

Riego deficitario controlado en ‘Clementina de Nules’. I. Efectos sobre la producción y la calidad de la fruta

P. González-Altozano¹ y J. R. Castel*²

¹ Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria. Escuela Técnica Superior del Medio Rural y Enología. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera, s/n. 46020 Valencia. España

² Departamento de Recursos Naturales. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Apartado Oficial. 46113 Moncada (Valencia). España

Resumen

Se realizó un experimento de riego deficitario controlado (RDC) entre 1995 y 1998 en una parcela de ‘Clementina de Nules’/‘Citrango carrizo’ regada por goteo. Los tratamientos de riego se compararon con un control, siempre bien regado en base a la evapotranspiración medida en un lisímetro de pesada (ET_{lis}) plantado con un árbol similar al resto. Durante 1995 y 1996 se estudió el RDC a dos niveles (25% y 50% ET_{lis}) en los tres periodos fenológicos principales: I) floración-cuajado, II) crecimiento rápido del fruto, III) crecimiento final y maduración. En 1997 y 1998 se suprimieron los tratamientos durante floración-cuajado y se ampliaron los niveles de RDC durante los meses de verano y comienzos de otoño. Asimismo, durante los cuatro años se estudió el riego deficitario permanente al 50% durante todo el año. Los efectos de los tratamientos sobre la producción y calidad de los frutos se discuten con relación al estrés hídrico producido, el potencial del agua en la hoja al amanecer (Ψ^a) y el potencial mátrico del suelo. Los resultados muestran grandes diferencias de sensibilidad al estrés según el periodo fenológico. Así, el periodo más crítico para reducir el aporte de agua de riego fue la primavera, ya que produjo una importante reducción de la cosecha. El RDC durante final del verano y principios de otoño redujo de forma notable el tamaño del fruto y algunos años provocó malformaciones externas en una proporción importante de los mismos. El pleno verano, cuando tiene lugar la fase inicial de crecimiento del fruto, es el periodo más adecuado para la aplicación del RDC, pues sin sobrepasar un valor de Ψ^a en torno a $-1,2$ MPa, se pueden conseguir ahorros importantes de agua sin afectar la producción ni los parámetros de calidad del fruto.

Palabras clave: *Citrus clementina*, riego por goteo, crecimiento del fruto, potencial hídrico en hoja.

Abstract

Regulated deficit irrigation in ‘Clementina de Nules’ citrus tree. I. Yield and fruit quality effects during four years

An experiment on regulated deficit irrigation (RDI) was performed from 1995 to 1998 in a drip-irrigated orchard of ‘Clementina de Nules’/‘Carrizo Citrange’ located in Moncada (Valencia). Treatments included a control irrigated during the whole year at 115% of crop evapotranspiration measured in a weighing lysimeter (ET_{lys}), and RDI treatments, where irrigation was reduced at different levels and time-length. During 1995-96 RDI was applied at 25% or at 50% of ET_{lys} at the following phenological stages: I) flowering-fruit set, II) initial fruit growth phase, and III) final fruit growth and maturation. In 1997 and 1998, treatments were eliminated at the flowering-fruit set stage, and RDI levels were increased during summer months and the beginning of autumn. Furthermore, during the four-year period, permanent irrigation deficit at 50% was evaluated throughout the year. The effects of the treatments on yield and fruit quality are discussed in relation to tree water status (predawn leaf water potential) and soil matric potential. Results show large differences of sensitivity to water stress according to the phenological stage. The most critical period for reducing water irrigation was spring as an important yield decrease was recorded. RDI during the end of the summer and the beginning of autumn reduced fruit size and produced a high proportion of deformed fruits. The best period for RDI treatments was the summer season, at initial stages of fruit growth, because water savings are allowed while yield and fruit quality parameters are not affected, providing that a threshold value of $\Psi^a -1.2$ MPa is not surpassed.

Key words: *Citrus clementina*, fruit growth, drip irrigation, water relations, predawn leaf water potential.

* Corresponding author: jrcastel@ivia.es
Received: 28-05-02; Accepted: 14-02-03.

Introducción

La superficie dedicada al cultivo de cítricos en España supera las 270.000 ha, y cerca del 80% se concentra en las Comunidades de Valencia y Murcia, donde dada la escasez e irregularidad de las precipitaciones, el cultivo sólo es rentable con la aplicación de riego.

La creciente demanda de agua por muchos sectores de nuestra sociedad (industrial, urbano y turístico, agrícola, medio ambiente) tiene una singular importancia en el regadío, puesto que éste utiliza alrededor del 80% de los recursos hídricos totales, y por ello, un pequeño ahorro en su conjunto puede representar un importante aumento de la disponibilidad de agua para otros sectores. Por otro lado, un mejor aprovechamiento del agua en la agricultura permitiría reducir los costes de producción.

Para conseguir este objetivo se requieren cambios sustanciales en el manejo del riego, que deben estar basados en el conocimiento de la productividad en función del estado hídrico, a fin de conseguir producciones económicamente rentables, utilizando dotaciones hídricas inferiores a las que los árboles requieren para su máximo crecimiento y producción.

Una de las alternativas propuestas para aumentar la eficiencia en el uso del agua es el denominado riego deficitario controlado (RDC) (Mitchell *et al.*, 1984). El RDC se basa en reducir los aportes hídricos sólo en determinados momentos del ciclo de cultivo, en los que dicha reducción no afecta sensiblemente a la producción ni a la calidad de la cosecha, y cubrir plenamente la demanda de la planta durante el resto del ciclo de cultivo, en particular durante los denominados «periodos críticos», o estados fenológicos de mayor sensibilidad al déficit hídrico (Mitchell *et al.*, 1984; Chalmers *et al.*, 1986).

Aunque durante la aplicación de la restricción del riego suele producirse una disminución del crecimiento del fruto, existe evidencia de que tras la reanudación del riego a dosis normal después de un período de restricción, la velocidad de crecimiento del fruto es mayor que si no hubiera habido restricción (Mitchell y Chalmers, 1982; Chalmers *et al.*, 1986; Cohen y Goell, 1988). Además, en cítricos se ha observado que períodos prolongados de déficit hídrico producen una mayor reducción del crecimiento vegetativo que del crecimiento de los frutos (Levy *et al.*, 1978).

Con objeto de explorar las posibilidades de ahorro de agua mediante el RDC en mandarinos 'Clementina de Nules' regados por goteo, se estudió el efecto de su

aplicación durante diferentes estados fenológicos sobre el crecimiento vegetativo, floración y caída de frutos, así como las repercusiones sobre la producción y la calidad de la fruta. En este artículo se exponen los efectos del RDC sobre la producción y la calidad de la fruta, y en un segundo artículo (González-Altozano y Castel, 2003) se describirá su influencia sobre el crecimiento vegetativo, floración y caída de frutos.

Material y métodos

Características de la parcela

Los experimentos se desarrollaron durante los años 1995 a 1998 en la finca del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA) en Moncada (Valencia) en una parcela de 2 ha de superficie, plantada en 1985 con mandarinos 'Clementina de Nules' sobre Citranje Carrizo al marco de 6 × 3,85 m.

El suelo es franco-arcillo-arenoso, con abundante pedregosidad ($\approx 23\%$ en peso) procedente de los trozos del horizonte petrocálcico subyacente que limita la profundidad enraizable a unos 50-60 cm. La capacidad de retención de agua útil es de 125 mm m⁻¹, y la densidad aparente varía entre 1,43 y 1,55 t m⁻³. El suelo es pobre en materia orgánica (0,7%) y normal en fósforo (30 ppm Olsen) y potasio (250 ppm).

Los datos climáticos se midieron en la estación agrometeorológica del IVIA situada en la esquina este de la parcela experimental. La lluvia y la demanda evaporativa ocurrida en cada año se resumen en la Tabla 1. La lluvia media anual a largo plazo (1980-1998) en esta localidad es de 393 mm.

Todos los tratamientos recibieron por fertirrigación una media de 131-38-80 kg ha⁻¹ año⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente, repartido en aplicaciones semanales desde abril a septiembre. El control de plagas y otras prácticas culturales fueron las comunes en la zona e idénticas en todos los tratamientos. Los árboles se podaron todos los años en febrero-marzo.

Tabla 1. Precipitación y demanda evaporativa (E_o, evaporación de cubeta clase A sobre césped regado) registradas en la estación meteorológica adyacente a la parcela experimental durante los años de ensayo

	1995	1996	1997	1998
Precipitación (mm)	249	409	306	319
E _o (mm)	1.698	1.644	1.668	1.573

Tratamientos de riego

Los tratamientos de riego se establecieron en función de la evapotranspiración real medida en un lisímetro de pesada (ET_{lis}). El lisímetro, de $4 \times 4 \times 1,5$ m y con precisión de 4 kg ($\approx 0,25$ mm), está ubicado en la misma parcela y plantado con un árbol similar a los circundantes (Castel, 1991), y se regó siempre sin limitación de agua.

Durante 1995 y 1996 se estudió el RDC a dos niveles (25% y 50% ET_{lis}) en los tres periodos fenológicos principales: I) floración-cuajado, II) crecimiento rápido del fruto, III) crecimiento final y maduración. En los años siguientes (1997-1998) se suprimieron los tratamientos durante la floración-cuajado y se ampliaron los niveles de RDC durante los meses de verano y comienzos de otoño. Asimismo, durante los cuatro años se estudió un tratamiento de riego deficitario permanente al

nivel del 50% durante todo el año. Todos los tratamientos de riego se compararon con un control, bien regado durante toda la temporada al 125% (1995-96) o al 115% de la ET_{lis} (1997-98). Los tratamientos de riego, dosis aplicada y duración de los diferentes tratamientos ensayados en cada año, se resumen en la Tabla 2.

El sistema de riego consistió en una doble línea de goteo con 4 goteros autocompensantes de 4 l h^{-1} por árbol, separados unos 75 cm a cada lado del árbol. La frecuencia de riego, igual para todos los tratamientos, fue de 5, 4 y 2 veces por semana en verano, primavera-otoño, e invierno, respectivamente. El agua de riego utilizada, procedente del pozo propiedad de la finca, tenía una conductividad eléctrica media de $1,2 \text{ dS m}^{-1}$ y un contenido medio de cloruro de 120 g m^{-3} . El agua de riego aplicada en cada parcela experimental se midió mediante contadores.

Tabla 2. Tratamientos de riego en 'Clementina de Nules'

A) Durante 1995 y 1996

Tratamientos 1995 y 1996	Período fenológico	Duración del período de restricción hídrica		Dosis de riego	
		1995	1996	Durante el período de restricción hídrica	Resto del año
25%-I	I) Floración y cuajado	20/03 a 03/07	01/04 a 01/07	25% ET_{lis}	125% ET_{lis}
50%-I				50% ET_{lis}	125% ET_{lis}
25%-II	II) Crecimiento inicial del fruto	04/07 a 07/08	02/07 a 28/07	25% ET_{lis}	125% ET_{lis}
50%-II				50% ET_{lis}	125% ET_{lis}
25%-III	III) Crecimiento final y maduración	08/08 a cosecha	29/07 a cosecha	25% ET_{lis}	125% ET_{lis}
50%-III				50% ET_{lis}	125% ET_{lis}
50%-año	Todo el año	Todo el año		50% ET_{lis}	
Control	Todo el año	Sin periodo de restricción		125% ET_{lis}	

B) Durante 1997 y 1998

Tratamientos 1997 y 1998	Fase de desarrollo del fruto	Duración del período de restricción hídrica		Dosis de riego	
		1997	1998	Durante el período de restricción hídrica	Resto del año
25%-J	Crecimiento inicial del fruto	01/07 a 03/08	01/07 a 29/07	25% ET_{lis}	115% ET_{lis}
50%-J				50% ET_{lis}	115% ET_{lis}
50%-J+A	Crecimiento del fruto	01/07 a 07/09	01/07 a 01/09	50% ET_{lis}	115% ET_{lis}
75%-J+A				75% ET_{lis}	115% ET_{lis}
50%-A-O	Crecimiento final y maduración	05/08 a 03/11	29/07 a 28/10	50% ET_{lis}	115% ET_{lis}
75%-J-O	Crecimiento y maduración	01/07 a 03/11	01/07 a 28/10	75% ET_{lis}	115% ET_{lis}
50%-año	Todo el año	Todo el año		50% ET_{lis}	
Control	Todo el año	Sin periodo de restricción		115% ET_{lis}	

Los tratamientos se aplicaron según un diseño estadístico de bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento. Cada parcela elemental estaba compuesta por 6 filas con 6 árboles por fila, tomándose los árboles perimetrales como guarda, por lo que los datos de producción y calidad se basaron en aproximadamente 16 árboles por parcela elemental.

Relaciones hídricas

Se midió el potencial hídrico foliar al amanecer (Ψ^a) entre las 05:00 y las 06:30 y a mediodía (Ψ^{md}) alrededor de las 12:00, utilizando una cámara de presión, siguiendo los procedimientos descritos por Turner (1981). Cada vez se midió el potencial en 5 hojas adultas de 2 árboles representativos por tratamiento, elegidas en el cuadrante noroeste para las medidas al amanecer y en la parte más soleada a mediodía.

El potencial mátrico del suelo (Ψ_m) se determinó a 20 y 40 cm de profundidad con tensiómetros situados a 20 cm del gotero en un árbol por parcela elemental.

Tamaño del fruto, producción y calidad del mismo

Se seleccionaron y etiquetaron 16 frutos por árbol en 3 árboles por tratamiento. En ellos se midió el diámetro ecuatorial aproximadamente cada 7 días desde finales de junio hasta la recolección. También se midió en varias ocasiones el volumen (mediante el principio de Arquímedes) de una muestra representativa de frutos con objeto de establecer la relación entre el diámetro ecuatorial (D) y el volumen (V). La relación encontrada fue: $V \text{ (cm}^3\text{)} = 0,0007 * [D \text{ (mm)}]^{2,917}$ siendo $r^2 = 0,995$.

La producción y sus componentes se determinaron al final de cada campaña durante la recolección comercial de la cosecha. El peso medio del fruto se determinó contando el número de frutos en 15 cajones previamente pesados (aprox. 20 kg/cajón) por parcela elemental. Cuando hubo incidencia de «clareta» (mo-teados y defectos del relieve de la corteza distribuidos de forma heterogénea en la superficie del fruto), ésta se evaluó contando el número de frutos afectados en 3 cajones por parcela elemental.

Los parámetros de calidad de la fruta (corteza, zumo y pulpa, sólidos solubles y acidez) se determinaron en muestras de 50 frutos en cada parcela elemental, tomadas una semana antes de la recolección,

según los procedimientos descritos por González-Sicilia (1951).

Crecimiento vegetativo

El área de la sección transversal del tronco (STT, en cm^2) se relaciona linealmente con el peso de la parte aérea del árbol (Barlow, 1969), por lo que es una forma comúnmente aceptada de expresar el tamaño de los árboles. El incremento de la sección transversal del tronco (ΔSTT , cm^2) está relacionado con el crecimiento vegetativo. Por tanto, el peso de fruta producida por unidad de sección transversal (kg cm^{-2} STT) expresa la eficiencia productiva. La relación entre el peso de fruta producida por incremento de sección del tronco [$\text{kg (cm } \Delta\text{STT)}^{-2}$] ha sido utilizada para expresar la distribución de recursos dedicados a crecimiento vegetativo o productivo (Ebel *et al.*, 1995).

Se midió periódicamente el perímetro del tronco 5 cm por encima del injerto en 6 árboles por parcela elemental en los tratamientos RDC y 10 árboles en el control y 50%-año en 1995 y 1996. En 1997 y 1998 se midieron 12 árboles por parcela elemental en los tratamientos RDC y 10 árboles en el control y 50%-año.

Otro parámetro interesante para analizar los resultados de los tratamientos de riego es la eficiencia en el uso del agua (EUA), definida aquí como el cociente entre la producción obtenida y la cantidad de agua aplicada (riego + lluvia).

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante análisis de la varianza utilizando el test de Dunnett para comparación de medias frente al control, según los procedimientos del paquete de programas estadísticos SAS (SAS Institute, 1994).

Resultados

La evolución del potencial del agua en hoja medido al amanecer (Ψ^a) durante 1995 y 1996, junto con el volumen del fruto en los tratamientos 25% y 50% ET_{lis} con relación al control se presenta en la Figura 1, donde también se incluye la lluvia y la evaporación. En la Figura 2 se muestran los valores de dichos parámetros correspondientes a los tratamientos de 1997 y 1998.

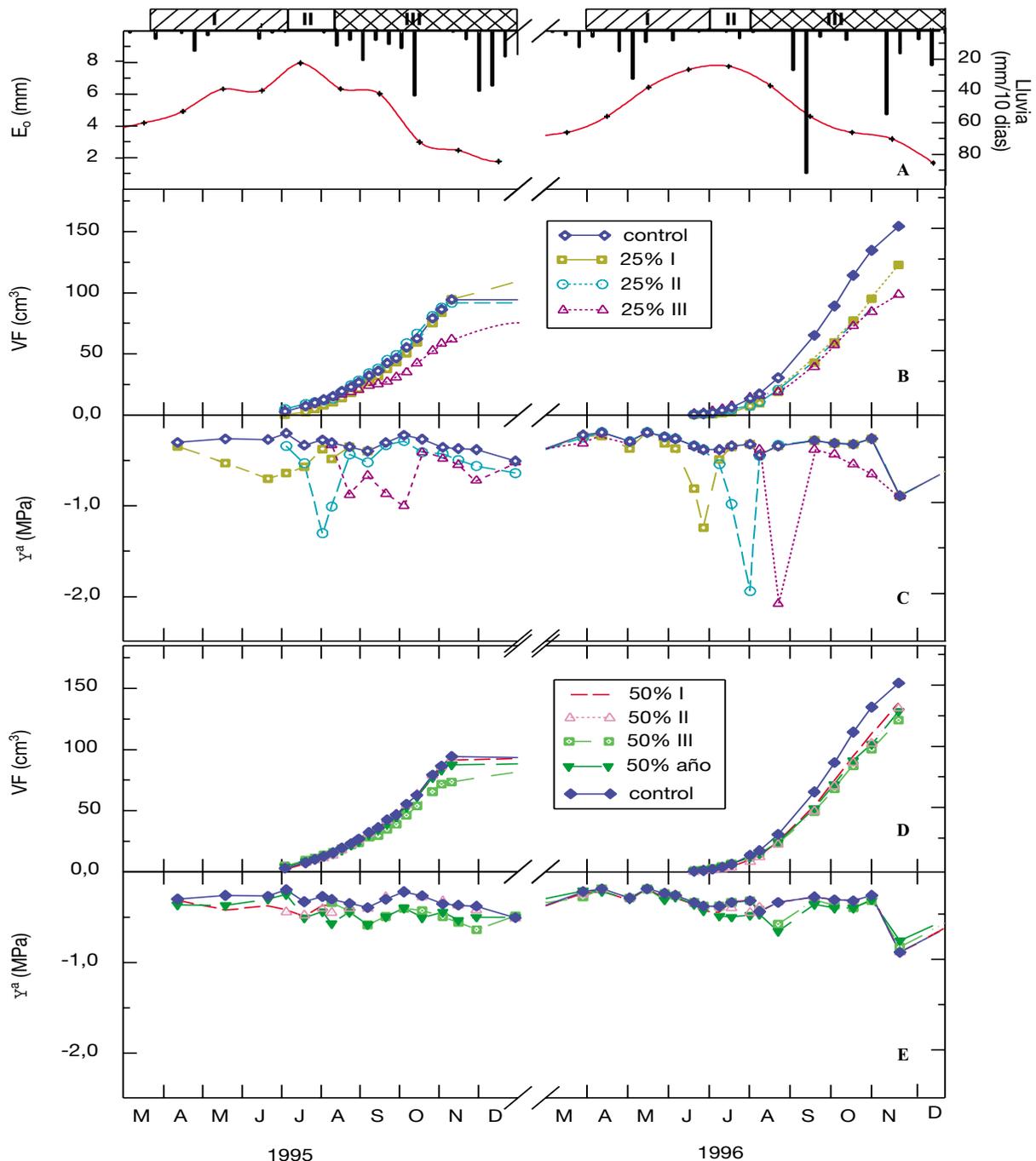


Figura 1. Valores medidos durante 1995 y 1996 de: A) lluvia y evaporación de tanque (E_o); B) volumen de fruto (VF); C) potencial hídrico foliar al amanecer (Ψ^a) en los tratamientos RDC al 25% ET_{lis} ; D) volumen del fruto, y E) Ψ^a en los tratamientos RDC al 50% ET_{lis} , 50%-año y en el control. Los períodos fenológicos I, II y III fueron definidos en material y métodos.

En los árboles del tratamiento control, los valores de Ψ^a oscilaron durante todo el tiempo alrededor de $-0,3$ MPa, y el valor mínimo medido fue de $-0,5$ MPa, lo que indica que los árboles de este tratamiento estuvieron siempre bien regados.

Experimentos de 1995-1996

La reducción del riego en primavera (periodo I) permitió ahorros de agua del 20 al 29%, y aunque solo causó un ligero estrés hídrico ($\Psi^a_{min} = -0,7$ MPa en el

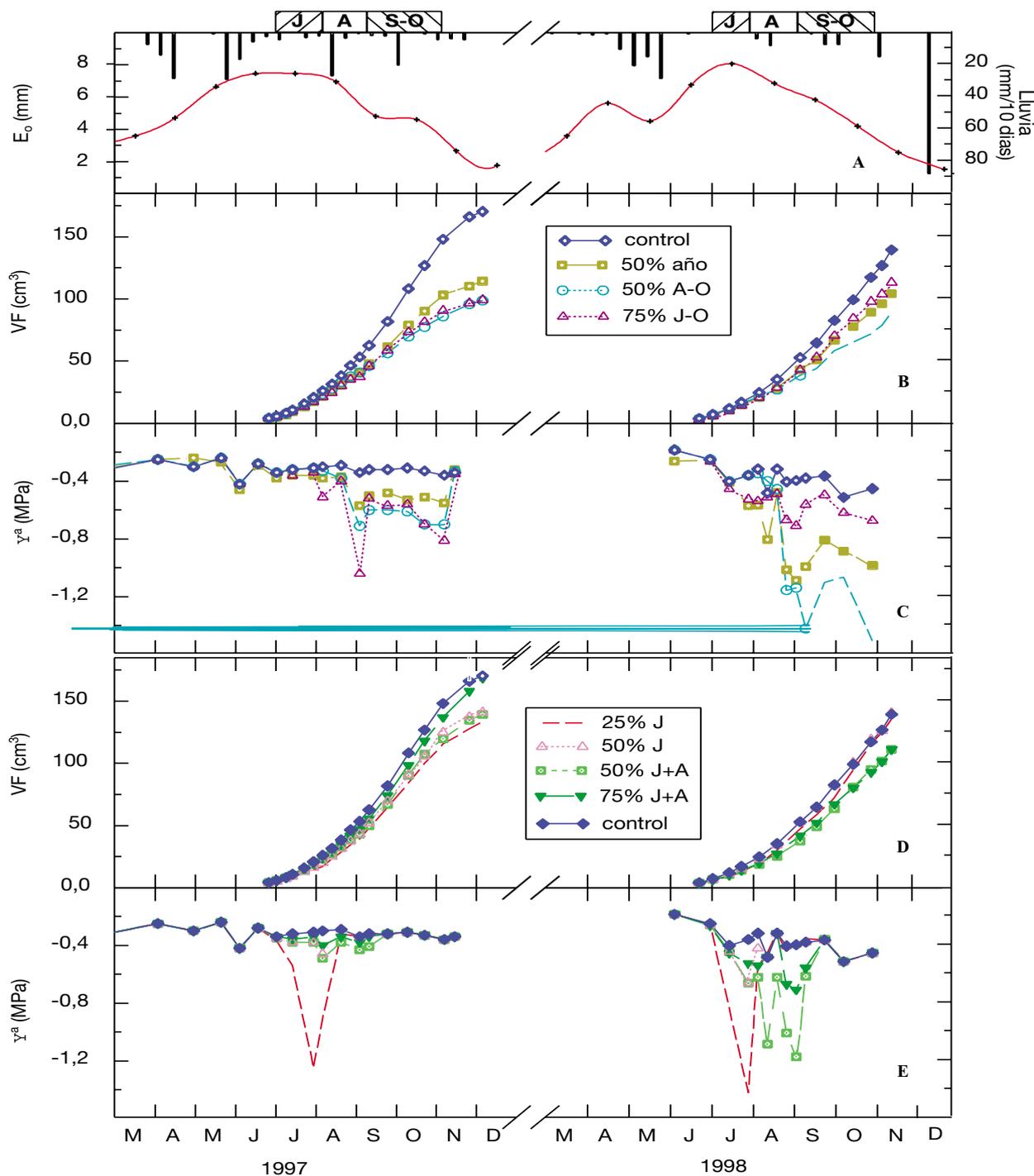


Figura 2. Valores medidos durante 1997 y 1998 de: A) lluvia y evaporación de tanque (E_o); B) volumen de fruto (VF); C) potencial hídrico foliar al amanecer (Ψ^a) en los tratamientos de riego de mayor duración, D) y E) VF y Ψ^a , respectivamente, en los tratamientos RDC durante julio y agosto, 50%-año y en el control.

tratamiento 25%-I de 1995 y $-1,24$ MPa en 1996), produjo una mayor caída de flores y pequeños frutos que en los árboles control. Esta mayor caída de órganos reproductivos, aunque fue menos acusada que en el tra-

tamiento 25%-I, también se produjo en el tratamiento 50%-I, a pesar de que en él los valores de potencial alcanzados fueron durante la mayor parte del tiempo similares a los del control. A consecuencia de esta caí-

Tabla 3. Influencia de los tratamientos de riego en la producción y calidad del fruto de mandarinos 'Clementina de Nules'. Valores medios de 1995 y 1996

Parámetros	Tratamientos de riego							
	Control	25%-I	50%-I	25%-II	50%-II	25%-III	50%-III	50%-año
Riego (m ³ ha ⁻¹)	3.840	2.750	3.090	3.350	3.540	2.670	2.880	1.700
Ahorro de agua (%)	—	28	20	13	8	30	25	56
Producción (kg/árbol)	54,7	20,1 ^{*y}	38,7 [*]	49,9	56,7	41,6	46,9	45,0
Producción relativa (%)	100	37	72	92	105	77	87	83
Nº frutos/árbol	551	198 [*]	387 [*]	565	601	545	528	489
Peso medio del fruto (g)	103	102	103	92 [*]	99	77 ^{*z}	92 [*]	94 [*]
Azúcares (°Brix)	11,3	10,6	11,0	11,4	11,0	14,2 [*]	13,1 [*]	12,5 [*]
Acidez (g l ⁻¹)	7,5	7,2	7,5	8,0	7,7	9,4 [*]	8,2 [*]	8,5 [*]

^y: el asterisco indica diferencias significativas respecto al control en base al test de Dunnett a $P < 0,05$. ^z: en 1995 casi un 25% de los frutos fueron afectados de «clareta» y, en menor proporción, aunque también existente, en el nivel del 50%-III.

da, en los tratamientos del 25%-I y 50%-I de ambos años, se recolectaron solo un 38% y un 75% del número de frutos respecto al control (Tabla 3). Esto redujo substancialmente la cosecha, que en promedio de ambos años fue de sólo el 37% y el 72% en los tratamientos 25%-I y 50%-I, respectivamente, con relación al control (Tabla 3). La merma de producción se debió exclusivamente al menor número de frutos, ya que el tamaño final de los mismos no difirió significativamente del control ($p > 0,25$) en ninguno de los tratamientos de primavera.

Otro efecto destacable de los tratamientos RDC en primavera fue la aparición de una segunda floración a mediados de verano, más intensa cuanto menor el agua aplicada, que produjo alrededor de un 10% de frutos tardíos, de nulo valor comercial.

La menor carga productiva en los tratamientos RDC de primavera representó una disminución de la competencia por los fotosintatos, y permitió un mayor crecimiento vegetativo cuando se restableció el riego normal. Como resultado, el incremento anual de STT en estos dos tratamientos fue similar al control (Tabla 4). El destino de más recursos hacia el crecimiento vegetativo se refleja en la menor relación producción/ Δ STT, que en promedio de ambos años fue de sólo el 42% y el 72% respecto a la del control en los tratamientos 25%-I y 50%-I, respectivamente. De forma similar, la EUA en estos dos tratamientos fue menor que en el control y tanto menor cuanto mayor fue la restricción de agua aplicada (Tabla 4).

Los tratamientos de primavera no afectaron ni a los parámetros físicos ni a los químicos de calidad del fru-

Tabla 4. Efecto de los tratamientos de riego en el crecimiento vegetativo e índices de eficiencia productiva y del uso de agua (EUA) de mandarinos 'Clementina de Nules' en promedio de los años 1995 y 1996

Parámetros	Tratamientos de riego							
	Control	25%-I	50%-I	25%-II	50%-II	25%-III	50%-III	50%-año
STT ^x en 1995 (cm ²)	88,6	84,7	96,4	77,5	96,0	85,8	82,6	78,3
STT en 1996 (cm ²)	102,3	96,4	110,3	88,9 ^{*y}	109,6	96,5	93,3	89,9
Crecimiento anual tronco (Δ STT) (cm ²)	12,7	11,3	12,7	10,8	12,3	9,5 [*]	10,5 [*]	10,7
Eficiencia productiva (Prod/STT) (kg cm ⁻²)	0,57	0,22 [*]	0,38 [*]	0,61	0,55	0,46	0,54	0,53
Ratio Prod./ Δ STT (kg cm ⁻²)	4,4	1,9 [*]	3,2	4,6	4,7	4,5	4,7	4,4
EUA ^z (kg m ⁻³)	3,4	1,5	2,7	3,4	3,7	3,1	3,4	4,0

^x: Sección transversal del tronco. ^y: El asterisco indica diferencias significativas respecto al control en base al test de Dunnett a $P < 0,05$. ^z: Eficiencia en el uso del agua expresada como producción/(riego + lluvia).

to (Tabla 3), aunque como ya se ha comentado, el 10% de los frutos producidos fueron de floración tardía y de nulo valor comercial.

La reducción del riego durante el periodo II (verano, fases iniciales de crecimiento del fruto) permitió ahorros relativos de agua entre el 8 y el 14%, y produjo un estrés hídrico relativamente elevado, con valores de Ψ^a mínimos de $-1,3$ MPa en 1995 y de $-1,9$ MPa en 1996 en el tratamiento 25%-II, lo que también se reflejó en una disminución de la humedad en el suelo indicada por valores de Ψ_m próximos o incluso inferiores al valor límite de medida de los tensiómetros (-100 kPa). En el tratamiento 50%-II el potencial hídrico en hoja se mantuvo durante la mayor parte del período RDC en valores similares a los del control, a pesar de que el Ψ_m rondaba los -80 kPa.

En ambos tratamientos del periodo II se observó una disminución inicial de la velocidad de crecimiento del fruto seguida de una aceleración al reiniciar el riego a dosis normal. Como resultado, el tamaño final del fruto no fue afectado significativamente ($p > 0,20$), excepto en el 25%-II en 1996, en que fue ligeramente menor que en el control.

Además, ni la producción, ni el número de frutos, ni tampoco los parámetros de calidad de los mismos (Tabla 3) fueron afectados por los niveles de restricción aplicados en este periodo II en ninguno de los años estudiados. El crecimiento vegetativo tampoco fue afectado, por lo que los valores de eficiencia productiva y la relación producción/ Δ STT y EUA (Tabla 4) fueron también similares a los del control.

Durante el periodo III (final del verano-otoño, últimas fases de crecimiento del fruto y maduración), el ahorro relativo de agua fue del 26 al 31%. A pesar de que los valores mínimos de potencial hídrico en hoja alcanzados fueron similares a los observados durante el período II (Figura 1), la producción fue significativamente reducida ($p < 0,05$) en ambos niveles durante 1995. En 1996 se observó la misma tendencia, aunque no llegó a ser significativa ($p > 0,20$). En promedio, la producción relativa respecto del control fue del 77% y del 88% en los tratamientos 25%-III y 50%-III, respectivamente (Tabla 3). La reducción de producción en este período se debió al menor tamaño del fruto ($p < 0,05$), ya que el número de frutos por árbol fue similar al control.

Los tratamientos RDC durante este período III no afectaron a los parámetros físicos de calidad del fruto (proporción de piel, pulpa y zumo), pero produjeron

un aumento significativo de sólidos solubles y acidez total, prácticamente sin alterar su cociente (índice de madurez) (Tabla 3). Otro efecto importante de estos tratamientos en la calidad del fruto fue la aparición de «clareta», especialmente en 1995 en que fueron afectados alrededor del 25% de los frutos en el tratamiento 25%-III, reduciendo de forma drástica su valor comercial.

El crecimiento vegetativo y la eficiencia productiva solo fue significativamente reducida en el mayor nivel de restricción, el cual dedicó al crecimiento del fruto una proporción similar o mayor de recursos que el control a expensas de reducir el crecimiento vegetativo. Sin embargo, la EUA en los dos tratamientos RDC fue similar a la del control (Tabla 4).

Experimentos de 1997 y 1998

En base a los resultados obtenidos en 1995 y 1996, en el ensayo de 1997 y 1998 se eliminaron los tratamientos de primavera y se amplió el abanico de tratamientos RDC durante verano y otoño, tanto en fechas como en porcentajes de restricción (Tabla 2B).

Los valores de Ψ^a observados en los tratamientos RDC de mayor restricción hídrica fueron prácticamente iguales a los medidos en los años 1995 y 1996 en los periodos II y III (Figuras 1 y 2), indicando que los niveles de estrés hídrico alcanzados fueron similares.

El RDC durante los meses de julio y julio más agosto permitió ahorros de agua entre el 6% y el 22% respecto del control sin reducir la producción en ningún nivel de restricción en ninguno de los dos años estudiados (Tabla 5). En todos estos tratamientos la velocidad de crecimiento de los frutos disminuyó poco después de aplicar la restricción, pero de nuevo la mayor velocidad de crecimiento (Figura 3), tras la liberación del estrés, permitió alcanzar tamaños finales similares a los del control, con excepción de los frutos del tratamiento 25%-J, que fueron ligeramente de menor calibre en 1997. Esto confirma que el valor límite de Ψ^a tolerable en verano, para no afectar al tamaño final del fruto, debe ser ligeramente mayor de $-1,3$ MPa, valor mínimo observado en 1995, 1996 y también en 1997, en el tratamiento de mayor restricción de agua (25%).

Al igual que en los años anteriores, ni el número de frutos, ni los parámetros de su calidad externa e interna fueron afectados por ninguno de los niveles de res-

Tabla 5. Efecto de los tratamientos de riego en la producción y calidad del fruto de mandarinos 'Clementina de Nules'. Valores medios de 1997 y 1998

Parámetros	Tratamientos de riego							
	Control	25%-J	50%-J	50%-J+A	75%-J+A	50%-A-O	75%-J-O	50%-año
Riego (m ³ ha ⁻¹)	4.520	3.980	4.240	3.540	4.010	3.530	3.650	2.080
Ahorro de agua (%)	—	12	6	22	11	22	19	54
Producción (kg/árbol)	69,3	71,3	70,0	69,3	66,6	57,1 ^{xy}	72,5	53,4 [*]
Producción relativa (%)	100	103	101	100	96	82	105	77
Nº frutos/árbol	656	771	741	735	673	730	898 [*]	624
Peso medio del fruto (g)	109	95 [*]	99	98	102	79 ^z	82 [*]	88 [*]
Azúcares (°Brix)	12,0	12,1	12,2	12,5	12,3	15,6 [*]	14,2 [*]	14,8 [*]
Acidez (g l ⁻¹)	7,5	7,8	7,4	8,2	7,9	9,8 [*]	8,6 [*]	9,8 [*]

^y: El asterisco indica diferencias significativas respecto al control en base al test de Dunnett a $P < 0,05$. ^z: En 1998 un 30% de los frutos en este tratamiento fueron afectados de «clareta» y, aunque en menor proporción, también fueron afectados en 1997.

tricción en los meses de verano durante 1997 y 1998 (Tabla 5). El crecimiento vegetativo tampoco fue alterado y por tanto los valores de eficiencia productiva y la relación producción/ Δ STT y EUA fueron también similares a los del control (Tabla 6).

De forma similar a lo observado en años anteriores, la reducción del riego hacia finales del verano (50%-A-O) provocó una disminución de la producción que en promedio fue del 17%. Dicha merma de producción se debió al menor tamaño del fruto, ya que el número de frutos por árbol fue similar al del control tanto en 1997 como en 1998. Otro efecto importante de este

tratamiento en la calidad del fruto fue la ocurrencia de «clareta», especialmente importante en 1998 en que afectó a casi un 30% de los frutos, aunque menos del 5% fueron afectados por «clareta» en 1997. Presumiblemente estas diferencias entre años se debieron en parte al diferente estrés hídrico alcanzado, bastante mayor en 1998 (-1,5 MPa) que en 1997 (-0,71 MPa). En ninguno de los restantes tratamientos de riego se detectó «clareta».

En el tratamiento 75%-J-O, el tamaño del fruto se redujo significativamente en un 25% respecto del control en el promedio de los dos años. No obstante, la producción no fue menor (Tabla 5), debido al efecto compensatorio de un mayor número de frutos por árbol ($p > 0,05$), especialmente importante en 1997, en que estos árboles tenían casi 70% más frutos que el control.

Ninguno de los tratamientos deficitarios afectó a la proporción de pulpa y zumo (la media de todos los tratamientos y años fue del 12% y 66% en peso, respectivamente). Sin embargo, la fracción de piel fue significativamente mayor en 1998 en los tratamientos 50%-A-O y 50%-año (25% de media en ambos) que en el control (22% de media).

De nuevo como en años anteriores, los tratamientos de RDC durante el final de verano-otoño y el tratamiento 50%-año produjeron frutos más pequeños que el control (Tabla 5), también con el ya mencionado aumento significativo de ácidos y azúcares, pero sin alterar su cociente (índice de madurez).

El crecimiento vegetativo (Tabla 6) no fue significativamente afectado ($p > 0,10$) por ninguno de los tratamientos RDC. La eficiencia productiva y EUA fue-

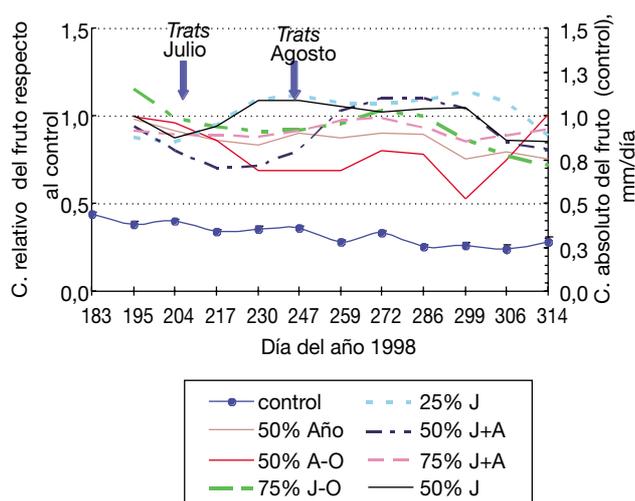


Figura 3. Crecimiento absoluto del diámetro del fruto (mm/día) en el tratamiento control y crecimiento relativo (respecto al control) en los tratamientos de RDC y 50% año. Las flechas indican el final de la restricción de riego en los tratamientos de verano.

Tabla 6. Efecto de los tratamientos de riego en el crecimiento vegetativo e índices de eficiencia productiva y del uso del agua (EUA) de mandarinos 'Clementina de Nules' en promedio de los años 1997 y 1998

Parámetros	Tratamientos de riego							
	Control	25%-J	50%-J	50%-J+A	75%-J+A	50%-A-O	75%-J-O	50%-año
STT ^x en 1997 (cm ²)	118,3	102,8	119,6	117,5	107,4	108,5	110,4	99,7 ^y
STT en 1998 (cm ²)	140,0	123,1	140,0	140,4	127,3	128,6	128,9	122,4 [*]
Crecimiento anual tronco (ΔSTT) (cm ²)	10,9	10,2	10,2	11,5	10,0	10,1	9,3	11,4
Eficiencia productiva (Prod/STT) (kg cm ⁻²)	0,53	0,63	0,54	0,54	0,57	0,48 [*]	0,61	0,49 [*]
Ratio Prod./ΔSTT (kg cm ⁻²)	6,5	7,1	6,9	6,1	6,7	5,8	7,9	4,8 ^{**y}
EUA ^z (kg m ⁻³)	3,8	4,2	4,0	4,3	3,9	3,6	4,5	4,4

^x: Sección transversal del tronco. ^y: Diferencias significativas respecto al control en base al test de Dunnett: ** P < 0,05; * P < 0,10.

^z: Eficiencia en el uso del agua expresada como producción/(riego + lluvia).

ron mayores en todos los tratamientos RDC que en el control, a excepción del 50%-A-O. Por tanto, la proporción de recursos que los árboles de estos tratamientos dedicaron al crecimiento fructificativo respecto de los dedicados al crecimiento vegetativo fue mayor que en el control.

El tratamiento 50%-año produjo una disminución de la producción respecto del control que, en promedio de los cuatro años, fue de alrededor del 20% aunque sólo llegó a ser significativa ($p < 0,05$) en 1995 y en 1998. La pérdida de producción en la mayoría de los años se debió exclusivamente al menor tamaño de fruto, pero en 1998 influyó tanto el tamaño como el menor número de frutos por árbol. Además, este tratamiento no afectó a los parámetros físicos del fruto y produjo un aumento de ácidos y azúcares en el zumo, sin alterar prácticamente el índice de madurez. En los árboles de este tratamiento se observó un aumento de EUA entre el 14% y el 27% (Tablas 4 y 6), mientras que la eficiencia productiva fue similar a la del control. El crecimiento vegetativo fue significativamente menor ($p < 0,10$) todos los años, con excepción del último. En todo caso, con el tiempo, el tamaño alcanzado por los árboles de 'Clementina de Nules' regados al 50%-año fue menor, aunque presentaron una mayor eficiencia en el uso del agua.

La reducción del riego durante los períodos de RDC produjo un aumento temporal de la concentración de sales en la zona radical que no llegó a ser perjudicial, como lo demuestra la concentración de cloruros en hoja encontrada en los árboles de los distintos tratamientos al final de 1998, menor de 0,3% (valor considerado adecuado en agrios).

Discusión

La forma más comúnmente aceptada de medir el estrés hídrico en los árboles es mediante el potencial del agua en hoja, aunque existe cierta controversia (Turner, 1981) respecto a si es mejor utilizar medidas al amanecer (Ψ^a) o al mediodía (Ψ^{md}). En este trabajo se midieron ambas, encontrándose que Ψ^a era menos variable, y más clarificador de los resultados obtenidos.

Los valores de Ψ^a medidos en el tratamiento control oscilaron durante todo el tiempo alrededor de $-0,3$ MPa, y el valor mínimo medido fue de $-0,5$ MPa, lo que indica que los árboles de este tratamiento estuvieron siempre bien regados (Green y Meyer, 1980; Kriedemann y Barrs, 1981).

En todos los años, los valores de Ψ^a observados en los tratamientos de mayor restricción hídrica (Fig. 1 y 2) fueron similares a los encontrados en diversas variedades de agrios con riego deficitario (Barbera *et al.*, 1988; Castel y Buj, 1990; Domingo *et al.*, 1996). Además, estos valores representan un estrés moderado, comparado con el Ψ^a de $-4,0$ MPa observado en esta misma parcela (Ginestar y Castel, 1996) o de $-6,6$ MPa en naranjos 'Valencia' (Fererres *et al.*, 1979), y en ambos casos los árboles recuperaron su funcionalidad al reiniciarse el riego.

La mayor caída de frutos observada en el tratamiento 50%-I, a pesar de las pequeñas diferencias en el estado hídrico de los árboles respecto al control (sólo de 0,1 a 0,2 MPa en Ψ^a), sugiere una posible limitación de Ψ^a como indicador de estrés hídrico en esta fase fenológica. Además este hecho confirma la extremadamente alta sensibilidad a la falta de agua en las fases

de floración y cuajado del fruto de 'Clementina de Nules' previamente observada en este mismo huerto (Ginestar y Castel, 1996).

El sobrecrecimiento del fruto, al reiniciar el riego a dosis normal, observado en los tratamientos RDC durante julio y agosto de todos los años coincide con lo descrito en pomelo (Cohen y Goell, 1988). Como resultado de este crecimiento compensatorio, el tamaño final del fruto no fue afectado significativamente, excepto en el 25%-II en 1996, en que fue ligeramente menor que en el control. Este hecho sugiere que el umbral de Ψ^a que no produce disminución en el tamaño final del fruto en este período del año es algo superior al valor mínimo observado en 1995 y 1997 de $-1,3$ MPa. Este valor es algo menor al recomendado para mandarinos 'Satsuma' de $-0,7$ a $-0,8$ MPa (Ashizawa *et al.*, 1979, 1981; Maotani y Machida, 1980), y para naranjos 'Valencia' de $-1,1$ MPa (Green y Meyer, 1980), con la salvedad de que en estos trabajos el déficit fue más prolongado.

La reducción de producción observada en los tratamientos RDC durante el período III se debió al menor tamaño del fruto, ya que el número de frutos por árbol fue similar al control. Este hecho se ha observado frecuentemente en diversas especies de agrios (Kriedemann y Barrs, 1981). Asimismo, los tratamientos RDC durante este período III no afectaron a los parámetros físicos de calidad del fruto (proporción de piel, pulpa y zumo), pero produjeron el frecuentemente observado aumento significativo de sólidos solubles y acidez total (Sánchez-Blanco *et al.*, 1989; Shalhevet y Levy, 1990).

El mayor número de frutos respecto al control observado en el tratamiento 75%-J-O pudiera deberse a que, como se ha documentado en otras especies de agrios (Krajewski y Rabe, 1995), periodos prolongados de déficit hídrico moderado en otoño promueven una floración más intensa en la primavera siguiente, como precisamente ocurrió en estos árboles (González-Altozano y Castel, 2000, 2003).

La tendencia al aumento de la relación producción/ Δ STT, así como la mayor eficiencia productiva en los tratamientos RDC aplicados en pleno verano constatada aquí, coincide con los resultados en frutales de hoja caduca (Ebel *et al.*, 1995), donde se observó que en los tratamientos de RDC podía producirse una traslocación de parte del carbono vegetativo hacia estructuras reproductivas. Este hecho, además, explica que en los tratamientos de otoño la eficiencia productiva no se reduzca de forma importante, por de-

dicar similar o mayor proporción de los recursos que el control a los frutos, a costa de disminuir el crecimiento vegetativo. Por otro lado, también se observa en estos tratamientos un aumento de la EUA tal como encontraron Bielorai *et al.* (1981).

Los resultados ponen de manifiesto las grandes diferencias de sensibilidad al estrés hídrico dependiendo de la fase fenológica en que éste ocurra. Así, el período más crítico y por tanto el menos aconsejable para reducir el aporte de agua de riego, fue la primavera, durante la fase de floración y cuajado, dado que pequeñas diferencias de potencial en hoja respecto del control reducen de forma importante la producción, por aumento de la caída de frutos al reanudar el riego a dosis normales. Además se origina una sobreproducción de brotes florales en la brotación de verano que da lugar a frutos tardíos carentes de valor comercial (González-Altozano y Castel, 2000, 2003). El riego deficitario a final de verano-otoño reduce el tamaño de los frutos y provoca la aparición de «clareta» en una proporción importante de los mismos. Ambos efectos disminuyen su valor comercial. En cambio, el RDC durante la fase de crecimiento inicial del fruto (pleno verano), permitió ahorros de agua entre el 6% y el 22% sin afectar a la producción, ni al tamaño de fruto, ni a la calidad del mismo, siempre y cuando no se superara un valor umbral de Ψ^a en torno a $-1,2$ MPa, pues los frutos muestran un crecimiento compensatorio posteriormente, tras el inicio del riego a dosis normal.

En el tratamiento del 50%-año la reducción de cosecha fue del 20% en el conjunto de los cuatro años con un ahorro de agua del 55%, lo que indica que los árboles han desarrollado mecanismos de adaptación a largo plazo (pues llevan regándose con esta dosis desde 1990). Esto quiere decir que se consiguen árboles más pequeños pero con mayor eficiencia productiva, respuesta similar a la encontrada en naranjos 'Valencia' en Arizona (EE. UU.) (Hilgeman, 1977). Sin embargo, en la situación actual de precios de la fruta de 'Clementina', este tratamiento solo podría ser recomendado como estrategia a largo plazo en situaciones de gran escasez de agua y costos muy elevados del riego, pues en la mayoría de los casos el valor de la merma de producción sería bastante superior al del costo del agua ahorrada.

Referencias bibliográficas

ASHIZAWA M., GOTO T., MANABE K., 1979. Studies on leaf water stress in citrus trees. I. Effects of sunlight, tem-

- perature and drought on leaf water potential of Satsuma mandarin trees. *Kagawa Univ Fac Agric Techn Bull* 30 (2), 133-144.
- ASHIZAWA M., KONDO G., CHUJO T., 1981. Effect of soil moisture on the daily change of fruit size in summer season of Satsuma mandarin. *Kagawa Univ Fac Agric Techn Bull* 32 (2), 87-94.
- BARBERA G., CARIMI F., LEONE F., 1988. Effects of different levels of water stress on yield and quality of lemon trees. *Proc Sixth Int Citrus Congress (Tel Aviv)*, pp. 717-722.
- BARLOW H.W.B., 1969. The relation of leaf area to stem cross-section. *Ann Rep East Malling Res Station for 1968*, pp. 117-119.
- BIELORAI H., DASBERG S., ERNER 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) Vol. 1*, pp. 585-589.
- CASTEL J.R., 1991. Determinación de la evapotranspiración de cítricos mediante lisimetría de pesada. *Riegos y Drenajes XXI* 56, 9-14.
- CASTEL J.R., BUJA A., 1990. Response of Salustiana oranges to high frequency deficit irrigation. *Irrig Sci* 11, 121-127.
- CHALMERS D.J., BURGE G., JERIE P.H., MITCHELL P.D., 1986. The mechanism of regulation of «Bartlett» pear fruit and vegetative growth by irrigation withholding and regulated deficit irrigation. *J Amer Soc Hort Sci* 111, 904-907.
- COHEN A., 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.
- DOMINGO R., RUIZ-SÁNCHEZ M.C., SÁNCHEZ-BLANCO M.J., TORRECILLAS A., 1996. Water relations, growth and yield of Fino lemon trees under regulated deficit irrigation. *Irrig Sci* 16, 115-123.
- EBEL R.C., PROEBSTING E.L., EVANS R.G., 1995. Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit growth to schedule irrigation. *HortScience* 30, 1229-1232.
- FERERES E., CRUZ-ROMERO G., HOFFMANN G.J., RAWLINS S.L., 1979. Recovery of orange trees following severe water stress. *J Appl Ecol* 16, 833-842.
- GINESTAR C., CASTEL J.R., 1996. Response of young clementine citrus trees to water stress during different phenological periods. *J Hort Sci* 71, 551-559.
- GONZÁLEZ-ALTOZANO P., CASTEL J.R., 2000. Regulated deficit irrigation in 'Clementina de Nules' citrus trees. II. Vegetative effects. *J Hort Sci Biotech* 75 (4), 388-392.
- GONZÁLEZ-ALTOZANO P., CASTEL J.R., 2003. Riego deficitario controlado en 'Clementina de Nules'. II. Efectos sobre el crecimiento vegetativo. *Span J Agric Res* 1 (2) 93-101.
- GONZÁLEZ-SICILIA E., 1951. Características de los frutos de algunas variedades de agrios. *Boletín INIA* 23, 135-209.
- GREEN G.C., MEYER W.S., 1980. The use of leaf water potential measurements to estimate water loss from orange trees. *Crop Production* 9, 93-96.
- HILGEMAN R. H., 1977. Response of citrus trees to water stress in Arizona. *Proceedings of the International Society of Citriculture (Orlando)*, 1, 70-74.
- KRAJEWSKI A.J., RABE E., 1995. Citrus flowering: A critical evaluation. *J Hort Sci* 70, 357-374.
- KRIEDEMANN P.E., BARRS H.D., 1981. Citrus orchards. En: *Water deficits and plant growth*, Vol. 6, (Kozłowski, T.T., Ed.). Academic Press, New York, pp. 325-417.
- LEVY Y., BIELORAI H., SHALHEVET J., 1978. Long-term effects of different irrigation regimes on grapefruit tree development and yield. *J Amer Soc Hort Sci* 103, 680-683.
- MAOTANI T., MACHIDA Y., 1980. Leaf water potential as an indicator of irrigation timing for Satsuma trees in Summer. *J Jap Soc Hort Sci* 49, 41-48.
- MITCHELL P.D., CHALMERS D.J., 1982. The effects of reduced water supply on peach tree growth and yield. *J Amer Soc Hort Sci* 107, 853-856.
- MITCHELL P.D., JERIE P.H., CHALMERS D.J., 1984. Effects of regulated water deficits on pear tree growth, flowering, fruit growth and yield. *J Amer Soc Hort Sci* 109, 604-606.
- SÁNCHEZ-BLANCO M.J., TORRECILLAS A., LEÓN A., DEL AMOR F., 1989. Growth of Verna lemons under different irrigation regimes. *Adv Hort Sci* 3, 109-111.
- SAS INSTITUTE, 1994. SAS/STAT user's guide. SAS Inst. Inc., Cary, N.C., 1848 pp.
- SHALHEVET J., LEVY Y., 1990. Citrus trees. En: *Irrigation of Agricultural Crops* (B.A. Stewart and D.R. Nielsen, Eds.). Agronomy Monograph 30, A.S.A., Madison, Wisconsin, pp. 951-986.
- TURNER N.C., 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant Soil* 58, 339-366.