

## Riego deficitario controlado en 'Clementina de Nules'. II. Efectos sobre el crecimiento vegetativo

P. González-Altozano<sup>1</sup> y J. R. Castel\*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> 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) durante 1995 y 1996 en una parcela de 'Clementina de Nules'/'Citrange' carrizo regada por goteo. El RDC se estudió a dos niveles (25% y 50% ET<sub>lis</sub>) en los tres periodos fenológicos principales: I) floración-cuajado, II) crecimiento rápido del fruto, III) crecimiento final y maduración. Asimismo, se estudió el riego deficitario permanente al 50% durante todo el año. Todos los tratamientos se compararon con un control, siempre bien regado. Se observó buena correlación entre la producción total de brotes, en las diferentes brotaciones, y la intensidad del estrés producida por los tratamientos. La correlación se debió más a los brotes florales que a los vegetativos. Resultados similares se observaron con la integral de estrés. El RDC en primavera (periodo I) redujo notablemente la elongación de los brotes de la primera brotación y aumentó la caída de frutos, provocando la disminución del número final de frutos por árbol y de la cosecha. Además, el estrés en primavera provocó mayor intensidad en la segunda brotación, originando frutos fuera de temporada sin valor comercial. Los tratamientos RDC en verano (periodo II) no afectaron prácticamente el crecimiento vegetativo ni provocaron floración extemporánea en la tercera brotación, la cual sí fue afectada por los tratamientos de otoño (periodo III), que además redujeron el crecimiento del tronco. Los resultados permiten concluir que en mandarinos el periodo menos aconsejable para reducir el aporte del riego es la primavera y el más adecuado es pleno verano.

**Palabras clave:** *Citrus clementina*, riego por goteo, elongación, floración, caída de frutos, frutos tardíos.

### Abstract

#### Regulated deficit irrigation in 'Clementina de Nules' citrus trees. II: Effects on vegetative growth

An experiment on regulated deficit irrigation (RDI) was performed from 1995 to 1997 in a drip-irrigated orchard of 'Clementina de Nules'/'Carrizo Citrange' in Moncada (Valencia) Spain. RDI was measured at two levels (25% and 50% ET<sub>lys</sub>) during the three more relevant phenological stages: I) flowering and fruit set, II) initial fruit enlargement phase, and III) final fruit growth and maturation. Furthermore, permanent irrigation deficit at 50% was evaluated throughout the year. All treatments were compared with a well irrigated control. A good correlation was recorded between total shoot emergence in different sprouting phases and the stress intensity caused by RDI treatments. This correlation was more related to floral shoots than to vegetative shoots. Similar results were observed concerning the stress integral. In the spring (period I), RDI reduced the length of shoots produced during the first sprouting phase and increased fruit dropping, causing a decrease in the final number of fruits per tree and yield. Moreover, spring stress stimulated «off-season» flowering in the second sprouting phase, thus producing fruits with no commercial value. RDI treatments in the summer (period II) did not alter vegetative growth and did not cause «off-season» flowering either in the third sprouting phase. Autumn treatments did affect the third sprouting phase, and decreased shoot growth. These results show that the summer season is the best period for reducing water irrigation in 'Clementina de Nules' mandarin trees while spring is the least adequate for applying RDI.

**Keywords:** *Citrus clementina*, drip irrigation, bloom, flowering, fruit drop, off-season fruit.

---

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

## Introducción

Los déficits hídricos conducen, directa o indirectamente, a niveles bajos de fotosíntesis y, por tanto, a la disminución de las fuentes de carbono (Syvertsen y Lloyd, 1994). En función del estado de crecimiento de la planta y de la competencia por los fotoasimilados, estos pueden ir preferentemente a unos órganos u otros, lo cual puede incidir en el crecimiento vegetativo y/o en la producción final.

El principal efecto del déficit hídrico en especies frutales, incluidos los agrios, es la disminución del crecimiento vegetativo (Hilgeman, 1977; Levy *et al.*, 1978). Afecta tanto al tamaño de los brotes como al número de hojas y su tamaño (Hsiao, 1993), siendo el área foliar el parámetro que generalmente resulta más afectado en la mayoría de las plantas (Hsiao, 1973, 1993), como ocurre en agrios (Levy *et al.*, 1978; Syvertsen, 1985; Wiegand y Swanson, 1982). Esto supone una disminución de la interceptación de la radiación por la planta y una reducción de las pérdidas de agua por transpiración (Hsiao *et al.*, 1976), lo que significa una adaptación a la insuficiencia de agua.

Los árboles de agrios regados por debajo de sus necesidades hídricas no suelen alcanzar el tamaño de los que reciben un suministro adecuado; sin embargo, la producción puede no resultar afectada en la misma proporción (Levy *et al.*, 1978). Los árboles sometidos a déficit hídrico moderado pueden ser más densos y presentar una relación número de frutos/unidad de volumen de copa más alta, característica interesante de cara a lograr una alta eficiencia en el uso del agua. Otros cambios que se producen tendentes a evitar la sequía son el enrollamiento, plegamiento y marchitamiento de las hojas. Además, los árboles que han sufrido estrés poseen hojas más gruesas y coriáceas que los que no lo padecieron (Kaufmann, 1977).

Se ha comprobado que la baja disponibilidad de agua en el suelo reduce el crecimiento de las raíces (Bevington y Castle, 1985; Bielorai, 1982; Bielorai *et al.*, 1981; Hilgeman, 1977). Generalmente, esta disminución es menor que la de la parte aérea, resultando en un aumento de la relación raíces/parte aérea. Esto asegura un mejor suministro de agua al área foliar existente y constituye por tanto una adaptación favorable para la supervivencia en condiciones de sequía (Syvertsen, 1985). La distribución en el suelo de las raíces en los árboles sometidos a déficit hídrico también cambia, distribuyéndose en zonas más profundas

como medida de adaptación para mejorar la disponibilidad de agua (Bielorai y Levy, 1971; Bielorai *et al.*, 1981; Marsh, 1973).

En diversas especies de agrios se han observado reducciones de crecimiento del tronco o ramas principales como consecuencia de la aplicación de riegos infracotados [Bielorai (1982), en pomelo; Bielorai *et al.* (1981), en naranjo; Castel (1994), en 'Clementina de Nules']. Este menor crecimiento del tronco está asociado a la reducción del tamaño total del árbol, ya que el área de la sección transversal del tronco suele estar bien correlacionada con el desarrollo de la parte aérea del árbol (Westwood y Roberts, 1970).

Para florecer, los agrios necesitan de un período de reposo. En las regiones tropicales la floración es promovida por la alternancia de períodos secos y lluviosos. En las zonas subtropicales, las promotoras son las bajas temperaturas invernales (Haas, 1949; Lovatt *et al.*, 1984). Pero el déficit hídrico también puede inducir brotaciones fuera de estación en climas subtropicales (Goell *et al.*, 1981; Domingo, 1994). La mayor parte de estas brotaciones serán florales ya que, como muchos estudios demuestran, prolongados déficits hídricos, aunque sean moderados, promueven la floración en agrios (Abbott, 1935; Southwick y Davenport, 1986, 1987; Krajewski y Raabe, 1995).

Es por tanto importante estudiar los efectos del riego en los procesos de crecimiento vegetativo, de floración y cuajado, así como su influencia en la caída de los órganos reproductivos, que puede afectar notablemente al resultado económico final de la explotación.

En este artículo se exponen los efectos del riego deficitario aplicado en diferentes estados fenológicos, sobre el crecimiento vegetativo, floración y caída de frutos de mandarinos 'Clementina de Nules' regados por goteo. Es complementario de uno anterior [González-Altozano y Castel (2003), en este número] en el que se exponen los efectos del riego deficitario controlado (RDC) sobre la producción y la calidad del fruto.

## Material y métodos

Las características de las parcelas de ensayo, los árboles utilizados, el suelo y el clima, y las relaciones hídricas se describen en González-Altozano y Castel (2003).

## Tratamientos de riego

Los tratamientos de riego deficitario se aplicaron durante 1995 y 1996 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. Asimismo, desde 1985 se viene aplicando un tratamiento de riego deficitario permanente al nivel del 50%  $ET_{lis}$  durante todo el año. Todos los tratamientos de riego se compararon con un control, que se mantuvo bien regado durante toda la temporada al 125%  $ET_{lis}$ . Otras características del sistema de riego, así como los tratamientos de riego, dosis aplicada y su duración, y el diseño experimental, se describen en González-Altozano y Castel (2003).

## Crecimiento y emisión de brotes vegetativos y florales

En condiciones mediterráneas los agrios producen de cuatro a cinco brotaciones al año. La primera (denominada A1) ocurre en primavera y produce la mayoría de las flores que darán lugar a los frutos comerciales. Normalmente en verano ocurren otras dos brotaciones mayoritariamente de tipo vegetativo (A2 y A3). Finalmente, en otoño, se produce una cuarta brotación también de brotes vegetativos (A4).

La longitud de los brotes de la primera brotación (A1) se midió semanalmente desde el 4 de abril al 5 de junio de 1996 en 20 brotes (5 en cada una de las orientaciones) por árbol en un árbol representativo por parcela elemental de cada tratamiento. La cuantificación de las brotaciones A3 y A4 se realizó en una rama representativa por árbol, de 5 árboles por parcela elemental y tratamiento. Se seleccionaron ramas situadas al este, a una altura aproximada de 1,5 m, con un mínimo de 350 yemas en las que se determinó el número de brotes vegetativos y florales producidos en 1996. En cada brotación se realizó el conteo en todos los tratamientos, salvo la brotación A3 en los tratamientos de otoño ya que no fue afectada, pues el riego no se redujo hasta después del conteo. En 1997 se realizó un experimento adicional con la intención de evaluar los efectos del déficit hídrico en la floración de A2. Para ello, se eliminó totalmente el riego, desde abril al 1 de julio de 1997 (tratamiento 0% P) en 2 filas de 6 árboles/fila, con 3 repeticiones en las que se realizó el conteo comparándolo con el de los árboles control.

## Abscisión de flores y frutos

La caída de flores y frutitos se evaluó en el año 1995 mediante mallas de  $4 \times 2,5$  (m  $\times$  m) colocadas bajo la copa de los árboles, a razón de 3 y 4 mallas por parcela elemental en los tratamientos de riego y control, respectivamente. El contenido de las mallas se recogió periódicamente y tras limpiarlo de otros materiales se pesó en fresco. Se contó el número de órganos fructíferos en alicuotas de unos 15 g de peso seco, y se calculó el número total de órganos florales por malla mediante la relación peso fresco/peso seco.

## Crecimiento vegetativo

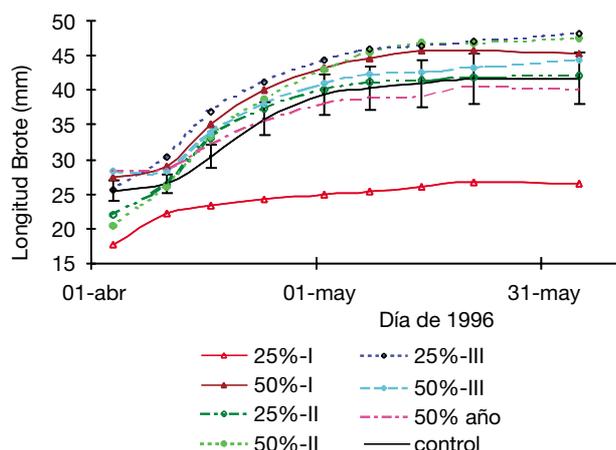
Se midió periódicamente el perímetro del tronco 5 cm por encima del injerto en 6 árboles por parcela elemental en los tratamientos RDC y 10 árboles en el control y 50%-año en 1995 y 1996.

## Análisis estadístico

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

## Resultados

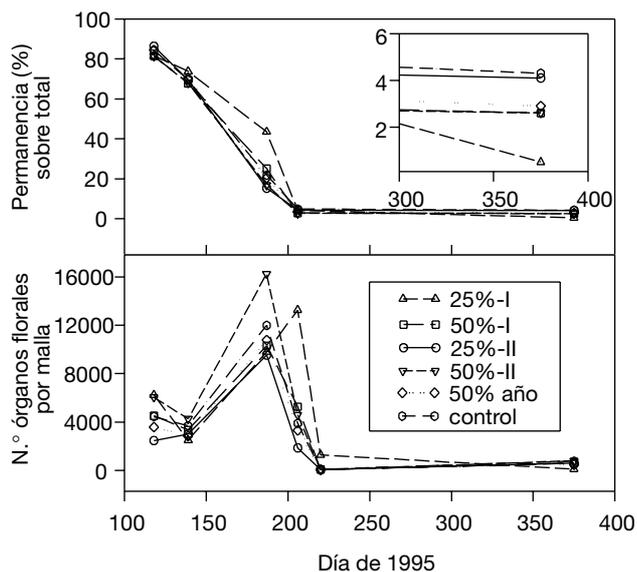
La evolución de la longitud de los brotes ( $L_b$ ) durante la brotación A1 de 1996, muestra la clara incidencia que la reducción del riego en este período produjo en el tratamiento 25%-I (Figura 1). Desde la primera medida, tan sólo tras dos semanas de reducción del riego,  $L_b$  en este tratamiento ya era sólo 70% del control ( $P < 0,05$ ). Hacia mediados de abril, cuando los brotes del resto de los tratamientos estaban en la fase de rápido crecimiento, los brotes del 25%-I prácticamente habían dejado de crecer, resultando finalmente un 64% del tamaño de los brotes del control. Ni la longitud final de los brotes ni el crecimiento relativo fueron afectados en el resto de los tratamientos. El crecimiento de los brotes cesó en todos ellos al alcanzar  $\Psi^a = -0,3$  MPa. Sin embargo, la diferencia entre el valor de potencial que produjo parada del crecimiento de los brotes y el que no lo produjo fue muy pequeña (del orden de 0,05 MPa).



**Figura 1.** Evolución de la longitud media de los brotes de la primera brotación (A1) en 1996. Cada punto es la media de 20 brotes por árbol, en tres árboles por tratamiento  $\pm$  error estándar.

Otra repercusión de la falta de agua es la deshidratación de los ápices de los brotes (partes más sensibles), que terminan por caer. Esta pérdida fue del 65% en el tratamiento 25%-I, significativamente ( $P < 0,05$ ) más acusada que en el control, en el que las pérdidas sólo fueron del 28%. La pérdida del 55% de los ápices en el tratamiento 50%-I, también fue mayor que en el control.

El tratamiento 25%-I también produjo efectos muy acusados sobre la caída de órganos florales medidos en 1995 (Figura 2), a pesar de que los valores de  $\Psi^a$



**Figura 2.** Evolución de la caída de frutos en los distintos tratamientos y porcentaje remanente respecto al total. Los datos son media de 9 a 12 árboles/tratamiento. Los coeficientes de variación oscilaron entre el 30 y 60%.

observados indicaron que sólo se alcanzó un ligero estrés ( $\Psi^a_{min} = -0,7$  MPa). Además, se observó un retraso temporal en dicha caída. Así, durante la mayor parte de la primavera la pérdida de órganos florales fue menor que en los restantes tratamientos, pero en el momento en que se volvió a regar con dosis no limitante, la caída pasó a ser mucho mayor que en aquéllos. Al final en este tratamiento sólo quedó un 29% del número de frutos por árbol respecto del control. En el tratamiento 50%-I también se produjo una mayor caída de frutos respecto del control, aunque menos acusada y sin el retraso antes mencionado.

La mayor caída de frutos ocurrida en los dos tratamientos RDC de primavera incidió negativamente en la producción final, que en promedio de ambos años se redujo un 63% (25%-I) y un 28% (50%-I) respecto del control. La merma de producción se debió exclusivamente al menor número de frutos, ya que el tamaño final no difirió significativamente ( $p > 0,25$ ) del control.

Otro efecto negativo del RDC en primavera fue el provocar, tanto en 1995 como en 1996, una intensa floración (A2) tras la reanudación del riego a dosis normal, cuya intensidad fue proporcional a la de la restricción previa de agua (Tabla 1). Lamentablemente, aquella brotación no pudo ser cuantificada. Por ello, en 1997 se realizó un experimento específico en la misma parcela, en el que se eliminó totalmente el riego (0% P), desde abril al 1 de julio de 1997. Con este fin se utilizaron 2 filas de 6 árboles/fila  $\times$  3 repeticiones regados hasta el momento como el control. Los resultados (Tabla 1) muestran que en este tratamiento (0% P), en el que se alcanzó un fuerte estrés ( $\Psi^a_{min} = -3,5$  MPa,  $\Psi^{md}_{min} < -4,0$  MPa), se produjo una intensa A2, mayoritariamente de brotes florales (69%), en cuanto se reanudó el riego a dosis normal. El número total de brotes producidos en este tratamiento fue 14 veces superior al control, dándose la mayor diferencia en el número de brotes florales. En los demás tratamientos, esta brotación (A2) fue similar a la del control al no haber sufrido reducción de riego durante este periodo.

Los tratamientos RDC durante primavera o verano (periodos I y II) produjeron diferencias notables respecto al control en la A3, como muestran los resultados de 1996 (Tabla 1). Todos los tratamientos que habían sufrido reducción del riego, tanto en primavera como en verano, produjeron mayor número de brotes vegetativos, así como florales ( $P < 0,05$ ). En los tratamientos de primavera el número de brotes vegetativos fue mayor que en los de verano, aunque las diferencias sólo fueron significativas ( $P < 0,05$ ) entre el tratamiento

**Tabla 1.** Porcentaje de brotes vegetativos, florales y totales de mandarinos 'Clementina de Nules' en las brotaciones A2, A3 y A4 en los diferentes tratamientos de riego

Brotación	Tipo de brote	Tratamiento de riego <sup>1</sup>								
		Control	0%-P	25%-I	50%-I	25%-II	50%-II	25%-III	50%-III	50%-año
A2 1997	Vegetativos	0,95	4,59*	—	—	—	—	—	—	0,55
	Florales	0,09	10,08*	—	—	—	—	—	—	0,00
	Totales	1,04	14,67*	—	—	—	—	—	—	0,55
A3 1996	Vegetativos	0,80	—	5,58*	4,08*	3,87*	3,45*	0,00	0,00	0,82
	Florales	0,08	—	0,51*	0,51*	1,54*	0,72*	0,00	0,00	0,08
	Totales	0,88	—	6,09*	4,59*	5,41*	4,17*	0,00	0,00	0,90
A4 1996	Vegetativos	0,44	—	0,27	0,38	0,00	0,40	0,89	1,54*	2,61*
	Florales	0,08	—	0,17	0,00	0,00	0,04	8,44*	1,07*	1,07*
	Totales	0,52	—	0,44	0,38	0,00	0,44	9,33*	2,61*	3,68*

<sup>1</sup> Los valores están expresados como n.º de brotes/100 yemas (%). \* Diferencias significativas respecto al control en base al test de Dunnett ( $P < 0,05$ ).

25 %-I y el resto. En cambio, el número de brotes florales fue superior en los tratamientos de verano que en los de primavera. Esto era esperable, dado que la brotación en los tratamientos de verano se inició justo tras la reanudación del riego a dosis normal, con la consiguiente inducción de la floración como ya se ha comentado. El número de brotes totales en los tratamientos de mayor reducción del riego fue 5 a 6 veces superior ( $P < 0,05$ ) que en el control.

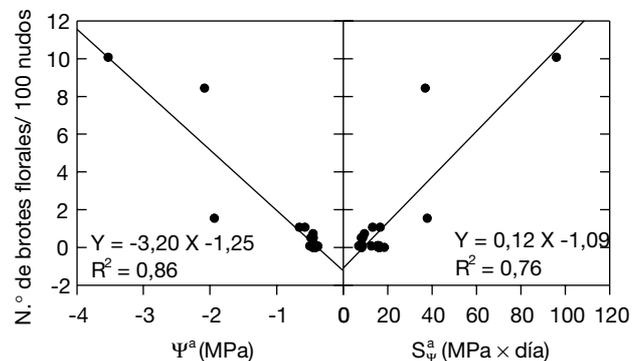
Sin embargo, en el tratamiento 50% año, donde se alcanzaron valores de  $\Psi^a_{\min} = -0,43$  MPa en primavera y  $-0,50$  MPa en verano, no hubo diferencias cuantitativas ni cualitativas respecto del control en las brotaciones A2 y A3 (Tabla 1).

La restricción de agua en primavera o en verano no incidió prácticamente sobre la brotación de otoño (A4) (Tabla 1). Sin embargo, las lluvias acaecidas durante la 1ª quincena de septiembre de 1996 ( $\approx 100$  mm), produjeron una intensa brotación en los tratamientos RDC de otoño y 50%-año, que habían alcanzado previamente cierto nivel de estrés hídrico.

El número de brotes totales fue tanto mayor cuanto mayor había sido la intensidad del estrés alcanzado justo antes de las lluvias (constatado por las mayores diferencias de potencial respecto del control). Así, el tratamiento 25%-III ( $\Psi^a_{\min} = -2,08$  MPa) produjo 18 veces más brotes que el control, de los cuales el 90% eran florales. Respecto a los tratamientos con menor estrés, el 50%-III ( $\Psi^a_{\min} = -0,58$  MPa) produjo sólo 5 veces más brotes (40% de ellos florales) que el control ( $\Psi^a_{\min} = -0,34$  MPa), y el 50%-año ( $\Psi^a_{\min} = -0,66$  MPa), 7 veces más brotes que el control (29% florales).

Con los datos de las tres brotaciones se encontró buena relación (Figura 3) entre la intensidad máxima de estrés alcanzado ( $\Psi^a_{\min}$ ) y el número de brotes totales producido ( $R^2 = 0,80$ ). La correlación fue debida más al número de brotes florales ( $R^2 = 0,86$ ) que al de vegetativos ( $R^2 = 0,22$ ). La duración del período de estrés también tuvo cierta importancia, como lo indica la alta correlación entre la integral de estrés en cada período y el número de brotes florales ( $R^2 = 0,76$ ) o totales ( $R^2 = 0,68$ ). Con el número de brotes vegetativos la correlación fue bastante menor ( $R^2 = 0,17$ ). En todos los casos la relación fue mejor con el potencial al amanecer, o con la integral de estrés al amanecer que con los correspondientes a mediodía.

Algunas de las flores producidas en las brotaciones A2 y A3 cuajaron y dieron lugar a frutos tardíos de nu-



**Figura 3.** Incidencia de la intensidad del estrés ( $\Psi^a$ ) y de la integral de estrés al amanecer ( $S^a$ ) sobre la intensidad de la floración.

**Tabla 2.** Incrementos de perímetro del tronco en la primera y en la segunda mitad del año, así como en su conjunto, en cada tratamiento

Año	Incremento de perímetro (mm)	Tratamiento de riego <sup>1</sup>							
		Control	25%-I	50%-I	25%-II	50%-II	25%-III	50%-III	50%-año
1995	1. <sup>a</sup> mitad	11,9	7,4*	10,9	12,1	12,6	11,8	10,8	10,5
	2. <sup>a</sup> mitad	12,7	14,4	13,6	9,9	11,2	7,8*	9,3*	11,8
	año	24,6	21,8	24,6	22,1	23,8	19,6*	20,1*	22,3
1996	1. <sup>a</sup> mitad	6,6	5,2	6,3	6,1	8,1	8,2	7,8	7,9
	2. <sup>a</sup> mitad	13,2	13,7	12,3	12,4	9,9	6,6*	10,6	9,9
	año	19,8	18,9	18,6	18,5	18,1	14,8*	18,4	17,8

\* Diferencias significativas respecto al control en base al test de Dunnett ( $P < 0,05$ ).

lo valor comercial, pero que compiten con los frutos normales. La proporción de frutos tardíos fue alrededor del 10% del total en los tratamientos de primavera, mientras que en los demás fue inferior al 1%.

El desarrollo vegetativo es, en general, muy sensible al déficit hídrico como ya se documentó en la introducción. Los resultados de incremento del perímetro del tronco en cada una de las dos mitades del año (feb-jul-enero) (Tabla 2) muestran que la reducción de riego en la primera mitad produjo un menor crecimiento del tronco en los tratamientos de primavera, si bien la diferencia sólo fue significativa ( $P < 0,05$ ) en el tratamiento de mayor reducción (25%-I) en la primera mitad de 1995, con un incremento de sólo el 62% respecto al control. Sin embargo, este menor crecimiento fue compensado en la segunda mitad del año, no observándose diferencias de incremento en el conjunto del año. Esta tendencia confirma el menor crecimiento de los brotes y la caída de ápices en el tratamiento 25%-I durante el período de restricción de agua (primera mitad del año) y el mayor número de brotes producido por los tratamientos de primavera tras reiniciarse el riego tanto en la brotación A2 como en la A3 (segunda mitad).

Cuando la reducción del riego se produce en la segunda mitad del año, como fue el caso de los tratamientos de otoño (período III), se observa un menor crecimiento que en el control (Tabla 2), y este fue tanto menor cuanto mayor la restricción de agua. Su crecimiento anual también resultó menor que el del control, dado que en estos tratamientos no hubo crecimiento compensatorio después con la llegada del invierno.

En los tratamientos de verano las posibles disminuciones de crecimiento producidas por el menor aporte hídrico quedaron enmascaradas, pues la medida del

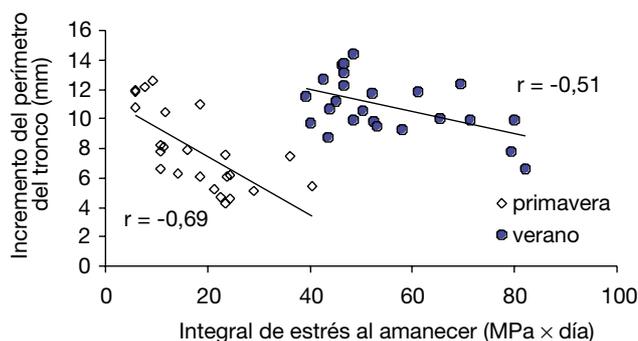
perímetro de tronco se realizó a mediados de julio, en pleno período de reducción del riego.

El incremento del perímetro del tronco estuvo negativamente correlacionado tanto con la intensidad de estrés alcanzado como con su duración, cuantificada por la integral de estrés (Figura 4). Se observó además distinto grado de sensibilidad al estrés en cada una de las mitades del año.

Las tendencias marcadas por los incrementos de perímetro de tronco indican que el crecimiento en los tratamientos RDC fue similar o inferior al control. El incremento medio de perímetro de tronco de los árboles del tratamiento control en los dos años de estudio fue de 22,2 mm.

## Discusión

Los resultados obtenidos en los experimentos en los que se cuantificó el crecimiento y la emisión de bro-



**Figura 4.** Relación entre el incremento del perímetro del tronco y la integral de estrés en dos mitades del año (febrero-julio, julio-enero). La integral de estrés se calculó a partir de determinaciones de potencial foliar en 5 hojas  $\times$  2 árboles por tratamiento en cada ocasión de medida.

tes vegetativos y florales demuestran que el crecimiento de los brotes es muy sensible al déficit hídrico y puede reflejar, incluso antes que el potencial en hoja, el inicio del estrés hídrico en la planta, de acuerdo con lo encontrado por Ginestar y Castel (1996) en esta misma parcela.

La mayor caída de órganos florales así como el retraso temporal en dicha caída observado en el tratamiento RDC de mayor restricción durante la primavera (25%-I), muestra un comportamiento similar al descrito en limoneros por Barbera y Carimi (1988), aunque los porcentajes de caída encontrados por dichos autores fueron mayores debido presumiblemente al estrés más severo alcanzado en su caso ( $\Psi^a < -2,2$  MPa). El retraso en la caída de frutos observado ha sido también descrito por Tudela y Primo-Millo (1992) en mandarinos 'Cleopatra', quienes atribuyeron la caída a la síntesis y acumulación de hormonas (principalmente ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico, ACC) en las raíces durante el estrés hídrico, teniendo lugar consecuentemente un retraso en el transporte a los brotes, que no se producía hasta la rehidratación tras el cese del estrés.

La menor incidencia y ausencia de retraso en la caída de frutos observada en el tratamiento 50%-I, podría ser atribuible a que el nivel de estrés alcanzado en este tratamiento no redujera el flujo de savia suficientemente como para impedir que el ACC fuera transportado a los brotes conforme se sintetizaba y, por tanto, la caída de frutos en este tratamiento se producía a la vez que en los árboles del control.

La floración A2 ocurrida en el tratamiento de primavera al restablecer la dosis normal de riego está en concordancia con los estudios anatómicos y morfológicos de Nir *et al.* (1972), que afirman que la diferenciación floral tiene lugar durante el período de déficit hídrico, al promover la disminución del contenido de ácido giberélico en la planta, mientras que el desarrollo a flor de la yema generativa formada requiere de la rehidratación de las plantas, bien por la ocurrencia de lluvias o, como en este caso, por la reanudación del riego.

El número máximo de brotes totales/100 nudos en los tratamientos RDC aplicados en este estudio fue de 15,0, 6,1 y 9,3 en las brotaciones A2, A3 y A4, respectivamente. Estos valores son menores que los encontrados en la brotación A1 por Guardiola *et al.* (1982) en 'Clementina' (38,8 brotes/100 nudos), y por Almeida *et al.* (1996) en 'Clementina de Nules' (entre 36 y 52 brotes/100 nudos según la orientación), pero no dejan

de tener su importancia, tanto por su cuantía como por el momento de su ocurrencia, dado que lo normal es que no haya prácticamente brotación (control).

En síntesis, los resultados obtenidos muestran que el crecimiento de los brotes de primavera (A1) en todos los tratamientos concluyó a principios de mayo, antes de la antesis y del cuajado de los frutos, que tuvo lugar en junio. Esta separación en el tiempo entre ambos procesos es considerada esencial para el éxito del RDC (Chalmers, 1989), porque permite la regulación del crecimiento vegetativo sin afectar directamente al crecimiento del fruto. Sin embargo, en agrios no es recomendable aplicar el RDC en primavera porque los brotes formados durante este periodo son de especial importancia para el cuajado y la posterior persistencia de los pequeños frutos (Erner, 1989). Por ello, la reducción del crecimiento vegetativo en los tratamientos RDC en primavera produjo una mayor caída de junio, lo que redujo de forma importante la producción. Además, al reanudarse el riego, se produjo en los tratamientos de primavera una floración extemporánea (A2) y una sobreproducción de brotes vegetativos y algunos florales en la siguiente brotación (A3), probablemente porque la gran caída de pequeños frutos que experimentan reduce la competencia por los fotosintatos y se promueve un mayor crecimiento vegetativo. Esto es especialmente relevante en el tratamiento 50%-I, cuyo incremento de volumen de copa y área sombreada fue mayor que el control, tanto en 1995 como en 1996 (datos no presentados). Los tratamientos RDC en verano provocan también floración extemporánea, pero de menor importancia que los de otoño. Puesto que floraciones intensas fuera de temporada, como las de los tratamientos RDC en primavera, pueden reducir la cosecha de la estación principal (Shalhevet y Levy, 1990), dado que las inflorescencias son fuertes sumideros (Erner y Bravdo, 1983), en principio los tratamientos de verano resultan los más apropiados para la aplicación del riego deficitario controlado.

La correlación entre la intensidad máxima de estrés alcanzado y el número de brotes florales producido, así como la encontrada entre la integral de estrés en cada período y el número de brotes florales, confirman que períodos prolongados de estrés hídrico moderado, tanto en primavera como en verano, seguidos de riego abundante o lluvias, producen en agrios una brotación predominantemente floral, y que ésta es, en general, más abundante cuanto mayor es el nivel de estrés hídrico alcanzado (Abbott, 1935; Cassin *et al.*, 1969; Nir *et al.*, 1972; Southwick y Davenport, 1986, 1987).

La disminución del crecimiento vegetativo observada en respuesta a la reducción del riego no fue tan clara como la encontrada por otros autores en distintos cultivares de agrios, presumiblemente debido a que sus tratamientos fueron a más largo plazo [Hilgeman y Sharp (1970), durante 20 años; Levy *et al.* (1978), durante 12 años].

Del conjunto de resultados expuesto se deduce que el período menos adecuado para la aplicación del RDC en 'Clementina de Nules' es la primavera, durante la floración y cuajado, dado que pequeñas diferencias de potencial en hoja respecto del control reducen de forma importante la producción, debido a un aumento de la caída de frutos en junio. Además se origina una sobreproducción de brotes florales en la brotación de verano y otoño (A3 y A4), que da lugar a frutos tardíos sin valor comercial. El riego deficitario en otoño reduce el tamaño de los frutos y provoca la aparición de «clareta» (moteados y defectos del relieve de la corteza distribuidos de forma heterogénea en la superficie del fruto) en una proporción importante de los mismos (González-Altozano y Castel, 2003). Ambos efectos disminuyen su valor comercial. En cambio el RDC durante la fase de crecimiento inicial del fruto en pleno verano, permitió ahorros de agua entre el 7% y el 14% sin afectar a la producción, ni al tamaño de fruto, ni a la calidad del mismo siempre y cuando no se sobrepasara el valor umbral de  $\Psi^a -1,3$  MPa (González-Altozano y Castel, 1999, 2003).

Los árboles del tratamiento 50%-año tuvieron un crecimiento menor que los del control, aunque no llegó a ser significativo. Sin embargo, con el tiempo, el tamaño de estos árboles sí que se redujo significativamente (aproximadamente un 53% del tamaño del control tras 6 años de restricción). A pesar del menor tamaño y de la importante restricción de agua aplicada (únicamente recibieron el 45% de la del control), sólo se produjo una ligera disminución de la producción. Estos hechos indican fenómenos de adaptación a largo plazo, dado que estos árboles llevan regándose con esta dosis desde 1990. Dicha adaptación implica un aumento de eficiencia en el uso del agua (González-Altozano y Castel, 1999, 2003), respuesta similar a la encontrada en naranjos 'Valencia' en Arizona (Hilgeman, 1977).

## Referencias bibliográficas

- ABBOTT C.E., 1935. Blossom-bud differentiation in citrus trees. *Amer J Bot* 2, 476-485.
- ALMELA V., MEDINA F., JUAN M., AGUSTÍ M., 1996. Factors affecting the duration of the bloom period of 'Clemenules' mandarin. *Proc Int Soc Citriculture (Sun City)*, Vol. 2, pp. 1048-1051.
- BARBERA G., CARIMI F., 1988. Effects of different levels of water stress on yield and quality of lemon trees. *Proc Sixth Int Citrus Cong (Tel Aviv)*, pp. 717-722.
- BEVINGTON K.B., 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 drip and sprinkler irrigated mature grapefruit grove. *Irrig Sci* 3, 89-100.
- 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.
- BIELORAI H., LEVY Y., 1971. Irrigation regimes in a semiarid area and their effects on grape fruit yield, water use and soil salinity. *Isr J Agr Res* 21, 3-12.
- 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.
- CASSIN J., BOURDEAUT J., FOGUE F., FURON V., GAILLARD J.P., LE BOURDELLES, MONTAGUT J., MOREUIL C., 1969. The influence of climate upon the blooming of citrus in tropical areas. *Proc First Int Citrus Symp*, Vol.1, pp. 315-323.
- CHALMERS D.J., 1989. A physiological examination of regulated deficit irrigation. *New Zeal J Agr Sci* 4, 44-48.
- DOMINGO R., 1994. Respuesta del limonero fino al riego deficitario controlado. Aspectos fisiológicos. Tesis Doctoral, Univ Murcia, 232 pp.
- ERNER Y., 1989. Citrus fruit set: carbohydrate, hormone and leaf mineral relationships. En: *Manipulation of fruiting*. Wright, C. J., ed. Butterworth, pp. 233-242.
- ERNER Y., BRAVDO B., 1983. The importance of inflorescence leaves in fruit setting of 'Shamouti' orange. *Acta Hort* 139, 107-112.
- GINESTAR C., CASTEL J.R., 1996. Response of young 'Clementine' citrus trees to water stress during different phenological periods. *J Hort Sci* 71 (4), 551-559.
- GOELL A., GOLOMB A., KALMAR D., MANTELL A., SHARON SH., 1981. Moisture stress – a potent factor for affecting vegetative growth and tree size in citrus. *Proc Int Soc Citriculture Cong (Tokyo)*, Vol. 2, 503-506.
- GONZÁLEZ-ALTOZANO P., CASTEL J.R., 1999. Regulated deficit irrigation in 'Clementina de Nules' citrus trees. I. Yield and fruit quality effects. *J Hort Sci Biothec* 74 (6), 706-713.
- GONZÁLEZ-ALTOZANO P., CASTEL J.R., 2003. Riego deficitario controlado en 'Clementina de Nules'. I. Efectos sobre la producción y la calidad de la fruta. *Span J Agric Res* 1 (2), 81-92.
- GUARDIOLA J.L., MONERRI C., AGUSTÍ M., 1982. The inhibitory effect of gibberellic acid on flowering in citrus. *Physiol Plant* 55, 136-142.

- HAAS A.R.C., 1949. Orange fruiting in relation to the blossom opening period. *Plant Physiol* 24, 481-493.
- HILGEMAN R.H., 1977. Response of citrus trees to water stress in Arizona. *Proc Int Soc Citriculture (Orlando)*, Vol. 1, pp. 70-74.
- HILGEMAN R.H., SHARP F.O., 1970. Response of 'Valencia' orange trees to four soil water schedules during 20 years. *J Amer Soc Hort Sci* 95, 739-745.
- HSIAO T.C., 1973. Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol* 24, 519-570.
- HSIAO T.C., 1993. Growth and productivity of crops in relation to water stress. *Acta Hort* 335, 137-148.
- HSIAO T.C., ACEVEDO E., FERERES E., HENDERSON D.W., 1976. Water stress, growth and osmotic adjustment. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. Series. B-Biological Sciences* 273, 471-500.
- KAUFMANN M.R., 1977. Citrus under minimum water conditions. *California Citrograph* 62, 277-278.
- KRAJEWSKI A.J., RABE E., 1995. Citrus flowering: a critical evaluation. *J Hort Sci* 70 (3), 357-374.
- 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.
- LOVATT C.J., STREETER S.M., MINTER T.C., O'CONNELL N.J., FLAHERTY D.L., FREEMAN N.W., GOODALL P.B., 1984. Phenology of flowering in *Citrus sinensis* [L.] Osbeck, cv. Washington navel orange. *Proc Int Soc Citriculture (Sao Paulo)*, Vol. 1, pp. 186-190.
- MARSH A.W., 1973. Irrigation. En: *The citrus industry* (W. Reuther, ed.). Univ. California, Div. Agric. Sci., Berkeley. Vol. III, pp. 230-279.
- NIR I., GOREN R., LESHAM B., 1972. Effects of water stress, gibberellic acid and 2-chloroethyltrimethylammonium chloride (CCC) on flower differentiation in 'Eureka' lemon trees. *J Amer Soc Hort Sci* 97, 774-778.
- 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*. (Stewart, B.A. and Nielsen, D.R., eds). Agronomy monograph, 30. ASA, Madison, Wisconsin, pp. 951-986.
- SOUTHWICK S.M., DAVENPORT T.L., 1986. Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in citrus. *Plant Physiol* 81, 26-29.
- SOUTHWICK S.M., DAVENPORT T.L., 1987. Modification of the water stress-induced floral response in 'Tahiti' Lime. *J Amer Soc Hort Sci* 112 (2), 231-236.
- SYVERTSEN J.P., 1985. Integration of water stress in fruit trees. *HortScience* 20, 1039-1043.
- SYVERTSEN J.P., LLOYD J.J. 1994. Citrus. En: *Handbook of environmental physiology of fruit crops*. (B. Schaffer, P. C. Andersen, eds). CRC Press Inc. Boca Raton, Florida. Vol II, pp. 65-99.
- TUDELA D., PRIMO-MILLO E., 1992. 1-Aminocyclopropane-1-carboxylic acid transported from roots to shoots promotes leaf abscission in Cleopatra Mandarin (*Citrus reshni* Hort. ex Tan.) seedlings rehydrated after water stress. *Plant Physiol* 100, 131-137.
- WESTWOOD M.N., ROBERTS A.N., 1970. The relationship between cross-sectional area and weight of apple trees. *J Amer Soc Hort Sci* 95, 28-30.
- WIEGAND C.L., SWANSON W.A., 1982. Citrus response to irrigation. III. Tree trunk and canopy growth. *J. Rio Grande Valley Hort Soc* 35, 97-105.