test de la MDS<sub>0.05</sub>.

### ***Superficie sombreada e índice de área foliar (IAF).***

Al final del período experimental, el desarrollo de la canopia, evaluado como superficie sombreada por el cultivo, no resultó afectado por los tratamientos de riego aplicados, y a pesar de mostrar valores inferiores los árboles del tratamiento T2, no se detectaron diferencias significativas entre ellos (Tabla 7.5). Este hecho indica que, a pesar de haber empleado una metodología más precisa de determinación de la superficie sombreada que el simple uso de jalones, este parámetro no ha resultado sensible al régimen hídrico impuesto después de 4 años. En cambio, Johnson *et al.* (1992), usando esta metodología, encuentran una menor área sombreada de melocotoneros no regados en la postcosecha, durante 3 años.

Sin embargo, el índice de área foliar (IAF) mostró valores, en el tratamiento T2, inferiores estadísticamente a los del control, siendo similares a éstos los de los tratamientos de RDC (Tabla 7.5), por lo que el IAF parece ser un parámetro más fiable que el primero para detectar diferencias entre tratamientos de riego.

**Tabla 7.5.** Superficie sombreada (SS) e índice de área foliar (IAF) de albaricoquero Búlida en los 4 tratamientos de riego. 1999.

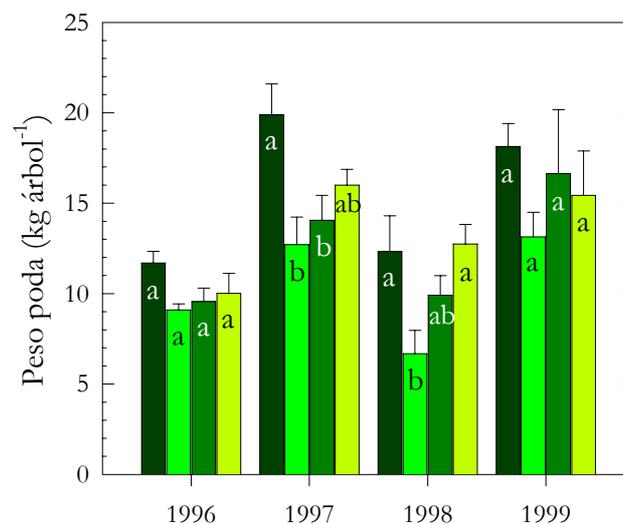
Tratamiento	SS (m <sup>2</sup> )	IAF
T1	51.87 a	1.69 a
T2	46.84 a	1.15 b
T3	48.06 a	1.50 a
T4	49.70 a	1.65 a

Los valores de cada columna seguidos de letras distintas son significativamente diferentes según el test de la  $MDS_{0.05}$ .

### *Poda.*

Los pesos de todas las ramas eliminadas en las tareas de poda, realizadas en la parcela experimental durante el otoño de los años 1996 al 1999, en los diferentes tratamientos de riego, se muestran en la figura 7.29. El análisis de la varianza global de los datos (media de los 4 años) indicó cómo los pesos de poda en el tratamiento control fueron significativamente mayores que los del tratamiento T2, con un 33 % de reducción, mientras que en los de RDC fueron inferiores a los del control, en un 19 y 13 para el T3 y T4, respectivamente, aunque no significativamente (datos no mostrados).

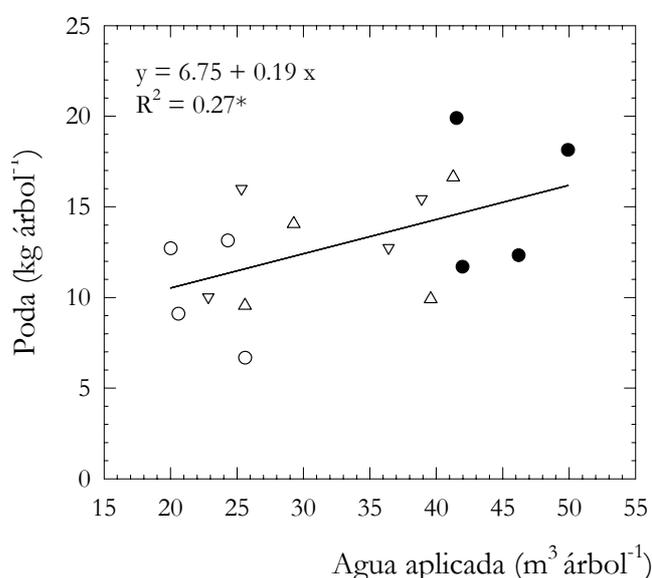
Las diferencias entre tratamientos sólo fueron significativas el segundo y tercer año de ensayo (Figura 7.29), con valores inferiores en el T2, mientras que en los de RDC (T3 y T4) la poda resultó afectada con respecto al control sólo en 1997 y de forma significativa en el T3.



**Figura 7.29.** Peso seco de la poda de otoño (kg árbol<sup>-1</sup>) de albaricoquero Búlida en los 4 tratamientos de riego: T1 ( ), T2 ( ), T3 ( ) y T4 ( ) durante el período experimental. Cada barra corresponde a la media de 4 repeticiones + ES. Los valores de cada año seguidos de letras distintas son significativamente diferentes según el test de la  $MDS_{0.05}$ .

Es de destacar como la mayor cantidad de madera eliminada coincidió con el año de menor producción (1997), por lo que la cantidad de poda parece estar relacionada con los kilos de fruta obtenida ese año (Tabla 7.6). De esta forma se constata de nuevo la competencia entre el crecimiento vegetativo y el del fruto (Bevington y Castle, 1985).

El peso de la poda aumentó linealmente con el nivel de agua de riego aplicada, con menores valores en los tratamientos más deficitarios (Figura 7.30), similar a lo encontrado por Mitchell *et al.* (1989) en peral, y Mitchell y Chalmers (1982) en melocotonero, lo que conlleva una disminución de los costes de mano de obra de estas tareas.



**Figura 7.30.** Relación entre el peso de poda y el agua de riego aplicada en albaricoquero Búlida para los 4 tratamientos de riego: T1 (○), T2 (△), T3 (◻) y T4 (●) y durante el período experimental (1996-1999). Cada punto corresponde a la media de 4 repeticiones.

El análisis global del crecimiento vegetativo del albaricoquero Búlida permite afirmar que las reducciones de agua de riego en los tratamientos deficitarios, limitaron aquél (Figuras 7.27, 7.28, 7.29 y Tablas 7.4 y 7.5), mostrando ser un parámetro sensible al déficit hídrico (Bradford y Hsiao, 1982a; Hsiao, 1973). Así tenemos que el tratamiento regado al 50 % de la ETc todo el año (T2) muestra una reducción significativa en el crecimiento del tronco y de la canopia (brotes y poda) durante el período experimental, mientras que los tratamientos de RDC (T3 y T4), aunque mostraron valores inferiores a los del tratamiento control, esta reducción fue significativa sólo en los dos primeros años de ensayo, debido a la mayor reducción en el agua aplicada en estas campañas (Figura 7.3 y Tabla 7.2).

En este sentido, cabe destacar como Domingo *et al.* (1996) no encuentran una influencia significativa del riego deficitario controlado sobre los parámetros vegetativos de limonero, al igual que en tratamientos de RDC de verano en clementina (González-Altozano y Castel, 2000), mientras que sí hubo una reducción del crecimiento vegetativo en tratamientos de RDC aplicados en primavera y otoño en esta última. En otras especies de cítricos estas diferencias se manifiestan a más largo plazo (Hilgeman, 1977; Levy *et al.*, 1978). En melocotonero y peral el RDC indujo un claro efecto sobre los parámetros que definen el crecimiento vegetativo (Girona *et al.*, 1990; Mitchell y Chalmers, 1982; Mitchell *et al.*, 1984).

En cualquier caso, hay que tener en cuenta que el grado de afectación de los parámetros vegetativos vendrá determinado por la intensidad del déficit hídrico aplicado, la duración de éste, así como el período fenológico que se vea afectado.

En nuestras condiciones se ha constatado la no coincidencia en el tiempo del período activo de crecimiento de los distintos componentes del desarrollo vegetativo del albaricoquero: los brotes crecen, en longitud, en dos períodos, primavera y tras la recolección, y, en sección, durante todo el año (Figura 7.27), mientras que el tronco crece fundamentalmente durante el verano (Tabla 7.4 y Figura 6.9). Por ello se ha de ser prudente a la hora de concluir que en albaricoquero existe una separación clara del crecimiento vegetativo y del fruto, de forma que durante el periodo de restitución del riego al 100 % de la ETc podrían beneficiarse ambos procesos.

### 7.3.5. Crecimiento del fruto.

#### *Parámetros físicos.*

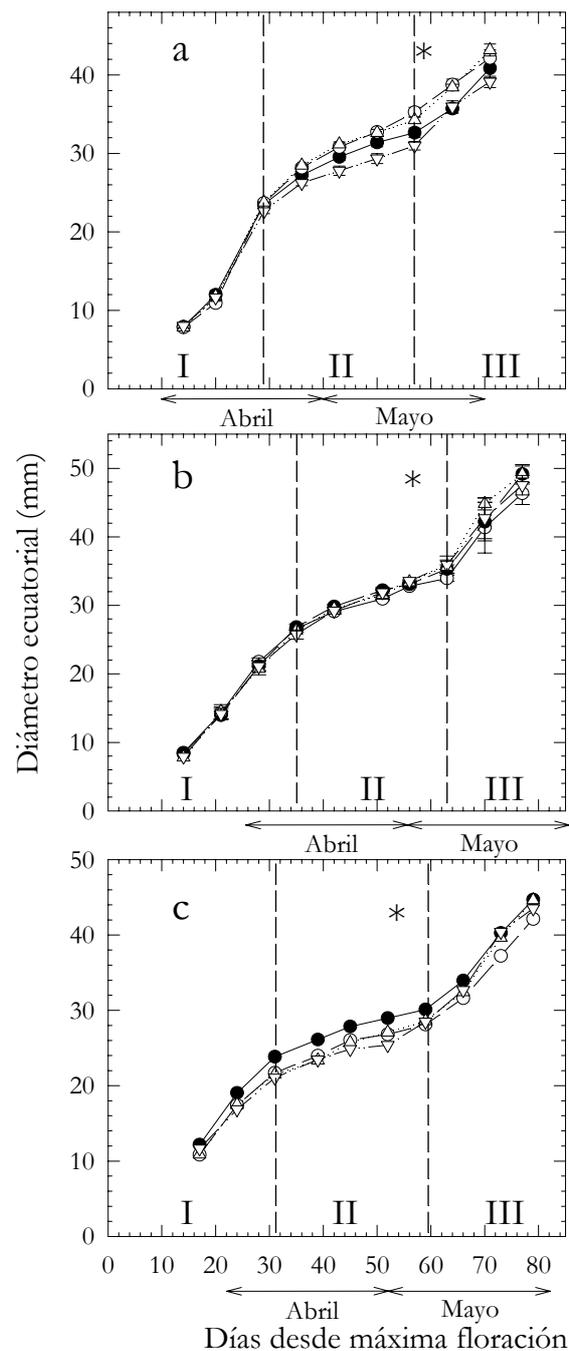
La dinámica de crecimiento del albaricoque, evaluada en base a su diámetro ecuatorial, muestra la doble sigmoide característica de los frutales de hueso (Figura 7.31), caracterizada por 3 fases: una primera de crecimiento rápido (fase I), provocado por divisiones celulares muy intensas, otra segunda (fase II) de ralentización del crecimiento, debido a la competición por los nutrientes entre el endurecimiento del hueso y el crecimiento del mesocarpio, y la segunda fase de crecimiento rápido (fase III) hasta alcanzar el tamaño comercial del fruto (Amorós *et al.*, 1989; Monet *et al.*, 1974; Westwood, 1993).

Durante el período experimental, la fase I finalizó unos 30 días después de la máxima floración; la fase II tuvo una duración media de 28 días, mientras que la fase III osciló entre 15 y 20 días (Figura 7.31), dependiendo de la fecha de inicio de la recolección, siendo ésta función de los criterios comerciales de la campaña.

El efecto de los tratamientos de riego es distinto según el año considerado, de forma que en 1996 sólo los frutos del tratamiento T4 mostraron diámetros menores que los del tratamiento control, influenciados por la aplicación de tan sólo el 25 % de la  $ET_c$  durante las fases I y II de crecimiento del fruto (Figura 7.3). La aplicación del 100 % de la  $ET_c$  se realizó una vez ya comenzada la fase crítica III, por lo que los frutos no recuperaron el tamaño de los del control al final de esta fase (Figura 7.31a). Los frutos de los tratamientos T2 y T3 mostraron una dinámica similar a los del T1, con valores ligeramente superiores a éste en la fase III. Los datos de producción final (Tabla 7.6) reflejaron esta conducta, de forma que en el tratamiento T4 la menor producción total vino acompañada de un número similar de frutos por árbol, lo que implicaría un menor tamaño de éstos.

En 1997 no se observaron diferencias en la dinámica de crecimiento de los frutos de los distintos tratamientos, si bien en el último muestreo, antes de la recolección, los frutos del tratamiento T2 mostraron un menor diámetro (Figura 7.31b). Este hecho puede ser debido a la climatología registrada en este año, con unas altas temperaturas durante el período de la floración (Tabla 6.2) que provocó una alta caída de yemas florales dando lugar a unas bajas producciones en todos los tratamientos (Tabla 7.6), junto con una primavera lluviosa, que indujo en los tratamientos deficitarios unos déficits hídricos en planta ligeros (Figura 7.11). Todo ello pone de manifiesto la anomalía productiva de este año y justifica los similares tamaños encontrados en los frutos de los distintos tratamientos de riego (Figura 7.31b).

El crecimiento del fruto se vio influenciado por el déficit de riego aplicado en 1998 (Figura 7.31c) y 1999 (datos no mostrados). En los tratamientos deficitarios el diámetro de los frutos durante las fases I y II fue significativamente menor al del control, mostrando el T4, al final del período de déficit, el menor diámetro (Figura 7.31c). Tras igualar los volúmenes de riego a los del control, los frutos de los tratamientos de RDC experimentaron un crecimiento compensatorio, permitiéndoles alcanzar el mismo tamaño final que los del control. En cambio los frutos del tratamiento T2 mostraron un diámetro menor durante todo el período de crecimiento (Figura 7.31c). Similar influencia del déficit de riego sobre la dinámica de crecimiento ha sido encontrado en otros frutos como en cítricos (Cohen y Goell, 1988), pera (Caspari *et al.*, 1994; Mitchell *et al.*, 1984), manzano (Ebel *et al.*, 1995; Mills *et al.*, 1996) y melocotón (Mitchell y Chalmers, 1982; Ruiz-Sánchez y Girona, 1995).



**Figura 7.31.** Evolución del diámetro ecuatorial en 1996 (a), 1997 (b) y 1998 (c) del albaricoque Búlida en los 4 tratamientos de riego: T1 (○), T2 (□), T3 (△) y T4 (◇). Cada punto corresponde a la media de 4 repeticiones  $\pm$  ES. \* indica el cambio de riego al 100 % de la ETc en los tratamientos T3 y T4.

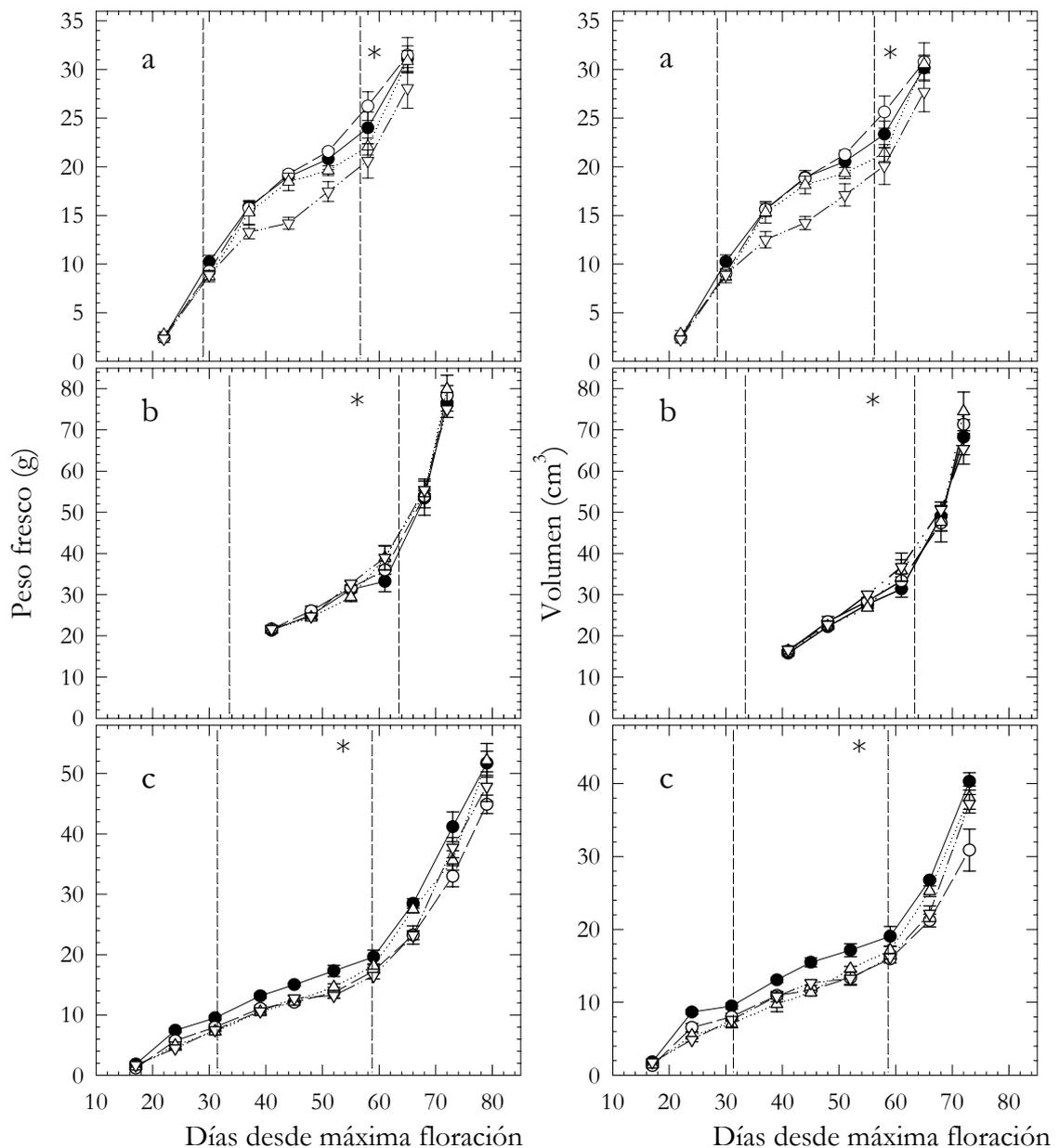
En relación al peso fresco y volumen del albaricoque (Figura 7.32), la evolución es similar a la del diámetro (Figura 7.31), si bien la fase de endurecimiento del hueso no se detecta de forma tan clara. En cuanto al efecto de los tratamientos de riego, los frutos del tratamiento más deficitario (T4), en 1996, muestran una reducción tanto del peso fresco como del

volumen (Figura 7.32a), más pronunciada que la del diámetro (Figura 7.31a), con respecto a los del tratamiento control, los cuales también mostraron valores más altos que los demás tratamientos en 1998, año en el que se observa una recuperación de estos parámetros en los tratamientos de RDC, tras la restitución del riego al 100 % de la ETc (Figura 7.32c). En 1997, no se observaron diferencias entre tratamientos, posiblemente debido a las bajas producciones obtenidas como consecuencia de las anomalías climáticas ocurridas en este año.

La evolución de la firmeza del albaricoque presenta una etapa ascendente durante la fase II de crecimiento del fruto, con un máximo de 600 N (Figura 7.33a), coincidiendo con un diámetro de 33 mm (Figura 7.31b), a partir del cual disminuye progresivamente hasta alcanzar un valor de 90 N, similar en todos los tratamientos de riego (Figura 7.33a). Esta disminución es debida al ablandamiento progresivo del fruto, resultado de la separación de las células provocada por cambios estructurales en la lámina media y por degradación de los componentes de la pared celular (Amorós *et al.*, 1989). Según el punto de inflexión obtenido (Figura 7.33a), el inicio de la fase III de crecimiento del fruto comenzaría unos días antes de lo indicado en la curva de diámetro ecuatorial (Figura 7.31b), por lo que su determinación sería muy útil en la identificación del inicio de dicha fase crítica.

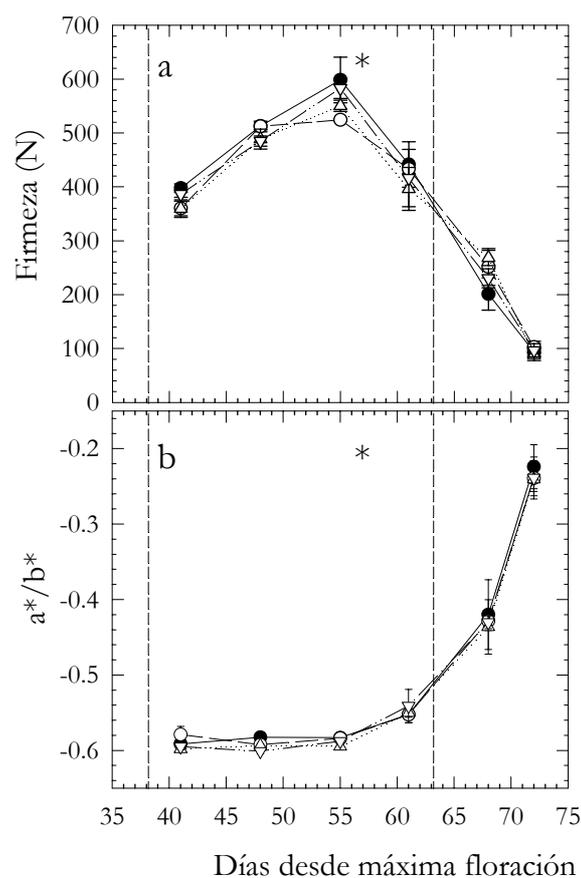
En la figura 7.33b se muestra la evolución del cociente  $a^*/b^*$ , que representa el tono de color (Yang, 1987), el cual permanece prácticamente constante en la fase II, mostrando al final de ésta un notable incremento, coincidente con el máximo de firmeza (Figura 7.33a). Finalmente el fruto adquiere el color amarillento característico del albaricoque (Jiménez *et al.*, 1981). En este sentido, Artés *et al.* (1997) consideran el valor de  $a^*/b^* \approx -0.20$  como óptimo para la comercialización de pomelos y limones. No se apreciaron diferencias significativas en el color para los diferentes tratamientos de riego durante el crecimiento del fruto.

El diámetro ecuatorial ( $\varnothing_E$ ) mostró una buena correlación con el índice de forma ( $IF = \varnothing_E/\varnothing_L$ ). En la figura 7.34a se observa como IF aumenta con el tiempo, consecuencia del mayor crecimiento en grosor que en altura, llegando al final de la fase III a valores superiores a la unidad. Este hecho es más patente en albaricoque que en otros frutos, de forma que en ciruela,  $\varnothing_E$  no llega a superar a  $\varnothing_L$  (Romojaro *et al.*, 1979), al igual que en limón, donde el IF se mantiene por debajo de la unidad (Escriche *et al.*, 1988).

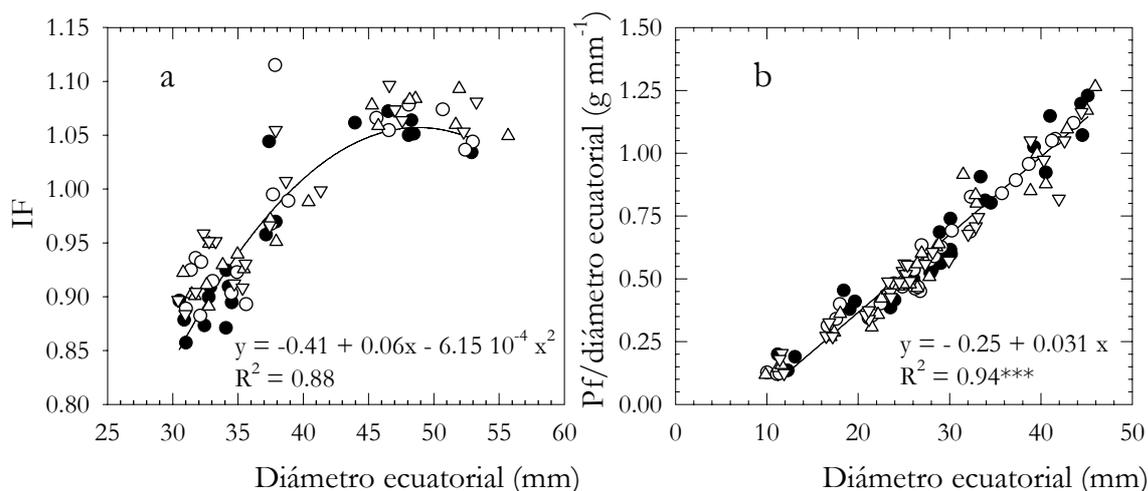


**Figura 7.32.** Evolución del peso fresco y volumen en 1996 (a), 1997 (b) y 1998 (c) del albaricoque Búlida en los 4 tratamientos de riego: T1 (○), T2 (□), T3 (△) y T4 (◇). Cada punto corresponde a la media de 4 repeticiones  $\pm$  ES. \* indica el cambio de riego al 100 % de la  $ET_c$  en los tratamientos T3 y T4.

Biondi *et al.* (1991) incluyen la relación peso fresco/diámetro ecuatorial ( $Pf/\varnothing_E$ ) como índice de madurez, que define el momento óptimo de recolección de un fruto cuando éste ha superado la unidad. La evolución de esta relación en albaricoque muestra un buen ajuste ( $R^2 = 0.94^{***}$ ), por lo que puede ser usada con fines de determinación del momento óptimo de recolección (Figura 7.34b).



**Figura 7.33.** Evolución de la firmeza (a) y color,  $a^*/b^*$ , (b) del albaricoque Búlida en los 4 tratamientos de riego: T1 (○), T2 (□), T3 (△) y T4 (●). Cada punto corresponde a la media de 4 repeticiones  $\pm$  ES. \* indica el cambio de riego al 100 % de la ETc en los tratamientos T3 y T4. 1997.



**Figura 7.34.** Relación entre el índice forma,  $IF = \varnothing_E/\varnothing_L$  (a) y  $Pf/\varnothing_E$  (b) con el diámetro ecuatorial ( $\varnothing_E$ ) del albaricoque Búlida para los 4 tratamientos de riego: T1 (○), T2 (□), T3 (△) y T4 (●). Los puntos corresponden a la media de 4 repeticiones.

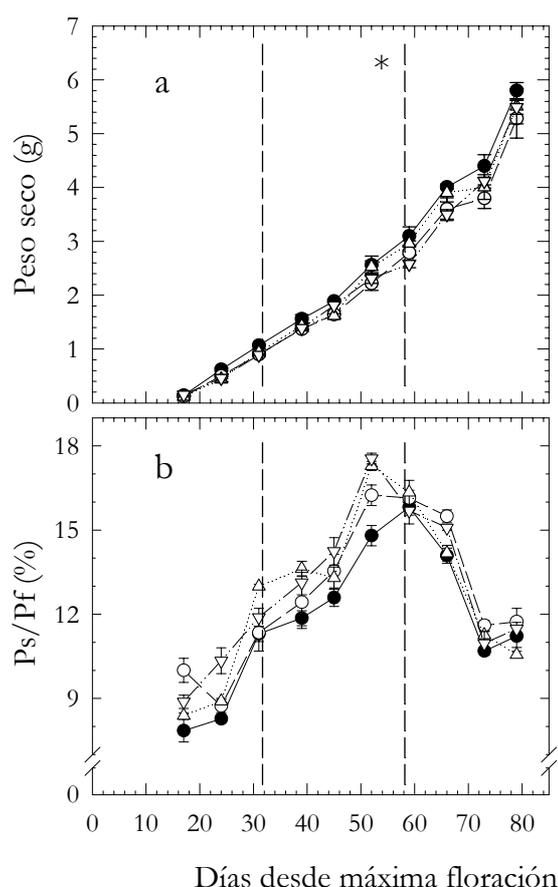
### ***Parámetros químicos.***

La evolución del peso seco del albaricoque muestra un aumento continuado durante las tres fases de crecimiento (Figura 7.35a). Cabe pensar, por ello, que la materia seca se acumula a un ritmo constante, incluso en la fase II de retardo del crecimiento, siendo dirigida ésta al proceso de endurecimiento del hueso, tal y como ha sido constatado en otros frutos de hueso, como el melocotón (Ruiz-Sánchez y Girona, 1995).

En los tratamientos deficitarios no se observaron claras diferencias de peso seco con respecto al tratamiento control durante el período de déficit de riego, en las fases I y II (Figura 7.35a). Este hecho permite explicar el crecimiento compensatorio observado (Figura 7.31c), que parece deberse a la disponibilidad de materia seca, acumulada al mismo ritmo que en el tratamiento control durante el período de estrés. La hipótesis se basa en el hecho de que, aunque el peso fresco de los frutos estresados disminuye (Figura 7.32c), no ocurre así al considerar el contenido en materia seca (Figura 7.35a), que se acumula a un ritmo similar (Cohen y Goell, 1984). Durante la fase III el peso seco de los frutos de los tratamientos deficitarios no mostró diferencias significativas con respecto a los del control (Figura 7.35a).

El porcentaje de materia seca muestra un comportamiento diferente en cada fase de crecimiento (Figura 7.35b). Durante la fase I existe una velocidad de acumulación del peso seco similar a la del peso fresco, por lo que el porcentaje de materia seca muestra unos valores constantes, aunque aumenta al final de la fase. En la fase de endurecimiento del hueso, la materia seca aumenta por la mayor velocidad de acumulación del peso seco que del fresco, mientras que lo contrario sucede en la fase III de crecimiento del fruto, cuando se inicia un descenso de la materia seca, debido a que el aumento de tamaño del fruto se produce principalmente por absorción de agua. Además, queda claro que el déficit hídrico afectó básicamente a la hidratación relativa de los frutos de los tratamientos deficitarios, con un mayor porcentaje de materia seca durante la fase II (Figura 7.35b).

De esta forma, la evolución estacional del porcentaje de materia seca del fruto parece ser un buen indicador del cambio de fase (Chalmers y van den Ende, 1975; Girona, 1994), especialmente de la fase II a la III. Además, el porcentaje de humedad del fruto ha sido muy utilizado como índice de madurez en otras especies de *Prunus*, al dar idea de la jugosidad del fruto (Amorós *et al.*, 1989; Souty *et al.*, 1990).



**Figura 7.35.** Evolución del peso seco (a) y porcentaje de materia seca, Ps/Pf, (b) del albaricoque Búlida para los 4 tratamientos de riego: T1 ( ), T2 ( ), T3 ( ) y T4 ( ). Los puntos corresponden a la media de 4 repeticiones  $\pm$  ES. \* indica el cambio de riego al 100 % de la ETc en los tratamientos T3 y T4. 1998.

El nivel de sólidos solubles (SS) presenta pocas variaciones durante las primeras fases de crecimiento del fruto, aumentando de forma acusada al inicio de la fase III ( $\geq 34$  mm  $\varnothing_E$ , Figura 7.36a). En esta etapa se produce una disminución de algunos componentes estructurales del fruto, reduciéndose la resistencia mecánica e incrementándose la jugosidad (Amorós *et al.*, 1989). En la relación entre SS y  $\varnothing_E$  los valores correspondientes a los tratamientos deficitarios se sitúan ligeramente por encima de los del tratamiento control (Figura 7.36a).

El aumento en la concentración de sólidos solubles con la madurez del fruto ha sido también observado en melocotón (Robertson *et al.*, 1992) y ciruela (Romojaro *et al.*, 1979). Biondi *et al.* (1989) indican que el contenido en SS es, junto con la acidez, el parámetro que muestra mayores diferencias entre cultivares de albaricoque, y además que la calidad del albaricoque viene asociada con un alto contenido en SS.

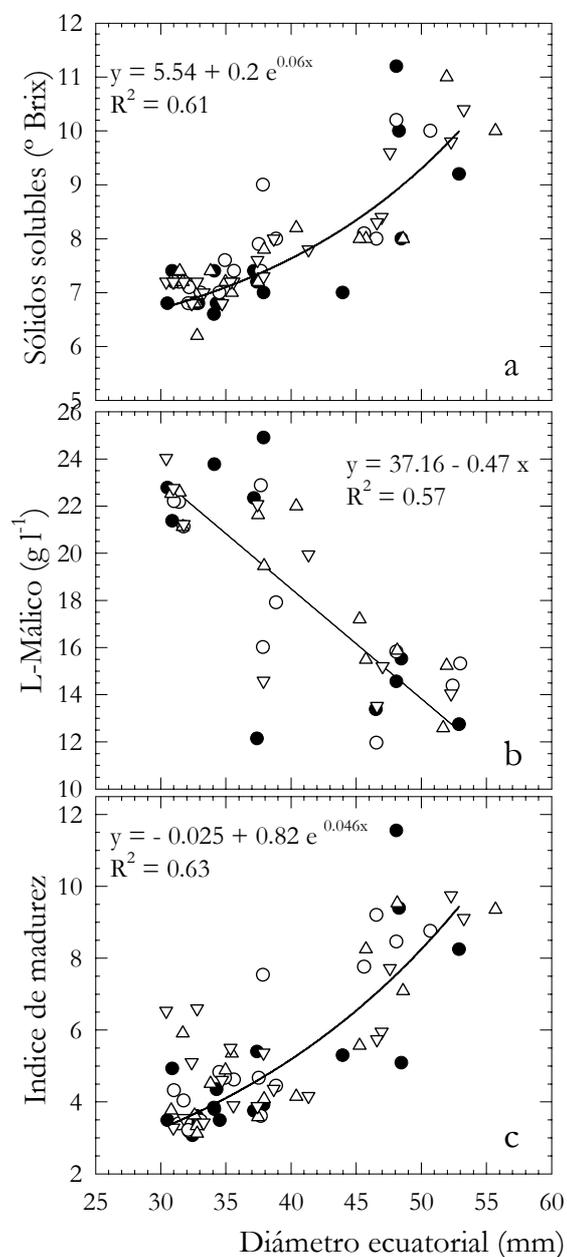
Los ácidos orgánicos juegan un papel muy importante en las características organolépticas de los frutos. La acidez total del albaricoque es elevada, representando del 1.2 al 3.5 % de la materia fresca (Souty *et al.*, 1976), siendo el ácido mayoritario el L-málico, que aporta el 70-80 % de la acidez total y es el responsable de la aspereza del fruto. Su tendencia durante el crecimiento del fruto es decreciente, acentuándose en la fase III y no observándose diferencias entre los tratamientos de riego (Figura 7.36b).

La relación entre el índice de madurez (SS/acidez total) y  $\varnothing_E$  muestra, con una alta dispersión, valores constantes hasta el inicio de fase III de crecimiento del fruto cuando aumenta de forma exponencial con el incremento del diámetro (Figura 7.36c). El déficit hídrico afectó a este parámetro, mostrando valores ligeramente superiores en los tratamientos deficitarios que en el control.

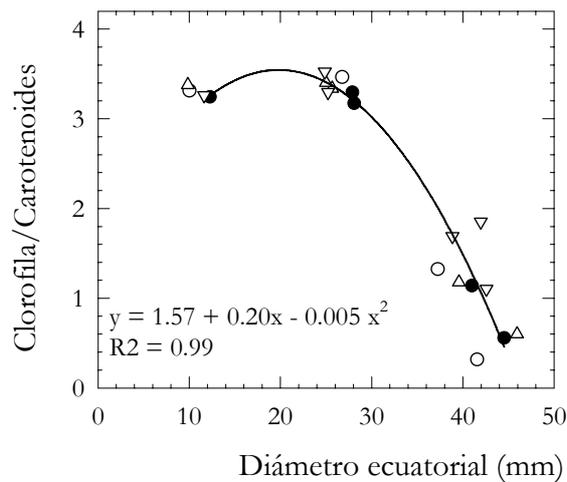
La evolución de los pigmentos fotosintéticos (clorofila y carotenoides) mostró una tendencia decreciente durante el crecimiento del fruto, con valores de 61 a 1 g g<sup>-1</sup> de peso fresco, para la clorofila, y de 19 a 2 g g<sup>-1</sup> peso fresco, para los carotenoides (datos no mostrados). La degradación de la clorofila está asociada al desenmascaramiento de otros pigmentos, que provocan el viraje del color verde al rojo-amarillo (Arias, 1992). Los valores iniciales en los tratamientos deficitarios, más bajos que los del control, pueden indicar un retraso en la evolución del fruto, si bien durante el desarrollo éste se compensa.

El cambio de color en la superficie del fruto se debe principalmente a la disminución de la relación clorofila/carotenoides. En el albaricoque dicha relación muestra valores altos (en torno a 3.5) en las primeras fases de crecimiento, correspondientes al color verde, y posteriormente, durante la maduración, valores cercanos a la unidad, que corresponden al color rojo-amarillento, provocados por la disminución más rápida de los niveles de clorofila que de carotenoides (Figura 7.37). No se observaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos de riego ensayados.

De los resultados anteriores, relativos al crecimiento del albaricoque, se puede concluir que los principales cambios físicos y químicos del fruto se producen a partir de la fase III, segunda de crecimiento rápido, incluyendo un importante aumento en el peso fresco, volumen, luminosidad de la epidermis, acompañado del viraje de color del verde al amarillo, y de sólidos solubles y un descenso de la firmeza, porcentaje de materia seca y acidez.



**Figura 7.36.** Relación entre el contenido en sólidos solubles (a), ácido L-málico (b) e índice de madurez (c) y el diámetro ecuatorial del albaricoque Búlida para los 4 tratamientos de riego: T1 (○), T2 (△), T3 (□) y T4 (●). Los puntos corresponden a la media de 3 repeticiones. 1997.



**Figura 7.37.** Relación entre clorofila/carotenoides y el diámetro ecuatorial del albaricoque Búlida para los 4 tratamientos de riego: T1 ( ), T2 ( ), T3 ( ) y T4 ( ). Los puntos corresponden a la media de 4 repeticiones. 1998.

Además, se ha encontrado una buena correlación entre los parámetros físicos y químicos estudiados y el diámetro ecuatorial del fruto, permitiendo conocer, a partir de una medida sencilla y no destructiva de la calidad del fruto, como es su diámetro, el momento en el que se alcanzan los parámetros mínimos de calidad para incorporar los frutos al mercado.

### 7.3.6. Producción y calidad de la cosecha.

#### *Producción*

La producción media del tratamiento control durante el período experimental fue de 225 kg árbol<sup>-1</sup>, equivalente a 35 t ha<sup>-1</sup>, producción considerada como muy buena de acuerdo con Forte (1992) y Rebour (1971), lo que supone cuadruplicar la productividad de las plantaciones de albaricoquero en la Región de Murcia (8 t ha<sup>-1</sup>, Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua, 1998). Las producciones mostraron una ligera alternancia (Tabla 7.6), característica de algunos frutales (Westwood, 1993).

La producción obtenida en los árboles de los tratamientos ensayados se muestra en la tabla 7.6 y la figura 7.38. Durante los dos primeros años de estudio (1995/96 y 1996/97), con un ahorro de agua por encima del 30 % (Tabla 7.2), la producción total y el número de frutos por árbol de los tratamientos de RDC se vio mermada con respecto a la del control, mientras que en los dos últimos (1997/98 y 1998/99), con un ahorro del 16 % en el T3 y del 22 % en el T4, la producción total y el número de frutos obtenidos fue similar a los del tratamiento control (Figura 7.38).

**Tabla 7.6.** Producción (kg) y número de frutos (fr.) por árbol de albaricoquero Búlida en los 4 tratamientos de riego durante el período experimental.

Trat.	1996		1997		1998		1999	
	kg árbol <sup>-1</sup>	fr. árbol <sup>-1</sup>						
T1	208.7 a	3832 a	145.4 a	2332 a	367.8 a	8271 a	178.8 a	4614 a
T2	123.3 b	2257 c	100.4 b	1684 ab	269.5 b	6502 b	98.1 b	2401 b
T3	143.3 b	2581 bc	97.1 b	1476 b	353.7 a	9069 a	187.9 a	4592 a
T4	152.5 b	3367 ab	88.2 b	1445 b	324.3 a	8069 a	186.1 a	4773 a

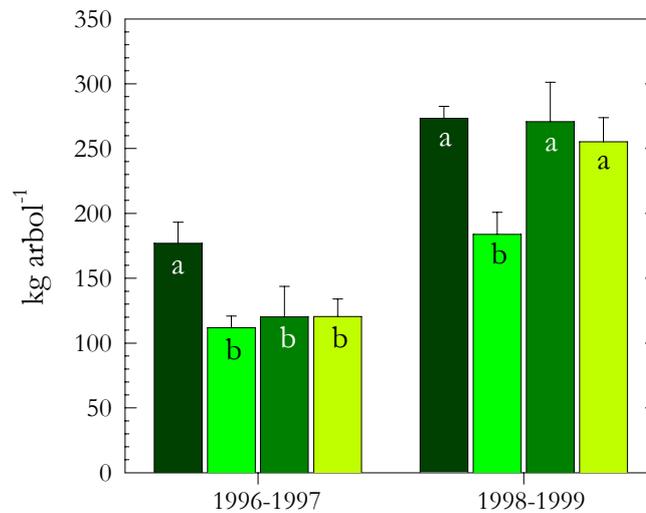
Los valores de cada columna seguidos de letras distintas son significativamente diferentes según el test de la MDS<sub>0.05</sub>.

En cambio en el tratamiento T2 (con ahorro de agua del 50 %) se redujo de forma significativa tanto la producción total como el número total de frutos por árbol respecto a los demás, durante todo el período experimental.

Es importante señalar que en los tratamientos T2 y T4 en 1996, cuando el ahorro de agua fue similar ( $\approx 48\%$ ), la producción se redujo, con respecto al tratamiento control, en un 41 % en el T2, mientras que en un 27 % en el T4 (Tabla 7.6), lo cual implica que el manejo del riego bajo condiciones de RDC (reducción en las dosis de agua en los períodos fenológicos no críticos y completando las necesidades hídricas en las fases más sensibles al déficit hídrico), mejora substancialmente la productividad del cultivo.

La baja productividad obtenida en 1997 puede ser explicada, tal y como ya se ha mencionado anteriormente, por la falta de frío invernal y las altas temperaturas (tanto máximas como mínimas) durante la floración (finales febrero-principios de marzo) (Tabla 6.2) que afectaron a los procesos de fructificación (Egea, 2000). Estas anomalías climatológicas afectaron de forma generalizada a la producción de albaricoque Búlida en la Región de Murcia, la más baja registrada desde el año 1980 (Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua, 1998). Además, es de destacar que el análisis de la varianza de este año indica que el factor tratamiento de riego es significativo a un nivel de probabilidad de 0.06 para la producción en kg por árbol y de 0.07 para el número de frutos por árbol, valor que supera el umbral estadístico ( $P \leq 0.05$ ) para establecer diferencias significativas.

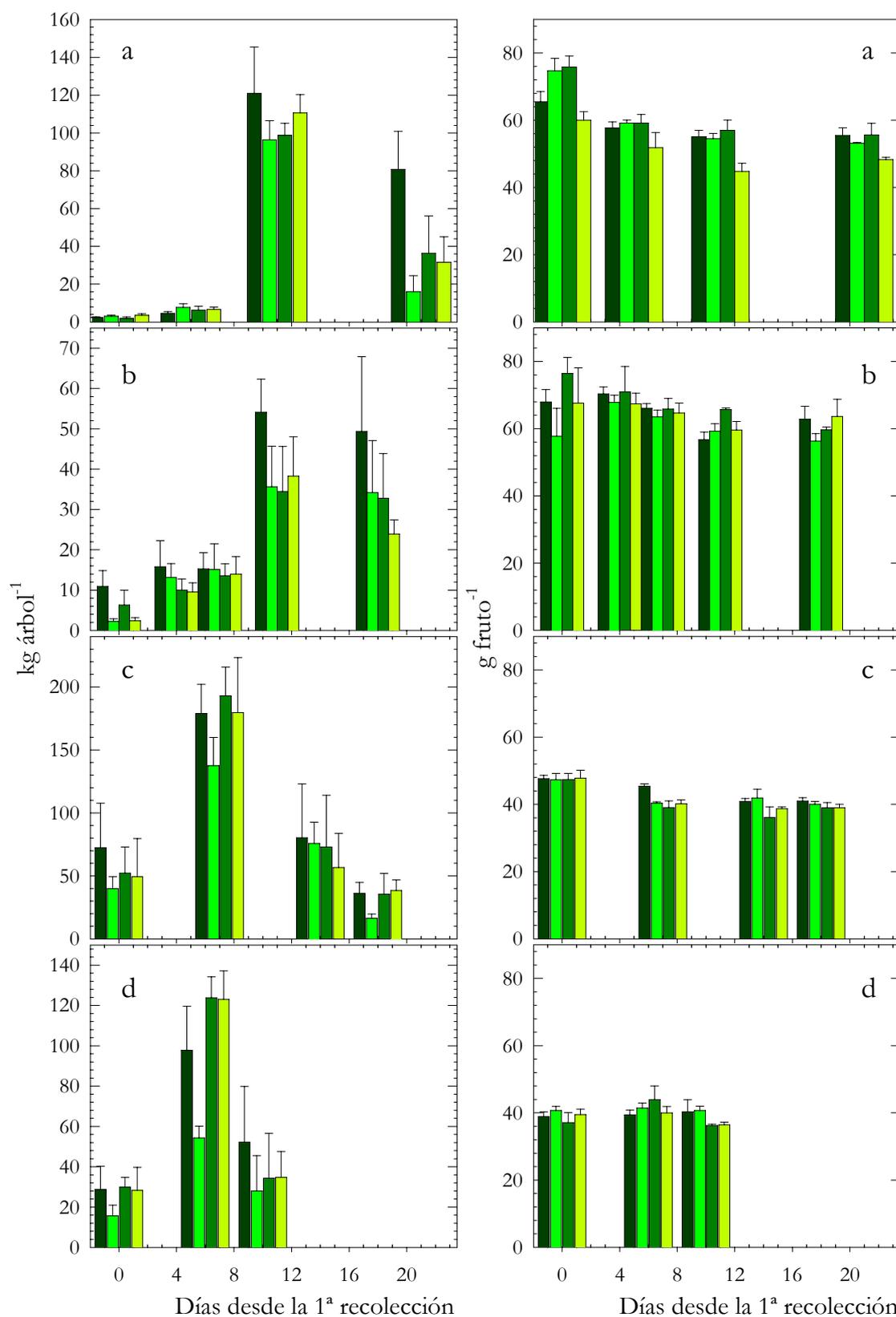
El desglose de la producción por fechas de recolección (Figura 7.39) deja patente la gran variabilidad entre años, tanto en el número de recolecciones (3-5) como en la cantidad relativa recogida en cada una, factor dependiente de la demanda comercial. La recolección se extiende unos 20 días en los tres primeros años, siendo de menor duración (10 días) en el último.



**Figura 7.38.** Producción media de los dos primeros años (1996-1997) y los dos últimos (1998-1999) de albaricoque Búlida, en los 4 tratamientos de riego: T1 ( ), T2 ( ), T3 ( ) y T4 ( ). Cada barra corresponde a la media de 4 repeticiones + ES. Las letras distintas en cada bienio indican diferencias significativas según el test de la  $MDS_{0.05}$ .

Los tratamientos de RDC no indujeron ni adelanto ni retraso de la cosecha, respecto al tratamiento control, durante el período experimental, mientras que el T2 mostró una reducción de la producción en las primeras fechas de recolección (Figura 7.39). En los primeros años, cuando los tratamientos de RDC mostraron una menor producción que el control (Tabla 7.6), estas diferencias tuvieron lugar en las últimas recolecciones (Figura 7.39), coincidiendo con los precios más bajos de la fruta, por lo que se puede concluir que el RDC no afecta a la precocidad del albaricoque.

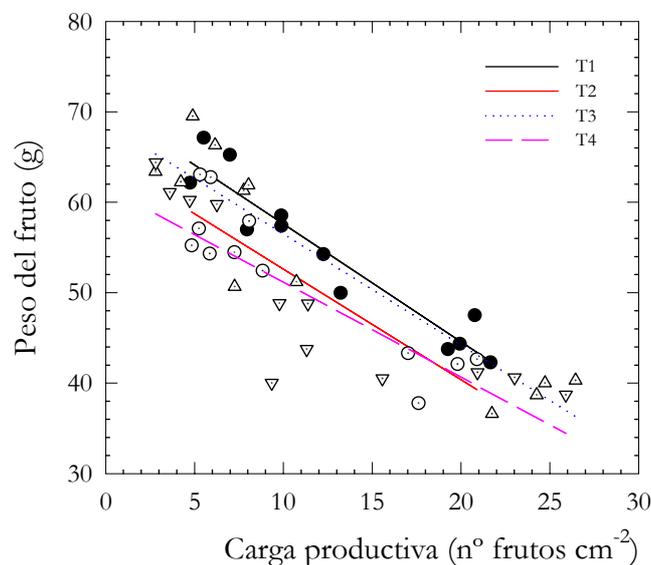
La determinación del peso unitario de los frutos recolectados en cada una de las fechas de recolección, a partir de la producción y el número de frutos, no mostró diferencias significativas entre tratamientos, si bien es de destacar que en los dos primeros años los frutos del tratamiento T3 tuvieron mayor peso que los del control (Figura 7.39).



**Figura 7.39.** Producción (kg árbol<sup>-1</sup>) y peso (g fruto<sup>-1</sup>) de albaricoque Búlida, en cada fecha de recolección en 1996 (a), 1997 (b), 1998 (c) y 1999 (d) en los 4 tratamientos de riego: T1 ( ), T2 ( ), T3 ( ) y T4 ( ). Cada barra corresponde a la media de 4 repeticiones + ES.

### ***Interacción entre la carga productiva y el peso del fruto.***

El tamaño final del fruto depende de diversos factores, entre los que destaca la carga productiva (Ebel *et al.*, 1995; Guardiola, 1988). En la figura 7.40 se muestra la relación obtenida entre la carga productiva, expresada como número de frutos por sección de tronco, y el peso medio del albaricoque en nuestras condiciones experimentales. Dicha relación muestra una tendencia similar en todos los tratamientos de riego, con una correspondencia entre frutos de elevado peso y bajos niveles de carga productiva (Figura 7.40). El mejor ajuste se obtuvo en el tratamiento control, el que a su vez presentó una pendiente ligeramente mayor (Tabla 7.7), lo que ‘a priori’ sugiere un mayor efecto de la carga productiva sobre el peso del fruto.



**Figura 7.40.** Relación entre el peso del fruto y la carga productiva del albaricoque Búlida para los 4 tratamientos de riego: T1 ( ), T2 ( ), T3 ( ) y T4 ( ). Los puntos corresponden a la media de 4 repeticiones.

**Tabla 7.7.** Parámetros de la regresión entre el peso del fruto y la carga productiva de albaricoquero Búlida en los 4 tratamientos de riego.

Tratamiento	Ordenada	Pendiente	R <sup>2</sup> ajustado
T1	70.62	- 1.30	0.90***
T2	64.81	- 1.22	0.81***
T3	68.76	- 1.23	0.83***
T4	61.70	- 1.05	0.67**

### ***Eficiencia productiva.***

Como se ha visto en el apartado anterior, el déficit hídrico afectó al crecimiento del tronco del albaricoquero (Figura 7.28), esto implicaría una disminución del tamaño total del árbol, al estar estrechamente relacionada la sección del tronco con el peso de la parte aérea del árbol (Westwood y Roberts, 1970).

El incremento anual de la sección del tronco da una idea del crecimiento vegetativo ocurrido en ese intervalo de tiempo; de esta forma la relación entre la producción y este incremento serviría para separar los recursos destinados al crecimiento vegetativo y al productivo (Ebel *et al.*, 1995; González-Altozano y Castel, 1999). En la tabla 7.8 se muestran los valores de esta relación durante el período experimental, junto con los de incremento anual de la sección del tronco, eficiencia productiva ( $\text{kg cm}^{-2}$  tronco) y eficiencia en el uso del agua ( $\text{kg m}^{-3}$ ).

Los datos correspondientes a 1996 indican menores eficiencias productivas en todos los tratamientos deficitarios (Tabla 7.8), a pesar del menor crecimiento de tronco observado (Tablas 7.8), sin embargo, cabe destacar que, aunque no se detectaron diferencias significativas, los tratamientos deficitarios, T2 y T4, que sufrieron un mayor déficit de riego (Tabla 7.2), mostraron una relación  $\text{kg } \Delta\text{ST}^{-1}$  un 40 % mayor que la del tratamiento control, lo cual indica que los recursos han ido dirigidos al fruto (producción) en detrimento del tronco (crecimiento vegetativo).

En 1997, esta tendencia se invirtió de forma que los tratamientos de RDC mostraron un mayor incremento en el crecimiento del tronco, con respecto al control, a costa de la producción, lo que se tradujo en una disminución del 70 % de la relación  $\text{kg } \Delta\text{ST}^{-1}$  (Tabla 7.8).

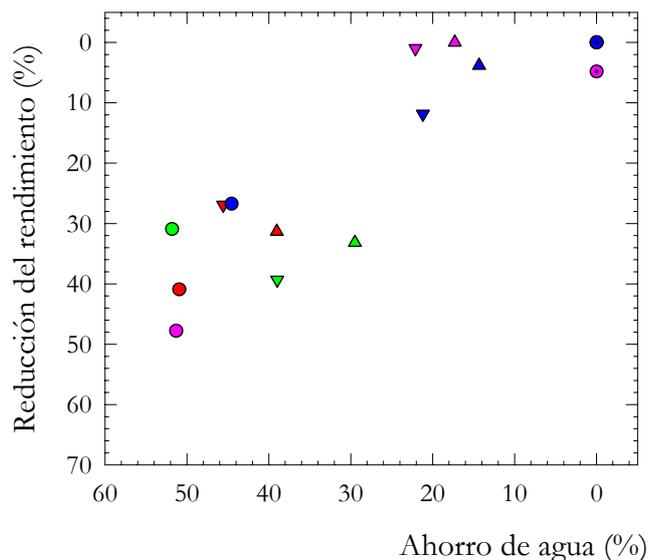
En 1998 y 1999 en los que los tratamientos de RDC mostraron una producción similar a la del control (Tabla 7.6) se consigue un equilibrio en el reparto de recursos ligeramente favorables a la productividad, con valores de eficiencia productiva y de relación  $\text{kg } \Delta\text{ST}^{-1}$  similares o incluso superiores a los del tratamiento control (Tabla 7.8).

En relación al tratamiento T2 cabe destacar que, a pesar de que la disminución en el crecimiento de la sección del tronco fue significativamente menor que la del control todos los años estudiados, la relación  $\text{kg } \Delta\text{ST}^{-1}$  indica un patrón claramente alternante, de forma que un año se destina una mayor cantidad de recursos hacia la productividad y el siguiente al crecimiento vegetativo (Tabla 7.8).

**Tabla 7.8.** Parámetros de crecimiento vegetativo, productivo y eficiencia en el uso del agua de albaricoquero Búlida en los 4 tratamientos de riego durante el período experimental.

	1996	1997	1998	1999
<b>Incremento de la sección del tronco, <math>\Delta ST</math>, (cm<sup>2</sup>)</b>				
T1	30.83 a	37.65 ab	66.81 a	58.10 a
T2	13.65 b (-56)	29.60 b (-21)	40.77 b (-39)	42.72 b (-27)
T3	21.31 b (-31)	49.23 a (+31)	55.60 a (-17)	56.27 a (-3)
T4	14.28 b (-54)	44.18 a (+17)	61.61 a (-8)	55.55 ab (-4)
<b>Eficiencia productiva (kg cm<sup>-2</sup>)</b>				
T1	0.57 a	0.36 a	0.78 a	0.34 a
T2	0.39 b (-32)	0.29 a (-19)	0.70 a (-10)	0.23 b (-32)
T3	0.44 b (-23)	0.26 a (-28)	0.83 a (+6)	0.38 a (+12)
T4	0.46 b (-19)	0.23 a (-36)	0.74 a (-5)	0.37 a (+9)
<b>Producción/<math>\Delta ST</math> (kg cm<sup>-2</sup>)</b>				
T1	7.29 a	6.83 a	5.70 a	3.22 a
T2	10.21 a (+40)	3.55 a (-48)	6.85 a (+20)	2.35 a (-27)
T3	7.03 a (-4)	2.00 a (-71)	6.52 a (+14)	3.32 a (+3)
T4	10.76 a (+40)	2.16 a (-68)	5.32 a (-7)	3.44 a (+7)
<b>Eficiencia en el uso del agua (kg m<sup>-3</sup>)</b>				
T1	4.97 a	3.50 a	7.96 b	3.58 a
T2	5.98 a (+20)	5.02 a (+43)	10.52 a (+32)	4.03 a (+13)
T3	5.59 a (+12)	3.32 a (-5)	8.94 b (+12)	4.55 a (+27)
T4	6.67 a (+34)	3.48 a (-1)	8.91 b (+12)	4.79 a (+34)

Los valores de cada columna seguidos de letras distintas son significativamente diferentes según el test de la MDS<sub>0,05</sub>. Los valores entre paréntesis indican la diferencia relativa en porcentaje al tratamiento control.



**Figura 7.41.** Relación entre la reducción del rendimiento y el ahorro de agua, en albaricoquero Búlida, en 1996 (rojo), 1997 (verde), 1998 (azul) y 1999 (rosa) para los tratamientos de riego: T1 ( ), T2 ( ), T3 ( ) y T4 ( ). Los puntos corresponden a la media de 4 repeticiones.

El análisis estadístico de los datos de eficiencia en el uso del agua no detectó diferencias significativas entre tratamientos, si bien los deficitarios, en general, mostraron valores superiores (19 %) a los del tratamiento control (Tabla 7.8).

Por otro lado, la consideración de la eficiencia en el uso del agua, expresada en términos de porcentaje de reducción de la producción frente al porcentaje de ahorro de agua de riego (Figura 7.41), muestra la posibilidad de obtener producciones similares al tratamiento control con ahorros de agua  $\leq 20\%$ , sin embargo con reducciones en los aportes hídricos superiores al 30 % originaron, en albaricoquero Búlida, disminuciones de los rendimientos muy similares al porcentaje de ahorro de agua obtenido, como consecuencia del menor número de frutos recolectados.

### **Calidad de la cosecha.**

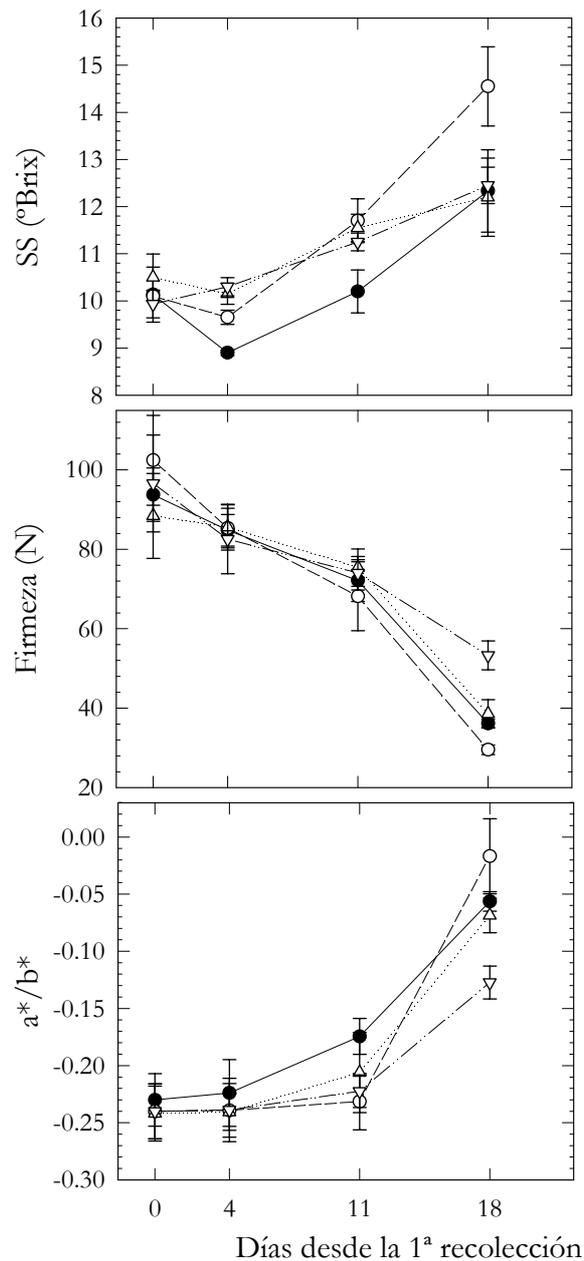
El efecto de los tratamientos de riego sobre las características físicas (índice de forma, diámetro ecuatorial, peso fresco, rendimiento de la carne, volumen, firmeza y color) de los frutos procedentes de la 4ª recolección de 1997 no fue significativo (Tabla 7.9). Se seleccionó esta fecha de recolección por suponer el 38 % del total recolectado en ese año (Figura 7.39). Es de destacar que los frutos de todos los tratamientos tuvieron un calibre correspondiente a categoría extra (MAPA, 1985).

**Tabla 7.9.** Características físico-químicas del albaricoque Búlida evaluadas en la 4ª fecha de recolección (23 mayo) en los 4 tratamientos de riego. 1997.

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
<b>Índice de forma</b>	1.09 a	1.08 a	1.10 a	1.11 a
<b>Diámetro ecuatorial (mm)</b>	48.83 a	48.40 a	50.40 a	49.58 a
<b>Rendimiento de la carne (g)</b>	61.40 a	63.18 a	69.37 a	66.09 a
<b>Peso fresco (g)</b>	65.83 a	67.97 a	74.38 a	70.03 a
<b>Volumen (ml)</b>	63.19 a	62.29 a	71.34 a	67.04 a
<b>Firmeza (N)</b>	72.15 a	68.18 a	75.41 a	73.99 a
<b>a*/b*</b>	-0,17 a	-0.23 a	-0.21 a	-0.22 a
<b>Chroma</b>	44.21 a	42.72 a	43.99 a	43.66 a
<b>Hue</b>	99.71 a	102.86 a	101.48 a	102.36 a
<b>Sólidos solubles (° Brix)</b>	10.20 a	11.70 b	11.55 b	11.25 ab
<b>Acidez total (g 100 ml<sup>-1</sup>)</b>	1.20 a	1.41 b	1.35 b	1.41 b

Los valores de cada parámetro seguidos de letras distintas son significativamente diferentes según el test de la MDS<sub>0.05</sub>.

En cuanto a las características químicas (sólidos solubles y acidez total) los tratamientos deficitarios mostraron unos valores más altos (Tabla 7.9 y Figura 7.42), debido principalmente a un efecto de concentración (Albrigo, 1977), de forma similar a lo encontrado en cítricos y otros frutales (Castel y Buj, 1990; Goldhamer *et al.*, 1990; González-Altozano y Castel, 1999; Irving y Drost, 1987; Kilili *et al.*, 1996; Sánchez-Blanco *et al.*, 1989).



**Figura 7.42.** Sólidos solubles (SS), firmeza y color ( $a^*/b^*$ ) en diferentes fechas de recolección de albaricoque Búlida en los 4 tratamientos de riego: T1 (○), T2 (□), T3 (△) y T4 (●). Los puntos corresponden a la media de 4 repeticiones  $\pm$  ES. 1997.

En cualquier caso sería necesario un déficit hídrico más severo para provocar diferencias en estos parámetros de calidad. En este sentido, Torrecillas *et al.* (2000) encuentran en albaricoquero una mayor intensidad de color (Chroma) en frutos procedentes de tratamientos que han sufrido un déficit de riego severo en la última fase de crecimiento del fruto.

En la figura 7.42 se muestra la evolución de los sólidos solubles, firmeza y color de los frutos procedentes de las distintas recolecciones del año 1997, en ella se muestra una tendencia creciente de los sólidos solubles al aumentar el tiempo de permanencia de los frutos en el árbol, con valores superiores en los tratamientos deficitarios. La evolución de la firmeza del fruto mostró una disminución progresiva en todos los tratamientos, destacando la mayor resistencia a la deformación de los frutos procedentes del tratamiento T4, partiendo de unas condiciones mejores para su posterior comercialización.

El análisis del color de la piel de los albaricoques procedentes de los distintos tratamientos de riego (Figura 7.42) indicó un claro aumento de la luminosidad de los mismos, y una progresiva transformación desde el color verde hacia tonos más cercanos al amarillo (tal y como indican los valores de las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$ ) de las primeras a las últimas recolecciones.

## 7.4. Conclusiones.

El estudio de las relaciones hídricas en los tratamientos ensayados mostró como en los momentos de riego deficitario se indujeron déficits hídricos de ligeros a moderados.

Debido a la diferente climatología y al diferente manejo del riego deficitario durante el período experimental no se pueden definir valores umbrales de potencial hídrico foliar a partir de los cuales la producción no se vea afectada; sin embargo, tanto el potencial hídrico como la conductancia foliares han mostrado ser indicadores sensibles y consistentes del estado hídrico del albaricoquero, por lo que ambos pueden ser indicadores útiles para la programación del riego.

No se observó un efecto significativo del RDC en el contenido de bioelementos en hoja, lo que puede ser debido bien a que en condiciones de RDC se cubren las necesidades nutricionales o bien a la intervención de las reservas de nutrientes en las partes leñosas del árbol. La tendencia estacional mostró un descenso de N, P, Cu y Zn y un aumento de Ca, Mg, Fe y Mn a lo largo del ciclo de cultivo.

Los tratamientos deficitarios indujeron una mayor densidad radical en la zona humectada, como consecuencia del menor volumen humedecido, facilitándose de esta forma el rápido agotamiento del agua aplicada durante los períodos de RDC. La baja salinidad del agua de riego no indujo efectos desfavorables en el cultivo, pudiéndose prescindir del lavado de sales durante los períodos de RDC. Ambos hechos demuestran su carácter favorable en estrategias de RDC.

Los tratamientos de RDC provocaron un aumento de la caída de elementos florales en los dos primeros años, en los que el déficit hídrico fue mayor. Sin embargo, la fructificación no resultó afectada en los tratamientos deficitarios durante el período experimental.

El crecimiento vegetativo ha mostrado ser un parámetro sensible al déficit hídrico, ya que reducciones de agua de riego en los tratamientos deficitarios lo limitaron. Así tenemos que el tratamiento regado al 50 % de la ETc todo el año (T2) mostró una reducción significativa en el crecimiento del tronco y de la canopia durante el período experimental, mientras que los tratamientos de RDC (T3 y T4), aunque mostraron valores inferiores a los del tratamiento control, esta reducción fue significativa sólo en los dos primeros años de ensayo, debido a la mayor reducción en el agua aplicada en estas campañas. Este hecho repercutió en la reducción de la poda realizada, lo que podría conllevar una disminución de los costes de mano de obra.

La ausencia de diferencias significativas en el vigor de los albaricoqueros bajo condiciones de RDC, se puede explicar por el hecho de que el crecimiento activo del tronco y ramas principales coincide, principalmente, con el período de aplicación del riego al 100 % de la ETc, por lo que este proceso resulta poco o nada afectado, mientras que se redujo el vigor en los árboles regados al 50 % durante todo el año (T2).

Se ha encontrado una buena correlación entre los parámetros físicos y químicos estudiados y el diámetro ecuatorial del fruto. Además, se ha podido constatar que los principales cambios físicos y químicos del albaricoque se producen a partir de la fase III, segunda de crecimiento rápido, incluyendo un importante aumento en el peso fresco, volumen, luminosidad de la epidermis, acompañado del viraje de color del verde al amarillo, y de sólidos solubles y un descenso de la firmeza, porcentaje de materia seca y acidez.

El crecimiento del fruto se vio influenciado por el déficit de riego aplicado. Sin embargo, tras igualar los volúmenes de riego a los del control, los frutos de los tratamientos de RDC experimentaron un crecimiento compensatorio, que les permitió alcanzar el mismo tamaño final que los del control, no sucedió igual en los frutos procedentes del tratamiento T2. La

concentración de sólidos solubles y de acidez total de los frutos de los tratamientos deficitarios mostraron unos valores más altos a los del control debido principalmente a un efecto de concentración.

Reducciones de los aportes hídricos superiores al 30 % originaron, en albaricoquero Búlida, disminuciones importantes de los rendimientos y por lo tanto no parecen recomendables desde el punto de vista económico. Sin embargo reducciones del riego del 40 al 60 % de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante los períodos menos sensibles al déficit hídrico permiten ahorros de agua del 20 % sin afectar a la producción ni a la calidad de la cosecha y por ello constituye una estrategia de riego válida con aguas de baja salinidad.

En consecuencia, las estrategias de RDC estudiadas pueden ser consideradas útiles en zonas con limitados recursos hídricos.

## **8. Conclusiones generales.**

## **Mecanismos de resistencia ante condiciones hídricas adversas. Árboles jóvenes cultivados en maceta.**

### ***Encharcamiento.***

1. Los mecanismos desarrollados por albaricoqueros para afrontar períodos cortos de inundación en el suelo incluyeron una temprana e importante regulación estomática, que parece estar asociada a la baja concentración de O<sub>2</sub> en la solución del suelo y a desequilibrios hormonales en la planta. Este hecho sugiere que la porometría es un buen indicador de las alteraciones causadas por la inundación.
2. En fases más avanzadas del período de inundación e incluso durante el de recuperación, se vieron marcadamente afectados todos los parámetros de las relaciones hídricas estudiados, evidenciando la severidad de este tipo de estrés para el cultivo del albaricoquero.
3. En suelos pesados y con drenaje deficiente es más adecuado el empleo del ciruelo como portainjerto del albaricoquero que el tradicional patrón franco, ya que bajo condiciones de exceso de humedad resultaron menos afectados los procesos fisiológicos estudiados.

### ***Déficit hídrico.***

1. Los albaricoqueros cultivados bajo condiciones de déficit hídrico moderado desarrollaron mecanismos de evitación basados en una disminución de las pérdidas de agua, mediante reducción de la conductancia foliar y epinastia. Cuando se alcanzan niveles de déficit hídrico más severo ( $\Psi_a < -1.5$  MPa) intervienen, además, mecanismos de tolerancia tales como el ajuste osmótico.
2. Los albaricoqueros regados diariamente al 25 % del tratamiento control mostraron una mejor adaptación a la sequía que el resto de los tratamientos, al desarrollar un mayor grado de ajuste osmótico, que evitó una severa deshidratación. Además, éstos manifestaron una menor abscisión foliar. Este tratamiento de precondicionamiento puede tener un importante interés en viveros, ya que endurece la planta frente a la sequía mejorando la supervivencia de las plantas tras el trasplante.
3. El estudio comparativo de los tratamientos ensayados mostró que, ante situaciones de riego deficitario, resulta más favorable mantener una alta

frecuencia de aportes y dosis reducidas que utilizar mayores intervalos y volúmenes de riego para satisfacer dotaciones de agua similares.

### **Estudio fenológico y del ciclo de cultivo. Árboles adultos.**

1. Se han caracterizado los distintos períodos fenológicos del albaricoquero Búlida. El estudio de la fenología mostró una alternancia entre el crecimiento de la parte aérea y el de las raíces, iniciándose en invierno el crecimiento radical, seguido por la floración y el crecimiento de los brotes y por último el del fruto y tronco.
2. El inicio de la fase III de crecimiento del albaricoque (período crítico al déficit hídrico) se diagnostica con facilidad a través de la evolución de sus parámetros físicos y tras acumularse 15124 °C GDH.
3. En albaricoquero Búlida existe una separación de los procesos de crecimiento de brotes y frutos. Este hecho permite incidir con el déficit de riego en el crecimiento vegetativo, con efectos mínimos sobre el fructificativo, lo que además tiene connotaciones favorables para la disminución de la poda.

### **Respuesta al riego deficitario controlado (RDC).**

1. El estudio de las relaciones hídricas en los tratamientos ensayados mostró como en los momentos de riego deficitario se indujeron déficits hídricos de ligeros a moderados.
2. El potencial hídrico y la conductancia foliares han mostrado ser indicadores sensibles y consistentes del estado hídrico del albaricoquero, por lo que ambos podrían ser indicadores útiles en la programación del riego.
3. No se observó un efecto significativo del RDC en el contenido de bioelementos en hoja, lo que puede ser debido bien a que en condiciones de RDC se cubren las necesidades nutricionales o bien a la intervención de las reservas de nutrientes en las partes leñosas del árbol. La tendencia estacional mostró un descenso de N, P, Cu y Zn y un aumento de Ca, Mg, Fe y Mn a lo largo del ciclo de cultivo.
4. El déficit hídrico desarrollado con los tratamientos de RDC no afectó a los procesos de fructificación. Sin embargo, en los dos primeros años con ahorros de agua equivalentes al 39 % del control durante los períodos menos sensibles al déficit hídrico, se produjo un aumento de la caída de elementos florales, disminuyendo el número de frutos recolectados.

5. El déficit hídrico en los tratamientos de RDC redujo el crecimiento de los ramos sin afectar al del tronco, ya que la aplicación del riego al 100 % de la ETc coincidió con el período más activo de crecimiento del tronco.
6. La disminución de la poda, provocada por el RDC, puede suponer una disminución de los costes de mano de obra en el cultivo del albaricoquero.
7. El albaricoque experimentó un crecimiento compensatorio, tras la reanudación del riego a dosis normales después de un período de déficit hídrico, debido al mantenimiento de tasas similares de acumulación de materia seca que en el tratamiento control, lo que le permitió alcanzar un tamaño final idéntico al del control.
8. El déficit de riego continuado (tratamiento T2) conllevó una disminución del vigor de los árboles, de la dinámica de crecimiento del fruto y una reducción de la producción durante todo el período experimental.
9. La precocidad y la calidad de la cosecha no se ven afectadas por las estrategias de RDC ensayadas.
10. Cuando los tratamientos de RDC fueron programados con reducciones de los aportes hídricos superiores al 30 %, éstos originaron disminuciones importantes de los rendimientos (muy similares al porcentaje de ahorro de agua obtenido), como consecuencia del menor número de frutos recolectados, por lo que no resultan recomendables.
11. El manejo del RDC con reducciones del riego del 40 al 60 % de la ETc durante los períodos menos sensibles al déficit hídrico permiten ahorros de agua de riego en torno al 20 % sin afectar a la producción, por lo que estas estrategias de riego pueden resultar altamente convenientes en áreas con recursos hídricos limitados.

En consecuencia, y dada la creciente escasez de agua, los altos precios de la energía y el replanteamiento actual del sector agrícola, las estrategias de RDC estudiadas pueden contribuir a la necesaria mejora de la eficiencia en el uso del agua.

## **9. Bibliografía.**

- ABRISQUETA, J.M., HERNANSÁEZ, A. y FRANCO, J.A. 1994. Root dynamics of young almond trees under different drip-irrigation rates. *J. Hort. Sci.* **69**: 237-242.
- AGUSTÍ, M., ZARAGOZA, S., BLEIHOLDER, H., BUHR, L., HACK, H., KLOSE, R. y STAUSS, R. 1995. Escala BBCH para la descripción de los estadios fenológicos del desarrollo de los agrios (Gén. *Citrus*). *Lev. Agric.* **332**: 189-199.
- ALARCÓN, J.J., DOMINGO, R., GREEN, S.R., SÁNCHEZ-BLANCO, M.J., RODRÍGUEZ, P. y TORRECILLAS, A. 2000. Sap flow as an indicator of transpiration and the water status of young apricot trees. *Plant Soil* **227**: 77-85.
- ALBRIGO, L. G. 1977. Roostocks affect 'Valencia' orange fruit quality and water balance. *Proc. Int. Soc. Citriculture* **1**: 62-65.
- ALLEN, R.G. y FISHER, D.F. 1990. Low-cost electronic weighing lysimeters. *Trans. ASAE* **33**: 1823-1833.
- ALMELA, L., MARTÍNEZ, D., GÓMEZ-PLAZA, E., MARTÍNEZ, A., FERNÁNDEZ, J.J. y CARREÑO, J. 1997. Influencia de la fertirrigación sobre la calidad de vinos producidos con uva Monastrell. *Actas Hortíc.* **20**: 778-785.
- ALONI, B. y ROSENSHTEIN, G. 1982. Effects of flooding on tomato cultivars. The relationship between proline accumulation and other morphological and physiological changes. *Physiol. Plant.* **56**: 513-517.
- ALSCHER, R.G. y CUMMING, J.R. 1990. Stress responses in plants: adaptation and acclimation mechanisms. *Plant Biology. Wiley-Liss.* New York. **12**: pp. 1-15.
- AMEGLIO, T., MINGUEAU, M., ARCHER, P. y PONS, B. 1992. Water relations in Halzenut: Sap flow, predawn water potential and micromorphometric variations of stem diameter. *III International Congress on Halzelnut.* Alba. Italy.
- AMORÓS, A., SERRANO, M., RIQUELME, F. y ROMOJARO, F. 1989. Evolución de constituyentes químicos y de la emisión de etileno durante el desarrollo y maduración del albaricoque (*Prunus armeniaca* cv Búlida). *An. Edafol. Agrobiol.* 939-949.
- ANDERSEN, P.C. y BRODBECK, B.V. 1988. Water relations and net CO<sub>2</sub> assimilation of peach leaves of different ages. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* **113**: 242-248.
- ANDERSEN, P.C., LOMBARD, P.B. y WESTWOOD, M.N. 1984. Leaf conductance, growth, and survival of willow and deciduous fruit tree species under flooded soil conditions. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* **109**: 132-138.

- ARIAS, J.A. 1992. La calidad en el albaricoque. Su influencia en la exportación. *Jornadas Técnicas sobre Producción y Comercialización del Albaricoque. Serie: Congresos. CAGP. Murcia. 7: 59-66.*
- ARMSTRONG, W. y WEBB, T. 1985. Critical oxygen pressure for root extension in rice. *J. Exp. Bot.* **36**: 1573-1582.
- ARTES, F., MARÍN, J.G., MARTÍNEZ, J.A., TUDELA, J.A. y GARCIA-LIDÓN, A. 1997. Desverdización de nuevas variedades de limón y pomelo. *Phytoma* **90**:130-135.
- ASSAF, R., LEVIN, I. y BRAVDO, B. 1982. Apple fruit growth as a measure of irrigation control. *HortScience* **17**: 59-61.
- ATKINSON, D. 1980. The distribution and effectiveness of root of tree crops. *Hortic. Rev.* **2**: 424-490.
- AUSSENAC, G. y VALETTE, J.C. 1982. Comportement hydrique estival de *Cedrus atlantica* Manetti, *Quercus ilex* L. et *Quercus pubescens* Willd. et de divers pins dans le Mont Ventoux. *Ann. Sci. Forest* **39**: 41-62.
- AYERS, R.S. y WESTCOT, D.W. 1987. La calidad del agua de riego. *Estudio FAO. Riego y Drenaje 29 (Rev 1)*. FAO. Roma. 174 pp.
- AZCÓN-BIETO, J. 1987. Respuesta fotosintética de las plantas en condiciones de "stress" de agua, luz y temperatura. *En: Fisiología Vegetal 85. (Guardiola, J.L. y Monerri, C., Eds.). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. p. 81-96.*
- BAGGLIOLINI, M. 1952. Stades reperes de l'abricotier. *Revue Agr. Vitic. Arboric.* **8**: 28-29.
- BAILLE, M., LAURY, J.G. y BAILLE, A. 1992. Some comparative results on evapotranspiration of greenhouse ornamental crops, using lysimeter, greenhouse H<sub>2</sub>O balance and LVDT sensors. *Acta Hort.* **304**: 199-208.
- BALDINI, E. 1992. Arboricultura General. *Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 379 pp.*
- BATJER, L.P. y WESTWOOD, M.N. 1958. Seasonal trend of several nutrient elements in leaves and fruits of 'Elberta' peach. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **71**: 116-126.
- BEGG, J.E. y TURNER, N.C. 1976. Crop Water Deficits. *Adv. Agron.* **28**: 161-217.
- BELLUAU, E. 1989. Les Besoins en eau de l'abricotier. *J. l'Abricot. Vaison la Romaine. 16 pp.*

- BERNSTEIN, L. 1975. Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Annu. Plant Physiol.* **9**: 25-46.
- BEVINGTON, K.B. y CASTLE, W.S. 1985. Annual root growth pattern of young citrus trees in relation to shoot growth, soil temperature, and soil water content. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **110**: 840-854.
- BIELORAI, H. 1982. The effect of partial wetting of the root zone on yield and water use efficiency in a drip and sprinkler-irrigated mature grapefruit grove. *Irrig. Sci.* **3**: 89-100.
- BIELORAI, H., DASBERG, S., ERNER, Y. y BRUM, M. 1981. The effect of various soil moisture regimes and fertilizer levels on citrus yield under partial wetting of the root zone. *Proc. Int. Soc. Citriculture Cong.* (Tokyo) **1**: 585-589.
- BIONDI, G., PRATELLA, G.C. y BASSI, R. 1991. Maturity indexes as a function of quality in apricot harvesting. *Acta Hort.* **293**: 667-674.
- BOLAND, A.M., MITCHELL, P.D. y JERIE, P.H. 1993. Effect of saline water combined with restricted irrigation on peach tree growth and water use. *Aust. J. Agr. Res.* **44**: 799-816.
- BOMAN, B.J., ASCE, M. y SYVERTSEN, J.P. 1991. Drainage Lysimeters for High Water Table Citrus Studies. *En: Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements.* (R.G. Allen, T.A. Howell, W.O. Pruitt, I.A. Walter y M.E. Jensen, Eds.). American Society of Civil Engineers. New York. p. 318-325.
- BOYER, J.S. 1968. Relationships of water potential to growth of leaves. *Plant Physiol.* **43**: 1056-1062.
- BOYER, J.S. 1988. Cell enlargement and growth-induced water potentials. *Physiol. Plant.* **73**: 311-316.
- BRADFORD, K.J. 1983. Effects of soil flooding on leaf gas exchange of tomato. *Plant. Physiol.* **73**: 475-479.
- BRADFORD, K.J. y HSIAO, T.C. 1982a. Physiological responses to moderate water stress. *En: Encyclopedia of Plant Physiology, Vol. 12.* (Lange, O.D., Nobel, P.S., Osmond, C.B., Ziegler, H., Eds.). Springer Verlag. Berlin. Heidelberg. New York. p. 263-324.
- BRADFORD, K.J. y HSIAO T.C. 1982b. Stomatal behaviour and water relations of waterlogged tomato plants. *Plant Physiol.* **70**: 1508-1513.

- BRADFORD, K.J. y YANG, S.F. 1981. Physiological responses of plants to waterlogging. *HortScience* **16**: 25-30.
- BRETON, J. 1983. Evaluation de l'état nutritif des arbres fruitiers par l'analyse de la feuille. *L'Arb. Fruit.* **397**: 46-48.
- BROWN, D. 1953. The effects of irrigation on flower bud development and fruiting in the apricot, California. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* **61**: 119-124.
- BRUN, C.A., RAESE, J.T. y STAHLY, A. 1985. Seasonal response of 'Anjou' pear trees to different irrigation regimes. I. Soil Moisture, water relations, tree and fruit growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **110**: 830-834.
- BRYCE, J.H., FOCHT, D.D. y STOLZY, L.H. 1982. Soil aeration and plant growth response to urea peroxide fertilization. *Soil Sci.* **134**: 111-116.
- BURGOS, L. 1991. Biología floral de variedades de albaricoquero (*Prunus armeniaca* L.). *Tesis Doctoral*. Universidad de Murcia. 260 pp.
- BUWALDA, J.G. y MEEKINGS, J.S. 1990. Seasonal accumulation of mineral nutrients in leaves and fruit of Japanese pear (*Pyrus serotina* Rehd.). *Sci. Hortic.* **41**: 209-222.
- CAMACHO-B, S.E., HALL, A.E., KAUFMAN, M.R. 1974. Efficiency and regulation of water transport in some woody and herbaceous species. *Plant. Physiol.* **54**: 169-172.
- CARO, M., SOLER, M.D., FONTES, C., ERENA, M., LOZANO, J. y RINCÓN L. 1999. Estimación de las necesidades de riego del albaricoquero en la Región de Murcia. *VIII Congreso de Ciencias Hortícolas*. Murcia. p. 339-344.
- CARPENA, O. y CASERO, T. 1987. Evolución anual de nutrientes en melocotonero 'Sudanel'. *Inv. Agrar.: Prod. Prot. Veg.* **2**: 31-43.
- CARPENA, O., MONLLOR, R. y HELLIN, E. 1968. Técnicas de muestreo foliar en albaricoquero y melocotonero. *II Coloquio Europeo y Mediterráneo. Control de la fertilización de las plantas cultivadas*. Sevilla. 687-700.
- CARTER, C.E., HALVERSON, B., ROGERS, J.S. y MUSGRAVE, M. 1990. Effects of excess soil water on sweet corn yield. *Trans. ASAE* **33**: 1203-1207.
- CASPARI, H.W., BEHBOUDIAN, M.H. y CHALMERS, D.J. 1994. Water use, growth and fruit yield of 'Hosui' Asian pears under deficit irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **119**: 383-388.

- CASTEL, J.R. 1986. Aspectos del intercambio gaseoso y relaciones hídricas en naranjos. *Tesis Doctoral*. Universidad de Córdoba. 142 pp.
- CASTEL, J.R. 1994. Response of young clementine citrus trees to drip irrigation. I. Irrigation amount and number of drippers. *J. Hort. Sci.* **3**:481-489.
- CASTEL, J.R. y FERERES, E. 1982. Responses of young almond stress to two drought periods in the field. *J. Hort. Sci.* **57**: 175-187.
- CASTEL, J.R. y BUJ, A. 1990. Response of Salustiana oranges to high frequency deficit irrigation. *Irrig. Sci.* **11**: 121-127.
- CASTEL, J.R., BAUTISTA, I., RAMOS, C. y CRUZ, G. 1987. Evapotranspiration and irrigation efficiency of mature orange orchards in Valencia (Spain). *Irrig. Drain. Syst.* **3**: 205-217.
- CASTRILLO, M. y CALCAGNO, A.M. 1989. Effects of water estress and re-watering on Ribulose 1-5- biphosphate carboxylase activity, chlorophyll and protein contents in two cultivar of tomato. *J. Hort. Sci.* **64**: 717-724.
- CHRISTENSEN, P. 1969. Seasonal changes and distribution of nutritional elements in Thompson Seedless grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.* **20**: 176-196.
- CLARK, C.J. y SMITH, G.S. 1990. Seasonal changes in the mineral nutrient content of persimmon leaves. *Sci. Hortic.* **42**: 85-97.
- COHEN, A. y GOELL, A. 1984. Fruit development as an indicator of the irrigation needs of citrus trees. *Proc. Int. Soc. Citriculture Cong.* Sao Paulo. **1**: 114-118.
- COHEN, A. y GOELL, A. 1988. Fruit growth and dry matter accumulation in grapefruit during periods of water withholding and after reirrigation. *Aust. J. Plant Physiol.* **15**: 633-639.
- COHEN, M. 1994. Funcionamiento Hídrico y Producción Frutal del Nogal en Zonas Semiáridas Aplicación al Manejo del Riego. *Tesis Doctoral*. Universitat de Lleida. 296 pp.
- COHEN, M., AMEGLIO, T., CRUIZIAT, P., ARCHER, P., VALANCOGNE, C. y FERRÉ, L. 1993. Water consumption and optimization of the irrigation in orchards. *Acta Hortic.* **335**: 349-357.
- COHEN, Y. 1991. Determination of orchard water requirement by a combined trunk sap flow and meteorological approach. *Irrig. Sci.* **12**: 93-98.

COMITÉ INTER-INSTITUTOS PARA EL ANÁLISIS FOLIAR. 1969. Métodos de referencia para la determinación de elementos minerales en vegetales. *Anal. Edaf. Agrob.* **38**: 403-409.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE. 1978. Recommendations on uniform color spaces color difference equations psychometric color terms. *Supplement 2. CIE Publ. 15 (E-1.3.1) 1971/(TC-1.3)*. Bur. Centrale de la CIE. Paris.

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE, AGRICULTURA Y AGUA. 1998. Estadística agraria de Murcia 1996/97. *Comunidad Autónoma de la Región de Murcia*. 131 pp.

CORNISH, K. y ZEEVAART, J.A.D. 1985. Movement of abscisic acid into the apoplast in response to water stress in *Xanthium strumarium* L. *Plant Physiol.* **78**: 623-626.

COSTES, E., AUDUBERT, A., JAFFUEL, S., JAY, M., DEMENE, M.N. y LICHOU, J. 1995. Chronologie du développement du fruit en relation avec la croissance végétative chez l'abricotier *Prunus armeniaca* L. cv. Rouge du Roussillon. *Can J. Bot.* **73**: 1548-1556.

COUVILLON, G.A., RIEGER, M., HARRISON, R., DANIELL, J. y GÓMEZ APARISI, J. 1988. Stress mediated responses of own rooted peach cultivars. *Acta Hort.* **243**: 221-230.

CRANE, J.H. y DAVIES F.S. 1988. Periodic and seasonal flooding effects on survival, growth, and stomatal conductance of young rabiteye blueberry plants. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* **113**: 488-493.

CRANE, J.H. y DAVIES, F.S. 1989. Flooding responses of *Vaccinium* species. *HortScience* **24**: 203-210.

CRAWFORD, R.M.M. 1977. Tolerance of anoxia and ethanol metabolism in germinating seeds. *New Phytol.* **79**, 511-517.

CRAWFORD, R.M.M. 1982. Physiological responses to flooding. *En: "Physiological Plant Ecology". "Encyclopedia of Plant Physiology" vol. II: Water Relations and Carbon Assimilation (O. I. Lange, P.S. Noble, C. Osmond y H. Ziegler, Eds)*. Springer-Verlag. Berlín. p. 453-477.

CROSSA-RAYNAUD P. y AUDERGON, J.M. 1987. Apricot Rootstocks. *En: Rootstocks For Fruits Crops. (Rom, C.R., Carlson, R.F., Eds.)*, John Wiley & Sons. New York. p. 295-320.

CUTLER, J.M., SHAHAN, K.W. y STEPONKUS, P.L. 1980. Dynamics of osmotic adjustment in rice. *Crop Sci.* **20**: 310-314.

CHALMERS, D.J. 1990. Control del crecimiento de la planta por la regulación de los déficits de agua y la limitación de la zona de humectación. *Frut* **5**: 369-375.

CHALMERS, D.J. y VAN DEN ENDE, B. 1975. Productivity of peach trees. Factors affecting dry-weight distribution during tree growth. *Ann. Bot.* **39**: 423-432.

CHALMERS, D.J., MITCHELL, P.D. y VAN HECK, L. 1981. Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **106**: 307-312.

CHALMERS, D.J., MITCHELL, P.D. y JERIE, P.H. 1984. The physiology of growth control of peach and pear trees using reduced irrigation. *Acta Hort.* **146**: 143-148.

CHALMERS, D.J., MITCHELL, P.D. y JERIE, P.H. 1985. The relations between irrigation, growth and productivity of peach trees. *Acta Hort.* **173**: 283-288.

CHAVES, M.M., HARLEY, P.C., TENHUMEN, J.D. y LANGE, O.L. 1987. Gas exchange studies in two portuguese grapevine cultivars. *Physiol. Plant.* **70**: 639-647.

DARBYSHIRE, B. 1971. Changes in indolacetic acid oxidase activity associated with plant water potential. *Physiol. Plant.* **25**: 80-84.

DAUDET, F.A. y VACHAUD, G. 1977. La mesure neutronique du stock d'eau du sol et ses variations. Application à la détermination du bilan hydrique. *Ann. Agron.* **28**: 503-519.

DAVIES, F.S. y LAKSO, A.N. 1978. Water relations in apple seedlings: changes in water potential components, abscisic acid levels and stomatal conductance under irrigated and non-irrigated conditions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **103**: 310-313.

DAVIES, F.S. y FLORE, J.A. 1986. Flooding, gas exchange and hydraulic conductivity of highbush blueberry. *Physiol. Plant.* **67**: 545-551.

DEJONG, T.M., DOYLE, J.F. y DAY, K.R. 1987. Seasonal patterns of reproductive and vegetative sink activity in early and late maturing peach (*Prunus persica*) cultivars. *Physiol. Plant.* **71**: 83-88.

DEL AMOR, F., TORRECILLAS, A., RUIZ-SÁNCHEZ, M.C. y GÓMEZ, J. 1987. Respuesta del almendro al riego de alta frecuencia. *Frut. Prof.* **11**: 77-87.

DOMINGO, R. 1994. Respuesta del limonero Fino al riego deficitario controlado. Aspectos fisiológicos. *Tesis Doctoral*. Universidad de Murcia. 237 pp.

DOMINGO, R., RUIZ-SÁNCHEZ, M.C., SÁNCHEZ-BLANCO, M.J. y TORRECILLAS, A. 1996. Water relations, growth and yield of Fino lemon trees under regulated deficit irrigation. *Irrig. Sci.* **16**: 115-123.

DOMINGO, R., TORRECILLAS, A., GUZMÁN, C.M. MARTÍNEZ B.M., NICOLÁS, E y ALARCÓN, J.J. 1999. Medida del flujo de savia en albaricoquero por el método de pulso de calor compensatorio. *XVII Congreso Nacional de Riegos*. Murcia. p. 128-134

DOORENBOS, J. y PRUITT, W.O. 1986. Las necesidades de agua de los cultivos. *Estudio FAO Rieg. Dren. 24. Ed. FAO*. Roma. 194 pp.

DREW, M.C. y SISWORA, E.J. 1979. The development of waterlogging damage in young barley plants in relation to plant nutrient status and changes in soil properties. *Newphytol.* **82**: 301-314.

DU PLESSIS, H.M. 1988. Irrigation scheduling of citrus. *En: Proceeding of the Sixth International Citrus Congres. (R. Goren y K. Mendel, eds)*. Tel Aviv. Israel. p. 731-739.

DUBBE, D.R., FARQUHAR, G.D. y RASCHKE, K. 1978. Effect of abscisic acid on the grain of the feedback loop involving carbon dioxide and stomata. *Plant Physiol.* **62**: 413-417.

DUGLAS, W.A., WALLACE, J.S., ALLEN, S.J. y ROBERTS, J.M. 1993. Heat balance, porometer and deuterium estimates of transpiration from potted trees. *Agri. Forest. Meteo.* **64**: 47-62.

EBEL, R.C., PROEBSTING, E.L. y EVANS, R.G. 1995. Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit growth to schedule irrigation. *HortScience* **30**: 1229-1232.

EGEA, J. 1989. Necesidades de frío en frutales de hoja caduca. *Frut. Prof.* **24**: 19-25.

EGEA, J. 1995. El ciclo anual en frutales de zona templada, factores de fructificación. *Frut. Prof.* **73**: 34-39.

- EGEA, J. 2000. El albaricoquero: elección varietal y problemas de cultivo. *Frut. Prof.* **109**: 16-19.
- EGEA, J. y BURGOS, L. 1998. Fructification problems in continental apricot cultivars growing under Mediterranean climate. Ovule development at anthesis in two climatic areas. *J. Hort. Sci. Biotech.* **73**: 107-110.
- EGEA, J., GARCIA, J.E. y BERENGUER, T. 1994. El albaricoquero. Situación y perspectivas del cultivo. *Frut. Prof.* **6**: 53-62.
- EGEA, J., GARCIA, J.E., EGEA, L. y BERENGUER, T. 1991. Self-incompatibility in apricot cultivars. *Acta Hort.* **293**: 285-293.
- EGEA, L. 1970. Contribución al estudio de patrones de albaricoquero en la Región de Murcia. *ITEA* **1**:157-164.
- EGEA, L., CARPENA, O. y BERENGUER, T. 1972. Nutrición mineral en prunus. I. Melocotonero. *Anal. Edaf. Agro.* **31**: 269-287.
- EGEA, L., LEÓN, A. y BERENGUER, T. 1975. Adaptación de Prunus en el sureste español. *Memorias IOATS.* 67-81.
- EHLERINGER, J.R. y MOONEY, H.A. 1978. Leaf hairs: effects on physiological activity and adaptive value to a desert shrub. *Oecologia* (Berlín) **37**: 183-200.
- EHRLER, W.L. 1973. Cotton leaf temperatures as related to soil water depletion and meteorological factors. *Agron. J.* **65**: 404-409.
- EHRLER, W.L., IDSO, S.B., JACKSON, R.D. y REGINATO, R.J. 1978. Wheat canopy temperature: relation to plant water potential. *Agron. J.* **70**: 251-256.
- ELFVING, D.C., KAUFMAN, M.R. y HALL, A.E. 1972. Interpreting leaf water potential with a model of the soil-plant-atmosphere continuum. *Physiol. Plant.* **27**: 161-168.
- ELÍAS, F. y CASTELLVÍ, F. 1996. Agrometeorología. Ed. MAPA-MP. 517 pp.
- ELSE, M.A., DAVIES, W.J., MALONE, M. y JACKSON, M.B. 1995. A negative hydraulic message from oxygen-deficient roots of tomato plant?. *Plant Physiol.* **109**: 1017-1024.
- EREZ, A. y COUVILLON, G.A. 1987. Characterization of the influence of moderate temperatures on rest completion in peach. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **112**: 677-680.

- ESCRICHE, A., APARICIO, J., MARÍN, J.G., ARTÉS, y NIEVES, M. 1988. Caracterización física de *Citrus limon* Burn. Var. 'Fino' en base al calibre ecuatorial. *ITEA* **79**: 36-47.
- ESTEBAN, E., GÓMEZ, M. y RECALDE, L. 1969. Dinámica anual de los macronutrientes en almendro. 1. Primeros resultados. *Agrochimica* **13**: 336-346.
- EVANS, J.R. 1983. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiol.* **72**: 297-302.
- FACI, J. M<sup>a</sup>. y MARTÍNEZ-COB, A. 1993. Necesidades de agua de riego. Determinación en las plantaciones frutales del Valle del Ebro. *Hortofrut.* **4**: 47-52.
- FARQUHAR, G.D. y SHARKEY, T.D. 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **33**: 317-345.
- FAUST, M. 1989. Physiology of temperate zone fruit trees. *John Wiley and sons*. New York. 338 pp.
- FERERES, E. 1983. Short and long term effects of irrigation on the fertility and productivity of soils. *Proc. 17<sup>th</sup> Coll. Int. Potash Institute*. Bern. 283-304.
- FERERES, E. 1984. Variability in adaptive mechanisms to water deficits in annual and perennial crop plants. *Ann. Bot.* **1**: 17-32.
- FERERES, E. y GOLDHAMER, D.A. 1990. Deciduous fruit and nut trees. *En: Irrigation of Agricultural Crops. (Steward, B.A., Nielsen, D.R., Eds.), Agronomy n° 30. Published by ASA, CSSA y SSSA, Madison. Wisconsin. USA. p. 987-1017.*
- FERERES, E., CRUZ-ROMERO, G., HOFFMAN, G.J. y RAWLINS, S.L. 1979. Recovery of orange trees following severe water stress. *J. Appl. Ecol.* **16**: 833-842.
- FERERES, E., MARTINICH, D. A., ALDRICH, T.M., CASTEL, J.R., HOLZAPFEL, E. y SCHULBACH, H. 1982. Drip irrigation saves money in young almond orchards. *Calif. Agric.* **36**:12-13.
- FERERES, E., PRUITT, W.O., BEUTEL, J.A., HENDERSON, D.W., HOLZAPFEL, E., SCHULBACH, H. y URIU, K. 1981. Evapotranspiration and drip irrigation scheduling. *En: Drip Irrigation Management. Univ. California, Div. Agric. Sci., Davis. Ca. USA. p. 8-13.*
- FERNÁNDEZ, I.J., LAWRENCE, G.B. y RICHARDS, K.J. 1990. Characteristics of foliar chemistry in a commercial spruce-fir stand of northern New England, USA. *Plant Soil* **125**: 288-292.

- FERNÁNDEZ, J.E. 1989. Comportamiento del olivo (*Olea europea* L. var. *manzanillo*) sometido a distintos regímenes hídricos con especial referencia a la dinámica del sistema radicular y la transpiración. *Tesis Doctoral*. Universidad de Sevilla. 170 pp.
- FERNÁNDEZ, J.E., MORENO, F., MARTÍN-ARANDA, J. y FERERES, E. 1992. Olive-tree root dynamics under different soil water regimes. *Agricultura Mediterranea* **122**: 225-235.
- FISCHER, R.A. y TURNER, N.C. 1978. Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **29**: 277-317.
- FITTER, A.H. y HAY, R.K.M. 1987. Gastoxity. En: "Environmental Physiology of Plants". *Academic Press*. Londres. 260-295.
- FLOWER, D.J. y LUDLOW, M.M. 1986. Contribution of osmotic adjustment to the dehydration tolerance of water-stressed pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) millsp.) leaves. *Plant Cell Envir.* **9**: 33-40.
- FORNER, J.B., GARCÍA, C. y FERQUERA, J. 1983. Comportamiento de patrones y variedades de agrios ante situaciones extremas de asfixia radical. *I Congreso Mundial de la Asociación de Viveristas de Agrios*. Valencia. p. 55-64.
- FORSHEY, C.G. y ELFVING, D.C. 1989. The relationship between vegetative growth and fruiting in apple trees. En: *Barden, J.A., Larson, R.A. y Rappaport, L. (ed.). Horticultural reviews vol. XI. AVI, Westport*. Conn. p. 229-287.
- FORTE, V. 1992. El albaricoquero. (*Versión española J.A. De La Iglesia y M. Vázquez-Prada*). *Mundi Prensa*. Madrid. 178 pp.
- FRANCO, J.A y ABRISQUETA, J.M. 1997. A comparison between minirhizotron and soil coring methods of estimating root distribution in young almond trees under trickle irrigation *J. Hort. Sci.* **72**: 797-805.
- FRANCO, J.A., ABRISQUETA, J.M. y HERNANSÁEZ, A. 1995. Root development of almond rootstocks in a young almond orchard under trickle irrigation as affected by almond scion cultivar *J. Hort. Sci.* **70**: 597-607.
- FURR, J.R. 1955. Responses of citrus and dates to variations in soil moisture conditions at different seasons. *14<sup>th</sup> Int. Hort. Congress* **1**: 400-412.
- GALEGO, R. 1998. Evaluación del impacto de la sequía en distintos períodos fenológicos del albaricoquero. Mecanismos de resistencia. *Tesis Doctoral*. Universidad de Murcia. 278 pp.

- GARCÍA, J.E., EGEE, J., EGEE, L. y BERENQUER, T. 1988. The Floral biology of certain apricot cultivars in Murcia. *Adv. Hort. Sci.* **2**: 84-87.
- GARNIER, E. y BERGER, A. 1985. Testing water potential in peach trees as an indicator of water stress. *J. Hort. Sci.* **60**: 47-56.
- GATES, D.M. 1968. Transpiration and leaf temperature. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* **19**: 211-238.
- GEBRE, G.M. y KUHNS, M.R. 1992. Effects of water stress preconditioning on gas exchange and water relations of *Populus deltoides* clones. *Can. J. For. Res.* **23**: 1291-1297.
- GIL-ALBERT, F. 1989. Tratado de arboricultura frutal. *Vol I: Aspectos de la morfología y fisiología del árbol frutal. 2ª Ed. Mundi-Prensa.* Madrid. 103 pp.
- GIRMA, F.S. y KRIEG, D.R. 1992a. Osmotic adjustment in sorghum. I. Mechanisms of diurnal osmotic potential changes. *Plant Physiol.* **99**: 577-582.
- GIRMA, F.S. y KRIEG, D.R. 1992b. Osmotic adjustment in sorghum. II. Relationship to gas exchange rates. *Plant Physiol.* **99**: 583-588.
- GIRONA, J. 1989. Physiological growth and production responses of late maturing peach (*Prunus persica* L. Batsch) to controlled deficit irrigation. M.S. *Thesis Univ.* California. Davis. 116 pp.
- GIRONA, J. 1992. Estrategias de riego deficitario en el cultivo del almendro. *Frut. Prof.* **47**: 38-45.
- GIRONA, J. 1994. Respuesta fisiológica y productiva del estrés hídrico en diferentes especies frutales: melocotonero (*Prunus persica* L. Bastch), avellano (*Corylus avellana* L.) y nogal (*Juglans regia*). *Tesis Doctoral.* Universitat de Lleida. 151 pp.
- GIRONA, J. 1995. Estrategias de riego deficitario en árboles frutales, más producción con poca agua. *Riegos y Drenajes XXI* **86**: 33-34.
- GIRONA, J. y MARSAL, J. 1995. Estrategias de RDC en almendro. *En: Riego Deficitario Controlado. Fundamentos y Aplicaciones. Colección Cuadernos VALUE 1. Mundi Prensa/Unión Europea.* p. 98-118.
- GIRONA, J., RUIZ-SÁNCHEZ, M.C., GOLDHAMER, D.A., JOHNSON, S. y DE JONG, T. 1990. Late maturing peach response to controlled deficit irrigation: Seasonal and diurnal patterns of fruit growth, plant and soil water status, CO<sub>2</sub> uptake and yield 2 years results. *XXIII Int. Hort. Cong.* Firenze, Italy. **1**: 284.

GIRONA, J., MATA, M., GOLDHAMER, D.A., JOHNSON, R.S. y DEJONG, T.M. 1993. Patterns of soil and tree water status and leaf functioning during regulated deficit irrigation scheduling in peach. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **118**: 580-586.

GIRONA, J., MATA, M., ARBONÉS, A., VALL-LLEBREDÀ, A., CARRASCO, V. y MARSAL, J. 1995. Respuesta del crecimiento vegetativo y productivo en melocotoneros (*Prunus persica* L. Batsch. 'Sudanel') sometidos a diferentes estrategias de riego deficitario controlado. *Actas VI congreso de la SECH*. Barcelona.

GOLDHAMER, D.A. 1989. Drought Irrigation Strategies for Deciduous Orchards. *Cooperative Extensión*. University of California, Div. Agric. and Natural Resources. Publication nº 21453, 15 pp.

GOLDHAMER, D.A. 1997. Regulated deficit irrigation of fruit and nut trees. *Int. Water Irrig. Rev.* **17**: 14-19.

GOLDHAMER, D.A. y SHACKEL, K. 1989. Irrigation cutoff and drought irrigation strategy effects on almond. *17th Annual Almond Research Conference*. Modesto. 35-37.

GOLDHAMER, D.A., SOUTHWICK, S., SHACKEL, K., OLSON, B. y MATA, M. 1990. Effects of water deprivation at different fruit growth stages on prune performance. *XXIII International Horticultural Congress*. Firenze. Italy. **1**: 287.

GOLDHAMER, D.A., PHENE, B.C., BEEDE, R., SCHERLIN, L., MAHAN, S. y ROSE, D. 1987. Effects of sustained deficit irrigation on pistachio tree performance. *Calif. Pistachio Ind. Annu. Rep.* 1986-87: 61-66.

GOLDHAMER, D.A., BEEDE, R.H., SIBBETT, G.S., KJELGREN, R.K. PHENE, R.C. y RAMOS, D.E. 1995. Hedgerows use more water, but increase efficiency, profit in young walnuts. *Calif. Agric.* **49**: 24-28.

GOLDSCHMIDT, E.E., HARPAZ, A., GAL, S., RABBER, D. y GELB, E. 1992. Simulation of fruitlet thinning effects in citrus by dynamic growth model. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 515-519.

GÓMEZ APARISI, J. 1985. Efectos del déficit hídrico en los procesos de diferenciación floral en albaricoquero. *IV Jornadas Técnicas sobre Riegos*. Murcia. p. 42.

GÓMEZ APARISI, J. 1990. Respuesta al riego de las especies frutales de hueso: Albaricoque, Ciruelo y Cerezo. *Frut. Prof.* **30**: 106-113

GÓMEZ APARISI, J. 1991. Patrones de almendro: Comportamiento frente a efectos ambientales adversos. *ITEA* **87**:129-136

- GÓMEZ APARISI, J. 1993. Necesidades de agua de riego. Determinación en las plantaciones frutales del Valle del Ebro. *Hortofrut.* **4**: 47-52.
- GONZÁLEZ-ALTOZANO, P. 1998. Riego deficitario controlado en Clementina de Nules: relaciones hídricas y respuesta agronómica. *Tesis doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia. 173 pp.
- GONZÁLEZ-ALTOZANO, P. y CASTEL, J.R. 1999. Regulated deficit irrigation in 'Clementina de Nules' citrus trees. I. Yield and fruit quality effects. *J. Hortic. Sci. & Biotech.* **74**: 706-713.
- GONZÁLEZ-ALTOZANO, P. y CASTEL, J.R. 2000. Regulated deficit irrigation in 'Clementina de Nules' citrus trees. II. Vegetative growth. *J. Hortic. Sci. Biotech.* **74**: 706-713.
- GOODE, J.E. y HIGGS, R.H. 1973. Water osmotic and pressure potential relationship in apple leaves. *J. Hort. Sci.* **48**: 203-215.
- GRANIER, A. 1985. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de seve brute dans le tronc des arbres. *Ann. Sci. For.* **42**: 193-200.
- GREEN, S. R. y CLOTHIER, B.E. 1995. Root water uptake by kiwifruit vines following partial wetting of the root zone. *Plant Soil* **173**: 317-328.
- GUARDIOLA, J.L. 1988. Factors limiting productivity in citrus: a physiological approach. *Proc. Int. Soc. Citriculture* **1**: 381-394.
- HALE, M.G. y ORCUTT, D.M. 1987. *The Physiology of Plants under Stress*. John Wiley y Sons. New York. Chichester. Brisbane. Toronto y Singapore. 206 pp.
- HALL, A.E. 1981. Adaptation of annual plants to drought in relation to improvements in cultivars. *HortScience* **16**: 37-38.
- HANSON, A.D. y HITZ, W.D. 1982. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **33**: 163-203.
- HARPAZ, A., GAL., S., GOLDSCHMIDT, E.E. y GELB, E. 1988. A growth model of evergreen fruit trees. *Proc. Second Int. Conf. On Computers in Agric. Extension Programs* **2**: 584-589.
- HARRIS, J.R., BASSUK, N.L., ZOBEL, R.W. y WHITLOW, T.H. 1995. Root and shoot growth periodicity of green ash, scarlett oak, Turkish hazelnut and tree lilac. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **120**: 211-216.

- HARRISON, R.D., DANIELL, J.W. y CHESIRE, J.M. 1989. Net photosynthesis and stomatal conductance of peach seedlings and cuttings in response to changes in soil water potential. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **114**: 986-990.
- HASSAN, M.M. y SEIF, S.A. 1997. Water use of apricot trees. *Acta Hortic.* **488**: 547-550.
- HENSON, I.E., ALAGARSWAMY, G., BIDINGER, F.R. y MAHALAKSHMI, V. 1982. Stomatal responses of pearl millet (*Pennisetum americanum* L. Leeke) to leaf water status and environmental factors in the field. *Plant, Cell Envir.* **5**: 64-74.
- HERAS, L., SANZ, M. y MONTAÑES, L. 1976. Corrección de la clorosis férrica en melocotonero y su repercusión sobre el contenido mineral, relaciones nutritivas y rendimientos. *An. Aula Dei* **13**: 261-289
- HILGEMAN, R.H. 1977. Response of citrus to water stresses in Arizona. *Proc. Int. Soc. Citriculture Cong. (Orlando)* **1**: 70-74.
- HILLEL, D. 1973. The state of water in the soil. *En: Soil and Water, Physical Principles and Processes.* Academic Press. London. U.K. p. 49-77.
- HILLEL, D. 1990. Role of irrigation in agricultural systems. *En: Irrigation of Agricultural Crops.* (B.A. Stewart y D.R. Nielsen, eds.) *Agronomy n° 30.* Published by ASA, CSSA y SSSA. Madison. Wisconsin. USA. p. 5-30.
- HIRON, R.W. y WRIGHT, S.T.C. 1973. The role of endogenous abscisic acid in the response of plants to stress. *J. Exp. Bot.* **24**: 769-781.
- HSIAO, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **24**: 519-570.
- HSIAO, T.C. 1975. Variables affecting stomatal opening-complicating effects. *En: Measurement of Stomatal Aperture and Diffusive Resistance.* Wash. State Univ., Bull. **809**: 28-31
- HSIAO, T.C. 1990. Measurements of plants water status. *En: Irrigation of Agricultural Crops.* (Stewart, B.A., Nielsen, D.R., Eds.), *Agronomy Monograph no. 30.* Published by ASA, CSSA y SSSA, Madison. Wisconsin. USA. p. 243-279.
- HSIAO, T.C. y BRADFORD, K.J. 1983. Physiological consequences of cellular water deficits. *En: Limitations to Efficient Water in Crop Production* (H.M. Taylor, W.R. Jordan y T.R. Sinclair, eds.). Published by ASA, CSSA and SSA. Madison. Wisconsin. USA. p. 227-265.

- HSIAO, T.C., O'TOOLE, J.C., YAMBAO, E.B. y TURNER, N.C. 1984. Influence of osmotic adjustment on leaf rolling and tissue death in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Physiol.* **75**: 338-341.
- HUBER, B. y SCHMIDT, E. 1937. Eine Kompensationsmethode zur thermoelektrischen Messung langsamer Saftströme. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.* **55**: 514-529.
- HUGUET, C. 1987. Apricots and plums. *En: Plant analysis as a guide to the nutrient requirements of temperate and tropical crops* (P.Martin-Prével, J. Gagnard y P. Gautier eds.). Lavoisier Publishing Inc. Paris. p. 263-278.
- HUGUET, J.G. 1985. Appréciation de l'état hydrique d'une plante à partir des variations micrométriques de la dimension des fruits ou des tiges au cours de la journée. *Agronomie* **5**: 733-741.
- HUGUET, J.G., LI, S.H. y DEFRANCE, H. 1990. Influence de la disponibilité en eau du sol sur la qualité des fruits chez le pêcher *Prunus persica* L. 9<sup>o</sup> Colloque sur les Recherches Fruitières. Avignon. p. 135-144.
- HUTMACHER, R.B., STEINER, J.J., AYARS, J.E., MANTEL, A.B. y VAIL, S.S. 1990. Response of seed carrot to various water regimes. I. Vegetative growth and plant water relations. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **115**: 715-721.
- IRVING, D.J. y DROST, J.H. 1987. Effects of water deficit on vegetative growth, fruit growth and fruit quality in Cox's orange Pippin apple. *J. Hort. Sci.* **62**: 427-432.
- JACKSON, D.I. y COOMBE, B.G. 1966. The growth of apricot fruit. I. Morphological changes during development and the effects of various tree factors. *Aust. J. Agric. Res.* **17**: 465-477.
- JACKSON, M.B. 1980. Aeration in the nutrient film technique of glasshouse crop production and the importance of oxygen, ethylene, and carbon dioxide. *Acta Hort.* **98**: 61-78.
- JACKSON, M.B., GALES, K. y CAMPBELL, D.J. 1978. Effect of waterlogging soil conditions on the production of ethylene and on water relationships in tomato plants. *J. Exp. Bot.* **29**: 183-193.
- JACKSON, R.D. 1982. Canopy temperature and crop water stress. *Adv. Irrig.* **1**: 43-85.

- JACKSON, R.D., REGINATO, R.J., PINTER, P.J. y IDSO, S.B. 1979. Wheat canopy temperature: A practical tool for evaluating water requirements. *Water Resour. Res.* **13**: 651-656.
- JACKSON, W.A. 1960. Soil chemical analysis. *Clise. N.J.:* *prentice-Hall*, Inc. Englewood.
- JACKSON, W.T. 1956. The relative importance of factors causing injury to shoots of flooded tomato plants. *Am. J. Bot.* **43**: 637-639.
- JASSO, C., VERA, J. y NUÑEZ, R. 1999. Dinámica de nutrientes en hojas de melocotonero cultivado en condiciones de salinidad y riego localizado. *Frut. prof.* **101**: 43-57.
- JIMÉNEZ, M., CUQUERELLA, J. y MARTÍNEZ, J.M. 1981. Determination of a color index for citrus fruit degreening. *Proc. Int. Soc. Citriculture* **2**: 750-753.
- JOHN, C.D. 1977. The structure of rice roots grown in aerobic and anaerobic environments. *Plant Soil* **47**: 269-274.
- JOHNSON, R.C., NGUYEN, H.T. y GROU, L.T. 1984. Osmotic adjustment and solute accumulation in two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Sci.* **27**: 957-962.
- JOHNSON, R.S. y URIU, K. 1989. Mineral nutrition. *En: Peaches, plums and nectarines growing and handling for fresh market. LaRue J.H. and R.S. Johnson (eds). Publication 3331.* University of California. Division of Agriculture and Natural Resources. p. 68-81.
- JOHNSON, R.S., HANDLEY, D.F. y DEJONG, T.M. 1992. Long-term response of early maturing peach trees to postharvest water deficits. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **117**: 881-886.
- JONES, H.G. 1983. Estimation of an effective soil water potential at the root surface of transpiring plants. *Plant Cell Environ.* **6**: 671-674.
- JONES, H.G. 1989. Water stress and stem conductivity. *En: Environmental Stress in Plants. (J.H. Cherry, ed.). Springer-Verlag.* Berlín. **19**: 17-24.
- JONES, H.G. 1990. Physiological aspects of the control of water status in horticultural crops. *HortScience* **25**: 19-26.
- JONES, M.M., TURNER, N.C. y OSMOND, C.B. 1981. Mechanisms of drought resistance. *En: Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants. (Paleg L.G., Aspinall, D., Eds.). Academic Press.* Sydney. p. 15-37.

- JONES, R.H. y SHARITZ, R.R. 1990. Effects of root competition and flooding on growth of Chinese tallow tree seedlings. *Can. J. For. Res.* **20**: 573-578.
- JORDAN, W.R. 1970. Growth of cotton seedlings in relation to maximum daily plant-water potential. *Agron. J.* **62**: 699-701.
- KALMA, J.D. y STANHILL, G. 1969. Transpiration evaporation and deep drainage losses from an orange plantation. *Isr. J. Agric. Res.*, **19**: 11-16
- KAUFMANN, M.R. y ELFVING, D.C. 1972. Evaluation of tensiometers for estimating plant water stress in citrus. *HortScience* **7**: 513-514
- KAUFMAN, M.R. y LEVY, Y. 1976. Stomatal response of *Citrus jambhiri* to water stress and humidity. *Physiol. Plant.* **38**: 105-108.
- KAWASE, M. 1981. Anatomical and morphological adaptation for plants to waterlogging. *HortScience* **16**: 30-34.
- KERR, P.S., RUFTY, T.W.JR. y HUBER, S.C. 1985. Endogenous rhythms in photosynthesis, sucrose phosphate synthase activity, and stomatal resistance in leaves soybean (*Glycine max* L. Merr). *Plant Physiol.* **77**: 275-280.
- KILILI, .W., BEHBOUDIAN, M.H. y MILL, T.M. 1996. Postharvest performance of “Braeburn” apples in relation to withholding of irrigation at different stages of the growing season. *J. Hort. Sci.* **71**: 693-701.
- KIM, J.M. y LEE-STADELMANN, O.Y. 1984. Water relations and cell wall elasticity quantified in *Phaseolus vulgaris* leaves. *J. Exp. Bot.* **35**: 841-858.
- KLEPPER, B. 1968. Diurnal pattern of water potential in woody plants. *Plant Physiol.* **43**: 1931-1934.
- KLEPPER, B., BROWNING, V.D. y TAYLOR, H. M. 1971. Stem diameter in relation to plant water status. *Plant Physiol.* **48**: 683-685.
- KNIPLING, E.B. 1967. Effect of leaf aging on water deficit-water potential relationship of dogwood leaves growing in two environments. *Plant Physiol.* **20**: 65-72.
- KOZLOWSKI, T.T. 1985. Soil aeration, flooding and tree growth. *J. Arboricult.* **11**: 85-95.
- KOZLOWSKI, T.T. y PALLARDY, S.G. 1979. Stomatal responses of *Fraxinus pennsylvanica* seedlings during and after flooding. *Physiol. Plant.* **46**:155-158.

- KOZLOWSKI, T.T. y PALLARDY, S.G. 1984. Effect of flooding on water, carbohydrate, and mineral relations. *En: T.T. Kozłowski, (ed.). Flooding and plant growth. Academic.* New York. p. 165-193.
- KRAMER, P.J. 1969. Plant and soil water relationships: a modern synthesis. *McGraw-Hill.* New York.
- KRAMER, P.J. 1980. Drought stress and the origin of adaptations. *En: Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress. (Turner, N.C., Kramer, P.J., Eds.). Wiley.* New York. p. 7-20.
- KRAMER, P.J. 1983. Water Relations of Plants. *Academic Press.* 489 pp.
- KRAMER, P.J. y KOZLOWSKI, T.T. 1979. Physiology of Woody Plants. *Academic Press.* New York. 811 pp.
- KRIEDEMANN, P.E. y BARRS, H.D. 1981. Citrus orchard. *En: Water deficits and plant growth (Kozłowski, T.T., ed). Academic Press.* New York. **6:** 325-417.
- LAKSO, A.N. 1979. Seasonal changes in stomatal response to leaf water potential in apple. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **104:** 58-60.
- LAKSO, A.N., GEYER, A.S. y CARPENTER, S.G. 1984. Seasonal osmotic relations in apple leaves of different ages. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **109:** 544-547.
- LAMPINEN, B.D., SHACKEL, K.A., SOUTHWICK, S.M., OLSON, B., YEAGER, J.T. y GOLDHAMER, D.A. 1995. Sensitivity of yield and fruit quality of french prune to water deprivation at different fruit growth stages. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **120:** 139-147.
- LANGE, O.L., LÖSCH, R., SCHULZE, E.D. y KAPPEN, L. 1971. Responses of stomata to changes in humidity. *Planta* **100:** 76-86.
- LARSON, K.D., DEJONG, T.M. y JOHNSON, R.S. 1988. Physiological and growth responses of mature peach trees to postharvest water stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **113:** 296-300.
- LARSON, K.D., B. SCHAFFER y F.S. DAVIES, 1991. Flooding, leaf gas exchange, and growth of mango in container. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* **116:** 156-160.
- LEVERENZ, J., DEANS, J.D., FORD, E.D., JARVIS, P.G., MILNE, R. y WHITEHEAD, D. 1982. Systematic spatial variation of stomatal conductance in a Sitka spruce plantation. *J. Appl. Ecol.* **19:** 835-851

- LEVITT, J. 1972. Responses of Plants to Environmental Stresses. *En: Physiological Ecology*. (Kozłowski, T.T., Ed.). Academic Press. New York. p. 322-329.
- LEVITT, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. *Water, radiation, salt and other stresses*. Academic Press. New York. **2**: 697 pp.
- LEVY, Y., BIELORAI, H. y SHALHEVET, J. 1978. Long-term effects of different irrigation regimes on grapefruit tree development and yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **103**: 680-683.
- LI, S.H., HUGUET, J.G., SCHOCH, P.G. y ORLANDO, P. 1989. Response of peach tree growth and cropping to soil water deficit at various phenological stages of fruit development. *J. Hort. Sci.* **64**: 541-552.
- LICHOU, J. y AUDUBERT, A. 1989. L'abricotier. *CTIFL*. 385 pp.
- LICHTENTHALER, H.K. y WELLBURN, A.R. 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvent. *Biochem. Soc. Transact.* **11**: 591-592.
- LÓPEZ-ROCA, J.M., ALMELA, L., MEDINA, M., MADRID, R. y GONZÁLEZ, J. 1985. Evolución de los contenidos de Fe, Mn, Zn y Cu de variedades de melocotonero durante su desarrollo. *VI Reunión Nacional de la Sociedad Española de Fisiología Vegetal*. Valencia. p. 198.
- LOVATT, C.J., STREETER, S.M., MINTER, T.C., O'CONNELL, N.J., FLAHERTY, D.L., FREEMAN, M.W. y GOODALL, P.B. 1984. Phenology of flowering in *Citrus sinensis* L. Osbeck, cv. 'Washington' navel orange. *Proc. Int. Soc. Citriculture* **1**: 186-190.
- MANSFIELD, T.A. y DAVIES, W.J. 1981. Stomata and stomatal mechanisms. *En: The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants*. (Paeleg, L.G., Aspinall, D., Eds.). Academic Press. New York. p. 315-346.
- MARSAL, J. y GIRONA, J. 1997. Relationship between leaf water potential and gas exchange activity at different phenological stages and fruit loads in peach trees. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* **122**: 415-421.
- MARSAL, J., GIRONA, J. y MATA, M. 1997. Leaf water relation parameter in almond compared to hazelnut trees during a deficit irrigation period. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* **122**: 582-587.
- MARSHALL, D.C. 1958. Measurement of sap flow in conifers by heat transport. *Plant Physiol.* **33**: 385-396.
- MARSHALL, T.J. y HOLMES, J. W. 1988. Soil Physics. *2nd Ed. Cambridge*

University Press. Cambridge. 374 pp.

MARTÍN DE SANTA OLALLA, F. y DE JUAN, J.A. 1993. Agronomía del Riego. Ed. Mundi Prensa. 732 pp.

McINTYRE, G.N., LIDER, L.A. y FERRARI, N.L. 1982. The chronological classification of grapevine phenology. *Am. J. Enol. Vitic.* **33**: 80-85.

McNAMARA, S.T. y MITCHELL, C.A. 1989. Differential flood stress resistance of two tomato genotypes. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* **114**: 976-980.

MEEK, B.D., C.F. EHLIG, L.M. STOLZY y L.H. GRAHAM. 1983. Furrow and trickle irrigation: effects on soil oxygen and ethylene on tomato yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **47**: 631-635.

MEIDNER, H. 1970. Effects of photoperiodic induction and debudding in *Xanthium pennsylvanicum* and of partial defoliation in *Phaseolus vulgaris* on rates of net photosynthesis and stomatal conductance. *J. Exp. Bot.* **21**: 164-169.

MEIER, U., GRAF, H., HACK, H., HESS, M., KENNEL, W., KLOSE, R., MAPPES, D., SEIPP, D., STAUSS, R. STREIF, J. y van den BOOM, T. 1994. Phänologische entwicklungsstadien der kernobsten (*Malus domestica* Borkh. und *Pyrus communis* L.), des steinobstes (*Prunus*-Arten) der johannisbeere (*Ribes*-Arten) und der erdbeere (*Fragaria x ananassa* Duch.). Codierung und beschreibung nach der erweiterten BBCH-Skala, mit abbildungen. *Nachrichtenblatt Deutsche Pflanzenschutzd* **46**: 141-153.

MELGAREJO, P., MARTÍNEZ-VALERO, R., GUILLAMÓN, J.M., MIRÓ, M. y AMORÓS, A. 1997. Phenological stages of the pomegranate tree (*Punica granatum* L.). *Ann. Appl. Biol.* **130**: 135-140.

MEYER, R.F. y BOYER, J.S. 1981. Osmoregulation, solute distribution, and growth in soybeans seedlings having low water potentials. *Planta* **151**: 482-489.

MILBURN, M.A. y JOHNSON, R.P.C. 1966. The conduction of sap. II. Detection of vibrations produced by sap cavitation in *Ricinus* xylem. *Planta* **69**: 43-52.

MILLS, T.M., BEHBOUDIAN, M.H. y CLOTHIER, B.E. 1996. Water relations, growth, and compositions of 'Braeburn' apple fruit under deficit irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **121**: 286-291.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. 1985. Norma de calidad para albaricoques. *MAPA*. 5 pp.

MITCHELL, P.D. 1986. Pear fruit growth and the use of diameter to estimate fruit volumen and weight. *HortScience* **21**: 1003-1005.

- MITCHELL, P.D. y CHALMERS, D.J. 1982. The effect of reduced water supply on peach tree growth and yields. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **107**: 853-856.
- MITCHELL, P.D., JERIE, P.H. y CHALMERS, D.J. 1984. The effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **109**: 604-606.
- MITCHELL, P.D., CHALMERS, D.J., JERIE, P.H. y BURGE, G. 1986. The use of initial withholding of irrigation and tree spacing to enhance the effect of regulated deficit irrigation on pear trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **111**: 858-861.
- MITCHELL, P.D., VAN DEN ENDE, B., JERIE, P.H. y CHALMERS, D.J. 1989. Responses of "Bartlett" pears to withholding irrigation, regulated deficit irrigation and tree spacing. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **114**: 15-19.
- MONET, R. 1983. Le pêcher, génétique et physiologie. Masson Paris.
- MONET, R., BASTARD, Y. y CAMPOY, B. 1974. Etude de la variation de la dureté du fruit in situ chez le pêcher. *Ann. Rev. Agric.* **23**: 39-50.
- MORENO, F., FERNÁNDEZ, J.E., CLOTHIER, B.E., y GREEN, S. R. 1996. Transpiration and root water uptake by olive trees. *Plant Soil.* **184**: 85-96.
- MORENO, F., VACHAUD, G., MARTÍN-ARANDA, J., VAUCLIN, M. y FERNÁNDEZ, E. 1988. Bilan hydrique d'une oliveraie irriguée au goutte à goutte. Résultats de quatre années d'expérimentation. *Agronomie*, **8**: 521-537.
- MORGAN, J.M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **35**: 229-319.
- MORRIS, J.R. y D.L. CAWTHON. 1982. Effects of irrigation, fruit load and potassium fertilization on yield, quality and petiole analysis on Concord grapes. *Am. J. Enol. Vitic.* **33**: 145-148.
- MUKHTAR, S., BAKER, J.L. y KANWAR, R.S. 1990. Corn growth as affected by excess soil water. *Trans. ASAE* **33**: 437-442.
- MURPHY J. y RILEY, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta* **27**: 31-36.
- NASH, L.J. y GRAVES, W.R. 1993. Drought and flood stress effects on plant development and leaf water relations of five taxa of trees native to bottomland habitats. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* **118**: 845-850.

- NAVARRO, G. 1978. Contribución al estudio del desarrollo y conservación por liofilización del melocotón Jerónimo (*Prunus persica*, L. Batsch). *Tesis doctoral. Universidad de Murcia*. p. 47-102.
- NEWCOMB, D.A. 1977. Selection of rootstocks for salinity and disease resistance. *Proc. Int. Soc. Citriculture Cong.* Orlando. p. 117-120.
- OPPENHEIMER, H.R. y ELZE, D.L. 1941. Irrigation of citrus trees according to physiological indicators. *Rebovoth Agr. Res. Sta., Bull.* 31.
- ORTIZ, J.M. y GARCÍA-LIDÓN, A. 1982. Portainjertos de limonero. *Comunicaciones INIA. Serie: Producción Vegetal* **47**: 18 pp.
- ORTUÑO, A., PARRA, M., HERNÁNDEZ, A. y ARMERO, T. 1972. Evoluciones y relaciones fisiológicas de bioelementos en hoja de *Prunus persica*. *An. Edafol. Agrobiol.* **31**: 333-346.
- OSMOND, C.B. 1980. Integration of photosynthetic carbon metabolism during stress. *En: Genetic Engineering of Osmoregulation (Rains, D.W., Valentine, R.C., Hollaender, A., Eds.)*. Plenum Publishing Corp. New York. p. 171-185.
- O'TOOLE, J.C. y BALDIA, E.P. 1982. Water deficits and mineral uptake in rice. *Crop Sci.* **22**: 1144-1150.
- PEREIRA, J.S., TENHUNEN, J.D., LANGE, O.L., BEYSCHLAG, W., MEYER, A. y DAVID, M.M. 1986. Seasonal and diurnal patterns in leaf gas exchange of *Eucalyptus globulus* trees growing in Portugal. *Can. J. For. Res.* **16**: 177-184.
- PERETZ, J., EVANS, R.G. y PROEBSTING, E.L. 1984. Leaf water potentials for management of high frequency irrigation on apples. *Trans. ASAE.* 437-442.
- PHUNG, H.T. y KNIPLING, E.B. 1976. Photosynthesis and transpiration of citrus seedlings under flooded conditions. *Ortiz.* **11**: 131-133.
- PINTA, M. 1973. Méthodes de référence pour la détermination des éléments minéraux dans les végétaux. Détermination des éléments Ca, Mg, Fe, Zn et Cu para absorption atomique. *Oléagineux* **28**: 87-92.
- PLANES, J. 1994. Relaciones agua-planta del almendro (*Amygdalus communis* L.) en condiciones hídricas adversas. *Tesis Doctoral*. Universidad de Murcia. 178 pp.
- POGUE, W.R. y POOLEY, S.G. 1985. Tensiometric management of soil water. *En: Drip trickle irrigation in action. Proc. Third Int. Drip/Trickle Irrig. Cong. American Society of Agricultural Engineers*. Michigan. USA. p. 761-766.

- POSPISILOVÁ, J. y SANTRUCEK, J. 1994. Stomatal patchiness. *Biolog. Plant.* **36**: 481-510.
- POST, S.E.C. y SAKOVICH, N.J. 1986. A promising new tool in irrigation management. *Cal. Citrograph* **7**: 124.
- PRUITT, W.O. 1986. Traditional methods. Evapotranspiration research priorities for the next decade. *Trans. ASAE.* 86-2629.
- RADIN, J.W. y ACKERSON, R.C. 1981. Water relations of cotton plants under nitrogen deficiency. III Stomatal conductance, photosynthesis, and abscisic acid accumulation during drought. *Plant Physiol.* **67**: 115-119.
- RAMOS, C. y KAUFMANN, M.R. 1979. Hydraulic resistance of rough lemon roots. *Physiol. Plant.* **45** : 311-314.
- RAMOS, C., CASTEL, J.R. y GÓMEZ, D. 1987. Efectos fisiológicos de los riegos localizados. En: *Fisiología Vegetal*. Universidad Politécnica de Valencia. 207-227.
- REBOUR, H. 1971. El albaricoque. En: *Frutales Mediterráneos. (versión española F. Gil-Albert)*. Mundi Prensa. Madrid. p. 194-206.
- REGEHR, D.L., BAZZAZ, F.A. y BOGGESS, W.R. 1975. Photosynthesis, transpirations and leaf conductance of *Populus deltoides* in relation to flooding and drought. *Photosynthetica* **9**: 52-61.
- REID, D.M. y BRADFORD, K.J. 1984. Effects of flooding on hormone relations. En: *"Flooding and Plant Growth"*. Academic Press. New York. p. 195-219.
- RICHARDSON, E.A., SEELEY, S.D. y WALKER, R.D. 1974. A model for estimating the completion of rest for 'Redhaven' and 'Elberta' peach trees. *HortScience* **9**: 331-332.
- RICHARDSON, E.A., SEELEY, S.D., WALKER, R. D., ANDERSON, J. y ASHCROFT, G. 1975. Pheno-climatography of spring peach bud development. *HortScience* **10**: 236-237.
- RIEGER, M. y DANIELL, J.W. 1988. Leaf water relations, soil-to-leaf resistance, and drought stress in pecan seedlings. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **113**: 789-793.
- RITCHIE, G.A. y HINCKLEY, T.M. 1975. The pressure chamber as an instrument for ecological research. *Adv. Ecol. Res.* **9**: 165-254.

- ROBERTSON, J.A., MEREDITH, F.I., FORBUS, W.R. y LYON, B.G. 1992. Relationship of quality characteristics of peaches (cv. Loring) to maturity. *J. Food Sci.* **57**: 1401-1404.
- RODRIGUES, M.L., CHAVES, M.M. y MARTINS, J.M.N. 1989. Carbon and water economy of two lupine lines under induced water stress. *En: Structural and Functional Responses to Environmental Stresses.* (Kreeb, K.H., Richter, H., Hinckley, T.M., Eds.). SPB Academic Publishing, The Hague. p. 219-226.
- ROMOJARO, F., BANET, E. y LLORENTE, S. 1979. Aspectos físicos y químicos del crecimiento y maduración en variedades de ciruelade interés en la Región de Murcia. *An. Edafol. Agrobiol.* **8**: 1815-1825.
- ROSS, N.W. y CATLIN, P.B. 1978. Rootstocks and root physiology. *En: Almond orchard management.* Univ. California. Div. Agric. Sci. p. 25-29.
- RUDICH, J., RENDON-POBLETE, E., STEVENS, H.A. y AMBRI, A.I. 1981. Use of leaf water potential to determine water stress in field-grown tomato plants. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **106**: 732-736.
- RUGGIERO, C. 1984. Sviluppo e distribuzione dell'apparato radicale dell'albicocco, nei primi tre anni dell'impianto, irrigato a goccia, per aspersione e non irrigato. *Riv. Ortoflorofruttic. It.* **68**: 353-360.
- RUGGIERO, C. 1986. Consumo idrico dell'albicocco irrigato a goccia, per aspersione e non irrigato durante i primi cinque anni dall'impianto. *Riv. Ortoflorofruttic. It.* **70**: 1.
- RUGGIERO, C. y ANDILORO, F. 1984. Distribuzione e sviluppo dell'apparato radicale dell'arancio irrigato a goccia e non irrigato. *Riv. Ortoflorofruttic. It.* **68**: 193-200.
- RUIZ-CANALES, A. 2000. Balance hídrico y respuesta del albaricoquero (*Prunus armeniaca* L. cv. Búlida) a dos dosis de riego por goteo. *Tesis Doctoral.* Universidad Politécnica de Cartagena. 313 pp.
- RUIZ-SÁNCHEZ, M.C. y GIRONA, J. 1995. Investigaciones sobre riego deficitario controlado en melocotonero. *En: Riego Deficitario Controlado. Fundamentos y Aplicaciones.* Colección Cuadernos VALUE 1. Mundi Prensa/Unión Europea. p. 67-95.
- RUIZ-SÁNCHEZ, M.C., TORRECILLAS, A., DEL AMOR, F. y LEÓN, A. 1987. Mineral element changes in almond leaves under different irrigation regimes. *Adv. Hort. Sci.* **1**: 95-97.

- RUIZ-SANCHEZ M.C., R. DOMINGO, D.MORALES y A. TORRECILLAS. 1996. Water relations of Fino lemon plants on two rootstocks under flooded conditions. *Plant Sci.* **120**: 119-125.
- RUIZ-SÁNCHEZ, M.C., DOMINGO, R., SAVÉ, R., BIEL, C. y TORRECILLAS, A. 1997. Effects of water deficit and rewatering on leaf water relations of Fino lemon plants. *Biol. Plant.* **39**: 623-631.
- RUIZ-SÁNCHEZ, M.C., EGEEA, J., GALEGO, R. y TORRECILLAS, A. 1999. Floral biology of Búlida apricot trees subjected to postharvest drought stress. *Ann. Appl. Biol.* **135**: 523-528.
- RUSELLE, M.P., WILHELM, W.W., OLSON, R.A. y POWER, J.F. 1984. Growth analysis based on degree days. *Crop Sci.* **24**: 28-32.
- SALISBURY, F.B. y ROSS, C.W. 1991. Fisiología Vegetal. *Iberoamérica. S.A. C.V.D.R.* 759 pp.
- SAM, C.E. y FLORE, J.A. 1983. Net photosynthetic rate of sour cherry (*Prunus cerasum* L. "Montmorency") during the growing season, with particular reference to fruiting. *Photosyn. Res.* **4**: 307-316.
- SÁNCHEZ-BLANCO, M.J. 1983. Aportación al diagnóstico del estrés hídrico en cítricos y frutales. *Tesis de Licenciatura.* Univ. Murcia. 80 pp.
- SÁNCHEZ-BLANCO, M.J. y TORRECILLAS, A. 1995. Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de riego deficitario controlado en cultivos leñosos. *En: Riego Deficitario Controlado. Fundamentos y Aplicaciones. Colección Cuadernos VALUE 1. Mundi Prensa/Unión Europea.* p. 43-63.
- SÁNCHEZ-BLANCO, M.J., TORRECILLAS, A., LEÓN, A. y DEL AMOR, F. 1989. The effect of different irrigation treatments on yield and quality of Verna lemon. *Plant Soil* **120**: 299-302.
- SÁNCHEZ-BLANCO, M.J., TORRECILLAS, A., DEL AMOR, F. y LEÓN, A. 1990. The water relations of Verna lemon trees from flowering to the end of rapid fruit growth. *Biol. Plant.* **32**: 357-363.
- SÁNCHEZ-BLANCO, M.J., ALARCÓN, J.J., PLANES, J. y TORRECILLAS, A. 1994. Differential flood stress resistance of two almond cultivars based on survival, growth and water relations as stress indicators. *J. Hort. Sci.* **69**: 947-953.
- SÁNCHEZ-CAPUCHINO, J.A. 1967. Contribución al conocimiento de necesidades en frío invernal de variedades frutícolas. *Rev. Agric.* **61**: 26-28

- SÁNCHEZ-DÍAZ, M. y AGUIRREOLEA, J. 1993. Relaciones hídricas. *En: Fisiología y Bioquímica Vegetal. (Azcón-Bieto, J., Talón, M., Coord.), Interamericana. McGraw Hill.* p. 49-90.
- SÁNCHEZ-TORIBIO, M.I. 1992. Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración. *Cuadernos Técnicos de la SEG, nº 3. Ed. Geoforma.* Logroño. 36 pp.
- SÁNCHEZ-TORIBIO, M.I. 1993. Climatología e hidrología agraria en la Región de Murcia en 1992. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas.* 232 pp.
- SANDHU, B.S. y HORTON, M.L. 1978. Temperature response of oats to water stress in the field. *Agric. Meteorol.* **19**: 329-336.
- SANDS, R. y THEODOROU, C. 1948. Water uptake by mycorrhizal roots of radiata pine seedlings. *Aust. J. Plant Physiol.* **5**: 301-309.
- SANSAVINI, S. y GIANNERINI, G.F. 1991. Advances in apricot growing an management. *Acta Hortic.* **293**: 409-429.
- SAVÉ, R. y L. SERRANO, 1986. Some physiological and growth responses of Kiwi fruit (*Actinidia chinensis*) to flooding. *Physiol. Plant.* **66**: 75-78.
- SAVÉ, R., BIEL, C., DOMINGO, R., RUIZ-SÁNCHEZ, M.C. y TORRECILLAS, A. 1995. Some physiological and morphological characteristics of citrus plants for drought resistance. *Plant Sci.* **110**: 167-172
- SCHAFFER, B. y PLOETZ, R.C. 1989. Gas exchange characteristics as indicators of damage thresholds for phytophthora root of flooded and nonflooded avocado trees. *HortScience* **24**: 653-655.
- SCHOLANDER, P.F., HAMMEL, H.T., BRADSTREET, E.D. Y HEMMINGSEN, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* **148**: 339-346.
- SCHUBERT, A., RESTAGNO, M. y LOVISOLO, C. 1996. Net photosynthesis of grapevine leaves of different age exposed to high or low light intensities. *Adv. Hort. Sci.* **10**: 163-166.
- SCHULZE, E.D. 1986. Carbon dioxide and water vapour exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. *Ann. Rev. Plant Physiol.* **37**: 247-274.
- SCHULZE, E.D. y HALL, A.E. 1982. Stomatal responses, water loss and CO<sub>2</sub> assimilation rates of plants in contrasting environments. *En: Physiological Plant Ecology II. Water Relations and Carbon Assimilation. (Lange, O.L., Nobel, P.S.,*

Osmond, C.B., Ziegler, H., Eds.), *Encyclopedia of Plant Physiology, New Series*. Springer-Verlag. Berlin. **12B**: p. 181-230.

SCHULZE, E.D., LANGE, O.L., BUSCHBOM, H., KAPPEN, L. y EVENARI, M. 1972. Stomatal responses to changes in humidity in plants growing in the desert. *Planta* **108**: 259-270.

SENA-GOMES, A.R. y KOZLOWSKI, T.T. 1980. Growth responses and adaptations of *Fraxinus pennsylvanica* seedlings to flooding. *Plant Physiol.* **6**: 267-271.

SENA-GOMES, A.R. y KOZLOWSKI, T.T. 1986. The effects flooding on water relations and growth of *Theobroma cacao* var. Catongo seedlings. *J. Hort. Sci.* **61**: 265-276.

SERRANO, L., SAVÉ, R. y MARFÁ, O. 1988. Effects of waterlogging on rooting-capacity of cuttings of *Hydrangea macrophylla* L. *Sci. Hort.* **36**: 119-124.

SHACKEL, K.A., AHMADI, H., BIASI, W., BUCHNER, R., GOLDHAMER, D., GURUSINGHE, S., HASEY, J., KESTER, D., KRUEGER, B. y LAMPINEN, B. 1997. Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *HortTech.* **7**: 23-29.

SHALHEVET, J., MANTELL, A., BIELORAI, H. y SHIMSHI, D. 1979. Irrigation of Field and Orchard Crops under Semi-arid Conditions. *IIIC. n° 1 (revised versión)*. Israel. Canada. 124 pp.

SHALTOUT, A.D. y UNRATH, C.R. 1983. Rest completion prediction model for 'Starkrimson Delicious' apples. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **108**: 957-961.

SHEWFELT, R.L., THAI, C.N.L. y DAVIS, J.W. 1988. Prediction of changes in colour of tomatoes during ripening at different constant temperatures. *J. Food Sci.* **53**: 1433-1437.

SIMONNEAU, T., HABIB, R., GOUTOULY, J. y HUGUET, J. 1993. Diurnal changes in stem diameter depend upon variations in water content: direct evidence in peach trees. *J. Exp. Bot.* **44**: 615-621.

SINCLAIR, T.R. y LUDLOW, M.M. 1985. Who taught plants thermodynamics?. The unfulfilled potential of water potential. *Aust. J. Plant Physiol.* **12**: 213-217.

SLATYER, R.O. 1967. Plant-water relationships. *Academic Press*. New York. 336 pp.

SMITH, M.W. y AGER, P.L. 1988. Effects of soil flooding on leaf gas exchange of seedling pecan trees. *HortScience* **23**: 370-372.

- SMITH, G.S., JUDD, M.J., MILLER, S.A. y BUWALDA, J.G. 1990. Recovery of kiwi fruit vines from transient waterlogging of the root system. *New Phytol.* **115**: 325-333.
- SOJKA, R.E. y STOLZY, L.H. 1980. Soil-oxygen effects on stomatal response. *Soil Sci.* **130**: 350-358.
- SOLÁROVÁ, J. y POSPÍSILOVÁ, J. 1983. Photosynthetic characteristics during ontogenesis of leaves 8. Stomatal diffusive conductance and stomata reactivity. *Photosynthetica* **17**: 101-151.
- SOUTY, M., AUDERGON, J. M. y CHAMBROY, Y. 1990. Abricot. Les critères de qualité. *L'Arb. Frut.* **430**: 16-24.
- SOUTY, M., BREUILS, L., REICH, M. y POGGI, A. 1976. L'acidité des abricots. *Fruits* **31**: 775-779.
- SPSS Inc. 1996. SPSS advanced statistics 7.0 update. *SPSS Inc.* 166 pp.
- SUMAYAO, C.R., KANEMASU, E.T. y BRAKKE, T.W. 1980. Using leaf temperature to assess evapotranspiration and advection. *Agric. Meteorol.* **22**: 153-166.
- SYVERTSEN, J.P. 1984. Light acclimation in citrus leaves. II. CO<sub>2</sub> assimilation and light, water, and nitrogen use efficiency. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **109**: 812-817.
- SYVERTSEN, J.P., ZABLOTOWICZ, R.M. y SMITH, M.L. 1983. Soil temperature and flooding effects on two species of Citrus. I. Plant growth and hydraulic conductivity. *Plant Soil* **72**: 3-12.
- TABUENCA, M.C. 1965. Influencia del clima en los frutales. CSIC. *Estación Experimental de Aula Dei*. Zaragoza. 297 pp.
- TABUENCA, M.C. 1971. Caída de yemas de flor de melocotonero. *An. Aula Dei* **11**: 69-97.
- TABUENCA, M.C. y HERRERO, J. 1966. Influencia de la temperatura en la época de floración de los frutales. *An. Aula Dei* **8**: 115-153.
- TAMÁSSY, I. y ZAYAN, M. 1982. Critical temperatures in winter (after rest period) and in spring (at blooming time) for fruit buds and open flowers of some apricot varieties from different groups. *Acta Hortic.* **121**: 63-67.
- TAN, C.S. y BUTTERY, B.R. 1982. Response of stomatal conductance, transpiration, photosynthesis, and leaf water potential in peach seedlings to different watering regimes. *HortScience* **17**: 222-223.

- TENHUNEN, J.D., LANGE, O.L. y JAHNER, D. 1982. The control by atmospheric factors and water stress of midday stomatal closure in *Arbutus unedo* growing in a natural macchia. *Oecologia* **55**:165-169.
- TOPP, G.C. y DAVIS, J.L. 1985. Time domain reflectometry (TDR) and its application to irrigation scheduling. *Adv. Irrig.* **3**: 107-127.
- TOPP, G.C., DAVIS, J.L. y ANNAN, A.P. 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. *Water Resour. Res.* **16**: 574-582.
- TOPP, G.C., DAVIS, J.L. y ANNAN, A.P. 1982. Electromagnetic determination of soil water content using TDR: I. Applications to wetting fronts and steep gradients. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **46**: 672-678.
- TORRECILLAS, A., RUÍZ-SANCHEZ, M.C., DEL AMOR, F. y LEÓN, A. 1988a. Seasonal variations on water relations of *Amygdalus communis* L. under drip irrigated and non irrigated conditions. *Plant Soil* **106**: 215-20.
- TORRECILLAS, A., RUIZ-SÁNCHEZ, M.C., LEÓN, A. y GARCÍA, A.L. 1988b. Stomatal response to leaf water potential in almond trees under drip irrigated and non irrigated conditions. *Plant Soil* **112**: 151-153.
- TORRECILLAS, A., GUILLAUME, C., ALARCÓN, J.J. y RUIZ-SÁNCHEZ, M.C. 1995. Water relations of two tomato species under water stress and recovery. *Plant Sci.* **110**: 167-172.
- TORRECILLAS, A., GALEGO, R., PÉREZ-PASTOR, A. y RUIZ-SÁNCHEZ, M.C. 1999. Gas exchange and water relations of young apricot plants under drought conditions. *J. Agric. Sci.* **132**: 445-452.
- TORRECILLAS, A., DOMINGO, R., GALEGO, R. y RUIZ-SÁNCHEZ, M.C. 2000. Apricot tree response to withholding irrigation at different phenological periods. *Sci. Hort.* **85**: 201-215.
- TORRECILLAS, A., ALARCÓN, J.J., DOMINGO, R., PLANES J. y SÁNCHEZ-BLANCO, M.J. 1996. Strategies for drought resistance in leaves of two almond cultivars. *Plant Sci.* **118**: 135-143.
- TSUKAHARA, H. y KOZLOWSKI, T.T. 1985. Importance of adventitious roots to growth of flooded *Platanus occidentalis* seedlings. *Plant Soil* **88**: 123-132.
- TURNER, N.C. 1974. Stomatal behaviour and water status of maize, sorghum and tobacco under field conditions. II. At low soil water potential. *Plant Physiol.* **53**: 360-365.

- TURNER, N.C. 1979. Drought resistance and adaptation to water deficits in crop plants. *En: Stress Physiology in Crop Plants. (Mussell, H., Staples, R.C., Eds.) Wiley. New York. p. 343-372.*
- TURNER, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant Soil* **58**: 339-366.
- TURNER, N.C. 1986. Crop water deficits: a decade of progress. *Adv. Agron.* **39**: 1-51.
- TURNER, N.C. 1990. Plant water relations and irrigation management. *Agric. Water Manag.* **17**: 59-73.
- TURNER, N.C. y KRAMER, P.J. 1980. Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress. Wiley. New York.
- TURNER, N.C., SPURWAY, R.A. y SCHULZE, E.D. 1984. Comparison of water potentials measured by *in situ* psychrometry and pressure chamber in morphologically different species. *Plant Physiol.* **74**: 316-319.
- TURNER, N.C., SCHULZE, E.D. y GOLLAN, T. 1985. The responses of stomatal and leaf gas exchange to vapour pressure deficits and soil water content. II. In the mesophytic herbaceous species *Helianthus annuus*. *Oecologia* **65**: 348-355.
- TYREE, M.T. y DIXON, M.A. 1983. Cavitation events in *Thuja occidentalis* L. *Plant Physiol.* **72**: 1094-1099.
- TYREE, M.T. y SPERRY, J.S. 1989. Vulnerability of xylem to cavitation and embolism. *Ann. Rev. Plant Physiol. Mol. Biol.* **40**: 19-38.
- UPCHURCH, D.R. y RITCHIE, J.T. 1983. Root observations using a video recording system in mini-rhizotrons. *Agron. J.* **75**, 1009-1015.
- URIU, K. 1964. Effect of post-Harvest soil moisture depletion on subsequent yield of apricots. *J. Hort. Sci.* **84**: 93-97.
- VALANCOGNE, C. y NASR, Z. 1989. Measuring sap flow in the stem of small trees by a heat balance method. *HortScience* **24**: 383-385.
- VAN BAVEL, C.H.M., BRUST, K.J. y STIRK, G.B. 1968a. Hydraulic properties of a clay-loam soil and the field measurement of water uptake by roots. II. The water balance of the root zone. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **32**: 317-321.
- VAN BAVEL, C.H.M., STIRK, G.B. y BRUST, K.J. 1968b. Hydraulic properties of a clay-loam soil and the profiles. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **32**: 310-317.

- VENTURA, F., SPANO, D., DUCE, P. y SNYDER, R.L. 1999. An evaluation of common evapotranspiration equations. *Irrig. Sci.* **18**: 163-170.
- VITI, R. y MONTELEONE, P. 1991. Observations on flower bud growth in some low yield varieties of apricot. *Acta Hortic.* **293**: 319-325.
- VU, J.C.V. y YELENOSKY, G. 1991. Photosynthetic responses of citrus trees to soil flooding. *Physiol. Plant.* **81**: 7-14.
- VU, J.C.V., YELENOSKY, G. y BAUSHER, M.G. 1986. CO<sub>2</sub> exchange rate, stomatal conductance, and transpiration in attached leaves of 'Valencia' orange. *HortScience* **21**: 143-144.
- WAMPLE, R.L. y THORTON, R.K. 1984. Differences in the response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) subjected to flooding and drought stress. *Physiol. Plant.* **61**: 611-616.
- WARRIT, B., LANDSBERG, J.J. y THORPE, M.R. 1980. Responses of apple leaf stomata to environmental factors. *Plant Cell Environ.* **3**: 13-22.
- WATSON, G.W. 1987. The relationship of root growth and tree vigour following transplanting. *Arboric. J.* **11**: 97-104.
- WATSON, K.K., REGINATO, R.J. y JACKSON, R.D. 1975. Soil water hysteresis in a field soil. *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.* **39**: 242-246.
- WESTWOOD, M.N. 1993. Temperate-zone pomology. Physiology and culture. *Third edition. Timber Press Inc.* Portland. Oregon. 523 pp.
- WESTWOOD, M.N. y ROBERTS, A.N. 1970. The relationship between trunk cross-sectional area and weight of apple trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **95**: 28-30.
- WILLIAMS, D.W., ANDRIS, H.L., BEEDE, R.H., LUVISI, D.A., NORTON, M.V.K. y WILLIAMS, L.E. 1985. Validation of a model for the growth and development of the Thompson seedles grapevines. II. Phenology. *Am. J. Enol. Vitic.* **36**: 283-289.
- WILLIAMS, L.E. 1987. The effect of cyanamide on budbreak and vine development of Thompson seedles grapevines in the San Joaquin Valley of California. *Vitis* **26**: 107-113.
- WILLIAMS, L.E. y GRIMES, D.W. 1987. Modelling vine growth-development of a data set for a water balance subroutine. *En: T. Lee (ed.) Proc. 6th Aust. Wine Ind. Tech. Conf. Adelaide, Aust. 14-17 July 1986. Australian Industrial Publ.* Adelaide. p. 169-174.

- WILLIAMS, M., RASTETTER, E.B., FERNANDES, D.N., GOULDEN, M.L., WOFSEY, S.C., SHAVER, G.R., MELILLO, J.M., MUNGER, J.W., FAN, S.M. y NADELHOFFER, K.J. 1996. Modelling the soil-plant-atmosphere continuum in a *Quercus-Hacer* stand at Harvard forest: the regulation of stomatal conductance by light, nitrogen and soil/plant hydraulic properties. *Plant Cell Environ.* **19**: 911-927.
- WILSON, J.R. y LUDLOW, M.M. 1983. Time trends for change in osmotic adjustment and water relations of leaves of *Cenchrus ciliaris* during and after water stress. *Aust. J. Plant Physiol.* **10**: 15-24.
- WILSON, J.R., LUDLOW, M.M., FISCHER, M.J. y SCHULZE, E.D. 1980. Adaptation to water stress of the leaf water relations of four tropical forage species. *Aust. J. Plant Physiol.* **7**: 207-220.
- WINKEL, T. y RAMBAL, S. 1993. Influence of water stress on grapevine growing in the field: from leaf to whole plant response. *Aust. J. Plant Physiol.* **20**: 143-157.
- WINKLER, A.J., COOK, J.A., KLIWER W.N. y LIDER. L.A. 1974. General viticulture. *2nd Ed., Univ. California Press.* Berkeley.
- WONG, S.C., COWAN, I.R. y FARQUHAR, G.D. 1979. Stomatal conductance correlates with photosynthetic capacity. *Nature* **282**: 424-426.
- WRIGHT, S.T.C. 1972. Physiological and biochemical responses to wilting and other stress conditions. *En: A.R. Rees, K.E.Cocksbull, D.W.Hand, and R.G. Hurd (eds.) Crop processes in controlled environments. Academic Press.* London. p. 349-361.
- YANG, S. 1987. Regulation of biosynthesis and action of ethylene. *Acta Hort.* **201**: 53-59.
- YOON, T.M. y RICHTER, H. 1990. Seasonal changes in stomatal responses of sweet cherry and plum to water status in detached leaves. *Physiol. Plant.* **80**: 520-526.
- ZEKRI, M. y PARSONS, L.R. 1989. Grapefruit leaf and fruit growth in response to drip, microsprinkler, and overhead sprinkler irrigation. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **114**: 25-29.
- ZHANG, J. y DAVIES, W.J. 1989. Abscisic acid produced in dehydrating roots may enable the plant to measure the water status of soil. *Plant Cell Environ.* **12**: 73-81.

ZHANG, J. y DAVIES, W.J. 1990. Changes in the concentration of ABA in xylem sap as a function of changing soil water status can account for changes in leaf conductance and growth. *Plant Cell Environ.* **13**: 277-285.

ZHANG, W.B. y TYERMAN, S.D. 1991. Effects of low oxygen concentration and azide on hydraulic conductivity and osmotic volume of the cortical cells of roots. *Aust J. Plant. Physiol.* **18**: 603-613.

## **Abreviaturas y símbolos.**

## Abreviaturas y símbolos.

### *Alfabetizables*

A	Área de la pared exterior del minirrizotróton
Ab	Absorbancia
ABA	Ácido abscísico
AF	Área foliar
AIF	Ángulo de inserción foliar
BBCH	Escala fenológica
C	Patrón de ciruelo Pollizo de Murcia
CC	Capacidad de campo
CCC	Capacidad de cambio catiónico
CEe	Conductividad eléctrica del extracto de saturación
Ci	Concentración interna de CO <sub>2</sub>
CIE	Commission Internationale de L'eclairage
CK	Citoquininas
D	Drenaje/ Diámetro exterior
DLR	Densidad de longitud radicular
DPV	Déficit de presión de vapor
E	Escorrentía
ES	Error estándar
ET	Evapotranspiración
ETc	Evapotranspiración del cultivo
ETo	Evapotranspiración de referencia (gramíneas)
F	Patrón franco de Real Fino
Fn	Fotosíntesis neta
GD	Grados día
GDD	Growing degree days (Grados días de crecimiento)
GDH	Growing degree hours (Grados hora de crecimiento)
GLM	General linear model (modelo lineal de análisis de varianza)
HR	Humedad relativa
IAF	Índice de área foliar
IF	Índice de forma del fruto
IT	Integral térmica
J	Flujo hídrico
Kc	Coefficiente de cultivo
Kr	Coefficiente de corrección de la ETc en riego localizado
L	Longitud
Lp	Conductividad hidráulica de la raíz
LVDT	Linear variable displacement transducers (Transductores de desplazamiento lineal variable)

MAPA	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
MDS	Test de la mínima diferencia significativa
N	Lectura de sonda de neutrones/ Número de raíces observadas
NHn	Necesidades hídricas netas
P	Lluvia/Presión/ Peso de la muestra/ Significación estadística (probabilidad)
Pf	Peso fresco
Ps	Peso seco
R	Riego/ Resistencia hidráulica de la raíz
RDC	Riego deficitario controlado
RFA	Radiación fotosintéticamente activa
SC	Lectura estándar de sonda de neutrones
SS	Superficie sombreada/ Sólidos solubles
T	Temperatura del aire
TDR	Reflectometría en el dominio del tiempo
TR	Transpiración foliar
V	Volumen
VC	Velocidad de crecimiento
VCB	Velocidad de crecimiento de brotes
VCF	Velocidad de crecimiento de frutos

### ***No Alfabetizables***

a*	Índice de color que representa el eje que evoluciona desde colores verdes hasta rojos
b*	Índice de color que representa el eje que evoluciona desde colores azules hasta el amarillo
C*	Chroma (saturación de color)
CE 1:5	Conductividad eléctrica del extracto 1:5
Cl	Ión cloruro
D <sub>50</sub>	Diámetro medio correspondiente al 50 % en peso de las partículas
e <sub>a</sub>	Presión de vapor actual
E <sub>o</sub>	Evaporación en cubeta clase A
e <sub>s</sub>	Presión de vapor a saturación
ET <sub>O<sub>CUB</sub></sub>	Evapotranspiración de referencia calculada a partir de la cubeta clase A
ET <sub>cg</sub>	Evapotranspiración del cultivo en riego por goteo
ET <sub>O<sub>PM</sub></sub>	Evapotranspiración de referencia calculada a partir del método de Penman-Monteith
g <sub>i</sub>	Conductancia foliar

$H^*$	Hue (tono de color)
$k(\theta)$	Conductividad hidráulica función del contenido de humedad volumétrica
$K_a$	Constante dieléctrica suelo
$L^*$	Luminosidad
$R_{s+p}$	Resistencia al flujo de agua a través del suelo y la planta
$R^2$	Coefficiente de determinación
$T_a$	Temperatura del aire que rodea la hoja
$T_{base}$	Temperatura base por debajo de la cual no hay actividad vegetativa en la planta
$T_f$	Temperatura de la cubierta vegetal
$T_{máx}$	Temperatura máxima
$T_{med}$	Temperatura media
$T_{mín}$	Temperatura mínima
$T_{mh}$	Temperatura media horaria
$T_i$	Efecto debido al tratamiento de riego
$TB_{ij}$	Efecto de la combinación entre tratamiento y bloque
$B_j$	Efecto debido al bloque
$Y_{ijk}$	Valor observado para la variable
$\epsilon_{k(j)}$	Efecto de la unidad experimental o árbol
$\Psi$	Potencial hídrico foliar
$\Psi_{xilema}$	Potencial de xilema
$\Psi_a$	Potencial hídrico foliar antes del alba
$\Psi_m$	Potencial matricial del agua en el suelo
$\Psi_{md}$	Potencial hídrico a mediodía
$\Psi_o$	Potencial osmótico actual
$\Psi_{os}$	Potencial osmótico saturado
$\Psi_p$	Potencial de turgencia
$\Psi_x$	Potencial de tallo
$\theta_F$	Contenido volumétrico final de agua en el suelo
$\theta_I$	Contenido volumétrico inicial de agua en el suelo
$\theta_v$	Contenido volumétrico de agua en el suelo
$\varnothing_E$	Diámetro ecuatorial del fruto
$\varnothing_L$	Diámetro longitudinal del fruto
$\varnothing_S$	Diámetro de sutura del fruto
$\mu$	Efecto común debido a la media propia de la variable de población
$\Delta ST$	Incremento de la sección del tronco
$\Delta\theta$	Variación del contenido volumétrico de agua en el suelo