

Riego deficitario en goteo superficial y subterráneo

Resultados de un estudio en el que también se vio el comportamiento de los árboles aportando distintas dosis de nitrógeno

El presente estudio evalúa el efecto de tres dosis de agua, dos dosis de nitrógeno y dos sistemas de riego a goteo (superficial y subterráneo) sobre el estado nutritivo del arbolado, el crecimiento estacional del fruto y la producción y calidad de éste. En los distintos ensayos, el riego por goteo enterrado, en relación al superficial, aumentó el contenido foliar del nitrógeno, el crecimiento estacional del fruto y la producción cuando se aplicaron dosis bajas de agua.

C. Montaña, M. Carot, A. Quiñones, B. Martínez-Alcántara, E. Primo-Millo y F. Legaz.

Departamento de Citricultura y otros Frutales. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Moncada (Valencia).

Esta zona se caracteriza por una precipitación escasa e irregular, por ello se necesitan aportes complementarios de agua de riego para suplir las necesidades hídricas de las plantas adultas de cítricos, los cuales varían entre 400 y 600 mm por año. Tradicionalmente, en la mayoría de las plantaciones se han aportado cantidades excesivas de agua y de fertilizantes nitrogenados, lo que ha ocasionado un flujo importante de nitrato en el agua de drenaje y la contamina-

ción de los acuíferos. Junto a estos problemas, debemos considerar la escasez de recursos hídricos y el elevado coste del agua de riego. Todo ello ha obligado a invertir grandes esfuerzos en desarrollar y perfeccionar los sistemas de riego con la finalidad de mejorar la gestión del uso del agua y poder aplicar dotaciones hídricas inferiores a las que los árboles requieren para su máximo crecimiento sin alterar apenas la producción.

En las dos últimas décadas se ha impuesto el riego localizado a goteo en la mayoría de los cultivos. En la actualidad, se apuesta por el riego a goteo subterráneo como alternativa para reducir aún más el consumo de agua. Este sistema se define como «la aplicación de agua por debajo del suelo a través de tuberías enterradas y/o emisores que generalmente descargan caudales de agua en el mismo rango que el riego a goteo superficial» (ASAE, 1992). Se encuentra en fase de expansión por las múltiples ventajas que ofrece frente al riego a goteo superficial: aumento de la eficiencia del riego, mayor volumen de suelo húmedo disponible, mejor asimilación de nutrientes, disminución de la presencia de malas hierbas, facilidad en las labores del suelo y mayor duración de las instalaciones.

Material y métodos

El ensayo se desarrolló durante el año 2003 en una parcela comercial situada en Puzol (Valencia) de la variedad Clementina de Nules (*Citrus clementina*, Hort ex Tan) injertada sobre citrange Carrizo (*Citrus sinensis*, Obs X *Poncirus trifoliata*, Raf). Los árboles se plantaron en 1995 con un marco de plantación de 3,5 x 4,8 m (595 árboles ha⁻¹); al inicio del estudio presentaron un diámetro de copa de 2,7 m. El estado nutritivo del arbolado era óptimo en macro y micronutrientes de acuerdo con las normas establecidas por Legaz et al. (1995). El agua de riego presentaba una conductividad eléctrica de 2,8 mS/cm, un contenido medio en nitrato de 310±31 mg l⁻¹ y altas concentraciones de calcio y magnesio, 206 y 94 mg l⁻¹, respectivamente. El suelo era de textura franco arcillosa, bajo contenido en materia orgánica y niveles óptimos en fósforo y potasio asimilables.

En el **cuadro I** se presentan las características de los doce tratamientos originados por la interacción de las variables: sistemas de riego, dosis de agua y dosis de nitrógeno. Cada tratamiento se compuso de tres bloques de quince o dieciocho árboles distribuidos al azar en el área experimental.

El riego se efectuó con un sistema a goteo superficial (RG) y otro subterráneo (RGS) a 30 cm de profundidad. Se colocaron dos líneas porta-goteros por fila a una distancia de 100 cm del tronco. Cada árbol dispuso de ocho emisores autocompensantes con un caudal de 4 l h⁻¹, situados a 88 cm entre ellos. Las dosis de agua cubrieron el 100, 85 y 70% de las necesidades hídricas del cultivo (ETc). El volumen de agua suministrado se cal-

CUADRO I. COMPONENTES DE LOS TRATAMIENTOS

Tratamientos	Sistema de riego	Dosis agua	Dosis N (g/árbol año)	Árboles por tratamiento
Tratamiento 1	Superficial	100% ETc	350	54
Tratamiento 2	Subterráneo	100% ETc	350	51 ²
Tratamiento 3	Superficial	85% ETc	350	51
Tratamiento 4	Subterráneo	85% ETc	350	54
Tratamiento 5	Superficial	70% ETc	350	54
Tratamiento 6	Subterráneo	70% ETc	350	51
Tratamiento 7	Superficial	100% ETc	550	51
Tratamiento 8	Subterráneo	100% ETc	550	54
Tratamiento 9	Superficial	85% ETc	550	54
Tratamiento 10	Subterráneo	85% ETc	550	51
Tratamiento 11	Superficial	70% ETc	550	51
Tratamiento 12	Subterráneo	70% ETc	550	54

²: este tratamiento consta de dos bloques de dieciocho árboles y uno de quince.

culó semanalmente de acuerdo con la expresión $ETc = ETo \times Kc$ (Aboukhaled et al., 1982). La ETo se determinó según Penman-Monteith (Allen et al., 1998) con los datos semanales de la estación agroclimática del IVIA. El coeficiente de cultivo medio (Kc) se calculó de acuerdo a la fórmula descrita por Castel (2003).

La ETc se suministró con la precipitación (P) y el riego (R). La lluvia se registró semanalmente con el pluviómetro instalado en la parcela experimental y los aportes de ésta se calcularon según la expresión: P (l/planta) = $Pe \times SAS \times F \times 0,001$. Siendo: Pe : precipitación efectiva (lluvias ≤ 3 y ≥ 50 mm); SAS : área sombreada de la copa (6,8 m²); 0,001: transformación de l en m³; F : 1,25 (superficie de la copa incrementada en un 25%). Con la pluviometría se aportaron 1.632 m³ ha⁻¹ año⁻¹.

El agua de riego correspondiente a cada semana se programó por volumen y se aplicó con una frecuencia máxima de cuatro veces por semana. Mediante el riego se suministraron 3.449, 2.755 y 2.016 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para las dosis 100, 85 y 70% de la ETc , respectivamente.

Para el cálculo de las dosis de abonado y su aplicación mensual se siguieron los criterios establecidos por Legaz y Primo-Millo (2000) en cítricos con RG. Según esta información y el diámetro de copa citado, les correspondió una dosis de 350, 100 y 200 g árbol⁻¹ año⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. La dosis de 350 g de N se consideró como D1 y ésta incrementada en 200 g se estableció como D2. El nitrógeno aportado por el agua supuso, aproximadamente, el 64 y 40% de ambas dosis, el resto se suministró como nitrato amónico y nitrato potásico. El fósforo se aplicó en forma de ácido fosfórico y el potasio como nitrato potásico.

Para conocer la evolución estacional de la concentración foliar de N se tomaron, a intervalos mensuales, hojas de ramas terminales de la brotación-floración de primavera. El N total se determinó mediante el método semi-micro de Kjeldahl descrito por Bremner (1965). El diámetro ecuatorial del fruto se midió con un pie de rey y con frecuencia bisemanal. Para ello, finalizado el período de cuajado (final de junio), se seleccionaron dos árboles por bloque, situados en la fila central y de cada uno se etiquetaron diez frutos. En el estado de madurez del fruto se tomó una muestra representativa de veinticinco frutos por cada bloque y se evaluaron sus características de calidad de acuerdo con los métodos descritos por González-Sicilia (1968). En el momento de la recolección se controló la producción.

El estudio estadístico se realizó mediante el análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias significativas en las medias fueron determinadas a través del test LSD-Fisher ($p \leq 0,05$).

Resultados y discusión

Cambios estacionales de la concentración foliar de N

La concentración foliar de N mantuvo la típica curva estacional descrita por Legaz et al., (1983). A finales de mayo, todos los tratamientos mostraron un bajo nivel de N debido a la competencia por los nutrientes entre el elevado número de ovarios en desarrollo (figura 1); hasta julio se observó un aumento no-



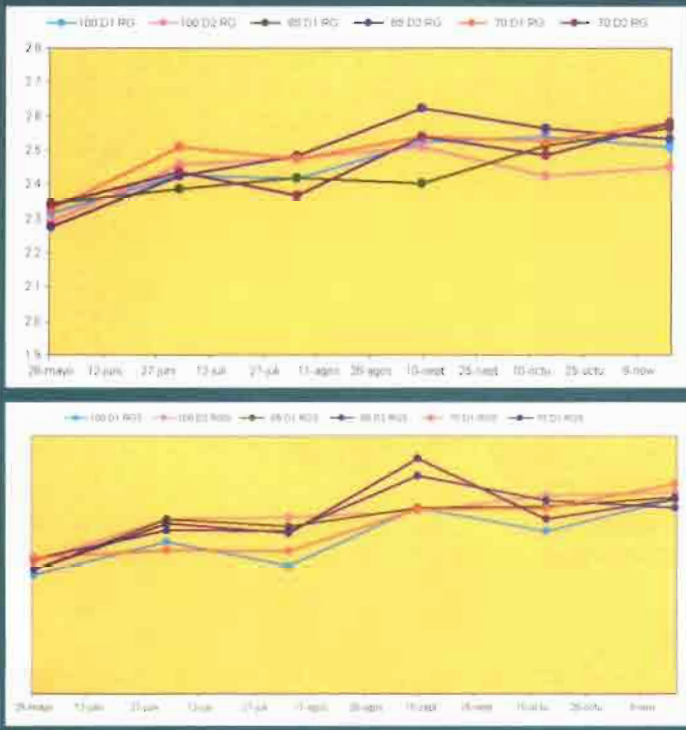
Arriba, un clementino del ensayo con riego subterráneo enterrado a 30 cm de profundidad. Abajo, clementino con riego superficial mediante 2 líneas de goteo y un caudal de 32 l/h por árbol.

table, como consecuencia de la mayor absorción de N por las raíces de los cítricos y por la menor competencia debido a la caída de frutos (Legaz y Primo-Millo, 1983; Martínez et al., 2002). Desde este momento hasta noviembre (final del ciclo vegetativo), la concentración foliar de N se mantuvo estable y dentro del rango considerado como óptimo según las normas descritas por Legaz y Primo-Millo (1988).

El análisis estadístico indicó que con el RGS se alcanzaron niveles de N significativamente mayores ($p \leq 0,05$) que con el RG, con independencia de las dosis de agua y de N. Al comparar la dosis de riego, se observó que, a partir de septiembre, la concentración de N foliar con la dosis de 70% ETc fue significativamente superior ($p \leq 0,05$) que con la dosis máxima. Posiblemente, el mayor volumen de agua aplicado con la dosis de 100% ETc

FIGURA 1.

Efecto de los tratamientos sobre los cambios estacionales del contenido foliar de N. Cada valor es la media de tres repeticiones.



y los 80 mm caídos redujeron la disponibilidad del ion nitrato en la zona radical. El valor foliar de N fue significativamente inferior ($p \leq 0,05$) con D1 que con D2 durante los meses de verano, con independencia de sistema de riego y dosis de agua. Según Legaz y Primo-Millo (1983) en esta época tiene lugar la máxima absorción de N en cítricos, y además, siguiendo la curva de aplicación estacional de N de Legaz y Primo-Millo (2000), con D2 se aplicaron 110 g más de N que con D1.

Crecimiento estacional del fruto

Bain (1958) describió que el desarrollo del fruto de los cítricos sigue una curva sigmoideal desde la antesis (apertura de las anteras) hasta su maduración, caracterizada por tres fases muy diferenciadas. La fase I abarca desde el inicio de la floración hasta el final de la caída fisiológica de los frutos (final junio) y se caracteriza por un rápido crecimiento provocado por la división celular. El estado II comprende desde el final de la caída fisiológica del fruto hasta poco antes de su cambio de color. La fase III se caracteriza por una reducida tasa de crecimiento mientras el fruto se mantiene en el árbol y comprende todos los cambios asociados a su maduración.

Todos los tratamientos mostraron la curva típica de crecimiento de la fase II (figura 2); un desarrollo creciente y continuo desde principio de julio hasta mitad de octubre. La misma pauta, pero menos acusada, se observó hasta mitad de noviembre (inicio de la fase III).

Los árboles con RGS mostraron frutos con un crecimiento superior respecto a los frutos de los árboles con RG durante ambas fases; siendo significativamente superior ($p \leq 0,01$) durante el mes de agosto (período de máximo engorde del fruto) y final de octubre y noviembre ($p \leq 0,01$), con independencia de las do-

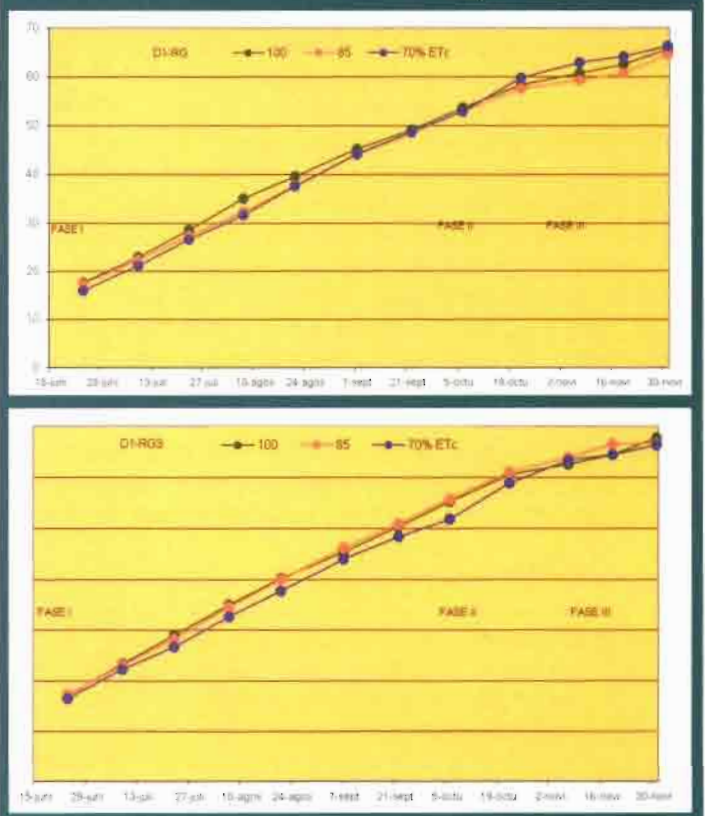
sis de agua y de N. Con respecto a las dosis de riego, los frutos de los árboles regados con el 70% ETC presentaron un crecimiento significativamente inferior ($p \leq 0,05$) que los tratados con las dosis superiores (85 y 100% ETC) durante los meses de máxima demanda hídrica (julio y agosto). En esta época, los árboles fertilizados con D2 mostraron frutos con diámetros significativamente superiores ($p \leq 0,05$) a los frutos de los árboles tratados con D1. Las interacciones sistema de riego-dosis de agua, sistema de riego-dosis de N y dosis de agua-dosis de N no afectaron de forma significativa al diámetro del fruto en ninguna de las fases del crecimiento estudiadas.

La velocidad de crecimiento diaria del fruto se obtuvo a partir del incremento de tamaño en un intervalo de tiempo, dividido por el número de días de dicho intervalo. Desde el inicio de la fase II hasta finales de agosto las dosis de 100 y 85% ETC mantuvieron una tasa de crecimiento muy similar (entorno a $0,40 \text{ mm día}^{-1}$). Sin embargo, la velocidad de crecimiento de los frutos de los árboles regados con la dosis mínima (70% ETC) decreció significativamente ($p \leq 0,05$) del 9 al 23 de julio. Posiblemente, la cantidad de agua aplicada no fue suficiente para mantener el elevado ritmo de crecimiento que se precisa en esta época. Posteriormente, aumentó su velocidad alcanzando a la del resto de dosis como consecuencia de lluvias caídas durante este período. Desde final de agosto



FIGURA 2.

Influencia de las dosis de agua (100, 85 y 70% ETC), el sistema de riego (RG y RGS) y la dosis de N (D1: $350 \text{ g N árbol}^{-1} \text{ año}^{-1}$) sobre el crecimiento estacional del fruto. Cada valor es la media de tres repeticiones.





El RGS mostró mayor producción que el RG cuando se aplicaron dosis bajas de agua.

hasta final de septiembre, la tasa de crecimiento disminuyó de forma apreciable para las tres dosis. Desde el 22 de septiembre hasta el 22 de octubre, la velocidad se mantuvo constante para las dosis superiores, en cambio se observó un crecimiento significativo ($p \leq 0,05$) para la dosis mínima, como respuesta a los 36 mm caídos el día 14. A finales de octubre, inicio de la fase III, la tasa de crecimiento disminuyó drásticamente.

Sánchez-Blanco et al. (1989), Castel y Buj (1990) y García Petillo (1995) encontraron una disminución en el crecimiento del fruto y en el tamaño final alcanzado cuando aplicaron riego deficitario fijo (con restricción de la dotación de riego durante todo el ciclo vegetativo). Por otro lado, González-Altozano y Castel (1999) encontraron una reducción en la tasa de crecimiento al provocar un estrés moderado en verano en Clementina de Nules. Posteriormente, los frutos aceleraron su velocidad al suministrar de nuevo la dosis adecuada, de forma que no se alteró su tamaño final. García Petillo (2002) observó este comportamiento al reducir la dosis de riego al final de la caída fisiológica del fruto y aplicar posteriormente el 100% ETc en naranjos Valencia. En el presente trabajo se observó una respuesta similar durante el período del 9 a 23 de julio del año 2003. La tasa de crecimiento disminuyó bajo condiciones de déficit hídrico. Una vez el arbolado había restablecido su estado hídrico por riego, el fruto recuperó la velocidad que habría alcanzado de no haber sufrido tal déficit. Al final de la fase II se registró la misma pauta; la pluviometría caída durante esta época aceleró el crecimiento de los frutos con mayor restricción de agua, lo que ocasionó que el tamaño final fuese similar para las tres dosis de riego.

Influencia de los tratamientos sobre la producción y calidad del fruto

El peso y número de frutos determinan el valor de la producción total. Respecto al peso de los frutos, el análisis estadísti-



Plantmaster™ de Cítricos



Yara lleva trabajando en el mercado de fertilizantes 100 años y lo celebramos con la publicación de nuestro Plantmaster™ de Cítricos. Es el resultado de 100 años de dedicación y ensayos sobre nuestros cultivos.

Para mayor información contactar con Yara Iberian: 91 426 35 00

CUADRO II. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS SOBRE LA PRODUCCIÓN, LA EFICIENCIA DEL USO DEL AGUA Y LA CALIDAD DEL FRUTO EN CLEMENTINA DE NULES

Parámetro ^Z	Tratamientos / SignificaciónX																
	100% RG		100% RGS		85% RG		85% RGS		70% RG		70% RGS		SR	DA	DN	70-85	85-100
D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2						
Producción total ^Y (kg/árbol)	47,8	51,7	39,7	44,4	34,8	35,2	36,7	44,4	9,6	12,7	18,1	12,2	NS	***	N.S	***	***
EUA (kg fruta/m ³)	8,2	8,9	6,9	7,7	7,5	7,6	9,6	7,9	2,8	3,7	5,3	3,6	NS	***	NS	***	NS
Peso fruto (g)	118,8	121,4	128,3	120,4	113,3	122,2	122,0	128,7	123,8	116,4	121,8	117,0	NS	NS	NS	NS	NS
Número de frutos	150	426	309	369	261	288	364	384	78	109	149	104	N.S	***	NS	***	**
Espesor de corteza (mm)	3,0	3,2	3,3	3,2	3,1	3,2	3,3	3,7	3,3	3,2	3,2	3,4	NS	NS	NS	NS	NS
Corteza + pulpa (%peso)	56,1	51,8	59,4	59,4	54,0	56,8	60,3	56,4	62,0	58,0	59,4	59,4	NS	**	NS	NS	NS
Zumo (%peso)	43,9	48,3	44,3	44,7	45,0	43,2	39,7	43,6	38,0	41,1	40,6	40,6	NS	**	NS	NS	NS
Sólidos solubles (%)	13,7	14,0	13,6	13,8	14,5	14,0	14,3	13,3	14,8	14,7	14,7	14,7	NS	***	NS	***	N.S
Acidez total (%peso)	0,81	0,83	0,79	0,81	0,86	0,83	0,83	0,83	0,92	0,93	0,90	0,95	NS	***	NS	**	NS
Índice de madurez	17,0	16,9	17,2	17,0	17,0	16,9	17,4	16,1	16,1	15,8	16,4	15,6	NS	NS	NS	NS	NS
Índice de color	18,6	17,3	18,7	18,2	17,0	17,6	17,8	18,3	17,4	16,7	17,8	17,2	NS	NS	NS	NS	NS

Z: cada valor es la media de 3 repeticiones.

Y: recolección el 29 de diciembre de 2003.

X: Diferencias estadística entre tratamientos debidas al sistema de riego (SR), dosis de agua (DA), dosis de nitrógeno (DN) y contrastes entre estas variables según el test LSD-Fisher

*: significativas para p≤0,05. **: significativas para p≤0,01. ***: significativas para p≤0,001. NS: no significativas.

EUA: Eficiencia del uso del agua aplicada.

co (cuadro II) reflejó que el sistema de riego, las dosis de agua y las dosis de N no influyeron de forma significativa sobre este parámetro. Castel (1994) y Ali y Lovatt (1996) observaron la misma respuesta en cítricos. Mientras que Castel y Buj (1990), Eliades (1994) y Montaña et al. (2002) encontraron que al reducir al menos un 20% la Etc, el peso final del fruto disminuyó de forma significativa.

El sistema de riego y la dosis de N no afectaron de forma significativa al número de frutos recolectados, que equivale a los que han superado la caída fisiológica. Sin embargo, el número de frutos aumentó de forma significativa (p≤0,001) conforme se aplicaron dosis crecientes, independientemente del sistema de riego y de las dosis de N. El mismo comportamiento ha sido descrito por Wiegand y Swanson (1982) y Castel y Buj (1993).

La producción total mostró idéntica respuesta a la descrita anteriormente, ya que las variables aplicadas no afectaron al peso del fruto. Castel y Buj (1990) observaron una disminución significativa en la producción cuando aplicaron un 60 y 80% Etc; el peso del fruto disminuyó significativamente a menores aportes de agua mientras que el número no se vio afectado. Cabría destacar que con el 70 y 85% de la Etc en RGS la producción fue un 36% y un 16% superior, respectivamente, a la obtenida con el RG.

Los tratamientos aplicados (cuadro II) no afectaron significativamente al espesor de la corteza. La dosis de agua afectó de forma significativa (p≤0,01) a los porcentajes relativos de corteza más pulpa y zumo, independientemente del sistema de riego y la dosis de N. Los porcentajes de corteza más pulpa fueron significativamente mayores, a menores volúmenes de agua y, obviamente, el porcentaje de zumo mostró una respuesta opuesta. Sin embargo, Cruse et al. (1982) en pomelo, Castel y Buj (1990) en naranjo Salustiano y Rabe y Peng (1998) en mandarina Satsuma no observaron diferencias significativas en estos parámetros cuando aplicaron dosis diferenciales de riego.

El sistema de riego y las dosis de N no afectaron significativamente al total de sólidos solubles, a la acidez total y al índice de madurez. Al aplicar un 70% Etc, los sólidos solubles y la aci-

dez total aumentaron significativamente con respecto al 85% Etc. El índice de madurez mantuvo una tendencia opuesta, como consecuencia de que la acidez decreció en mayor proporción que los azúcares. Otros investigadores (Cruse et al., 1982; Koo y Smajstrla, 1985; Castel y Buj, 1990; Eliades, 1994; Rabe y Peng, 1998) también describieron una respuesta similar. En cambio, Castel y Ginestar (1998) detectaron un aumento no significativo en el contenido de acidez para dosis decrecientes de agua en riego a goteo en Clementinos de Nules.

El sistema de riego y las dosis de agua y de N no afectaron de forma significativa al índice de color del fruto, aunque se produjeron índices más elevados con el RGS.

Como se ha indicado anteriormente, las dosis de N no afectaron de forma significativa a la producción ni a los parámetros de calidad de fruto, posiblemente debido a que la concentración foliar de N se mantuvo siempre en el rango óptimo según Legaz y Primo-Millo (1988). Castel y Ginestar (1996) observaron la misma respuesta al aplicar dosis diferenciales de N (120 y 210 kg·ha⁻¹·año⁻¹) en Clementina de Nules.

Conclusiones

- 1) El RGS aumentó el contenido foliar de N respecto al RG, con independencia de las dosis de riego y del N aportado.
- 2) El RGS incrementó el crecimiento estacional del fruto respecto al RG para cualquier dosis de agua y de N.
- 3) El RGS mostró mayor producción que el RG cuando se aplicaron dosis bajas de agua (85 y 70% Etc).
- 4) Con la dosis superior de N no se detectó una mejora en los parámetros de producción y calidad del fruto. ■

Agradecimientos

Este estudio ha sido financiado por esta empresa Irrimón SA y con el proyecto INIA RTA01-116. Queremos expresar nuestro agradecimiento a Eduardo Casanova que amablemente nos dejó la parcela experimental y a J.B. Alberola, J. Giner, M.C. Prieto A. y A. Boix por su apoyo técnico. Así como a E. Carbonell y J. Pérez por su ejecución y asesoramiento en el análisis estadístico.