

ENSAYOS EN RIEGO SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEO PARA ESTIMAR LA REDUCCIÓN DE DOSIS EN CADA SISTEMA

Reducción del aporte hídrico a los cítricos mediante riego deficitario y considerando la pluviometría

CHI BACAB, U^{2.}, A^{1.} Quiñones, B^{1.} Martínez-Alcántara, C^{1.} Montaña y F^{1.} Legaz*

¹ Centro de Citricultura y Producción Vegetal. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). *e-mail: flegaz@ivia.es.

² Becario de la Fundación Pablo García. Gobierno del Estado de Campeche (México).

El presente estudio pretende evaluar el efecto de tres dosis de agua de riego, dos coeficientes de aprovechamiento de la precipitación efectiva y dos sistemas de riego a goteo (superficial y subterráneo) sobre la reducción del aporte hídrico del agua de riego, concentración foliar de nutrientes, crecimiento estacional del fruto, producción y calidad del fruto en una parcela comercial de cítricos.

El cultivo de los cítricos constituye uno de los principales sectores frutícolas a escala mundial. España se encuentra entre los cinco primeros países productores del mundo y en la actualidad, se cultivan unas 300.000 ha. Un 62% de esta superficie se encuentra en la Comunidad Valenciana, siendo la principal área de producción y comercialización de cítricos de la zona mediterránea. En ésta, la precipitación es escasa e irregular, por ello se precisa del agua de riego para suplir las necesidades hídricas de los cítricos que varían entre 400 y 600 mm por año. Tradicionalmente, se venían aportando cantidades excesivas de agua y de fertilizantes nitrogenados, lo que ha ocasionado un flujo importante de nitrato en el agua de drenaje y la contaminación de los acuíferos.

Para mejorar la eficiencia de los sistemas de riego tradicionales, se viene imponiendo de forma intensiva el riego localizado por goteo (RG) en la mayoría de los cultivos en las dos últimas décadas. Otra alternativa para reducir el consumo de agua es el riego deficitario controlado (RDC). Dado que el déficit hídrico ocasionado con el RDC de alta frecuencia puede afectar al cultivo, con mayor o menor intensidad en función de su fenología, se deben reducir los aportes hídricos en aquellos períodos críticos en los que se afecte lo menos posible a la producción y calidad del fruto; mientras que en el resto del ciclo de cultivo se deben cubrir plenamente sus necesidades. En general, el déficit hídrico aplicado en las últimas fases de crecimiento de fruto tiende a reducir



El ensayo se desarrolló durante el año 2006 en una parcela comercial, situada en Puzol (Valencia), de la variedad Clementina de Nules a un marco de 3,5 x 4,8 m.

el tamaño final de éste y retrasar la época de recolección.

Últimamente se viene apostando por el riego a goteo subterráneo (RGS) como alternativa para reducir, aún más, el consumo de agua. Éste se define como la aplicación de agua por debajo de la superficie del suelo, a través de tuberías subterráneas y/o emisores que generalmente descargan caudales de agua en el mismo rango que el riego por goteo superficial (ASAE, 1992). El RGS se encuentra en fase de expansión clara por las múltiples ventajas que ofrece frente al RG:

- Reducción de la evapotranspiración del cultivo.
- Aumento de la eficiencia del riego.
- Mayor volumen de suelo húmedo.
- Mejor asimilación de nutrientes.
- Disminución de la presencia de malas hierbas.

- Facilita las labores del suelo.
- Mayor duración de las instalaciones.

Con el RGS se han realizado algunos trabajos en plantas hortícolas; sin embargo, se tiene escasa información con esta modalidad de riego en frutales.

El presente estudio pretende evaluar el efecto del riego deficitario controlado, la precipitación efectiva y dos sistemas de riego a goteo (superficial y subterráneo) sobre la reducción del aporte hídrico del agua de riego, producción y calidad del fruto en una parcela comercial de cítricos.

Material y métodos

Condiciones experimentales

El ensayo se desarrolló durante el año 2006 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 a un marco de 3,5 x 4,8 m (595 árboles ha⁻¹). Al principio del estudio el diámetro medio de la copa alcanzó un valor de 3,25 m. El agua de riego presentaba una conductividad eléctrica de 2,8 mS/cm, un contenido medio en nitrato de 272±10 mg l⁻¹ y altas concentraciones de calcio y magnesio, 212 y 100 mg l⁻¹, respectivamente. El suelo era de textura franco arcillosa, bajo contenido en materia orgánica y niveles óptimos en fósforo y potasio asimilables.

El riego se efectuó con un sistema de riego a goteo superficial (RG) y otro subterráneo (RGS) situado a 30 cm de profundidad. Se colocaron dos líneas portagoteros por cada fila de árboles a una distancia de 100 cm del tronco. Cada árbol dispuso de 8 emisores autocompensantes con un caudal de 4 l hora⁻¹, situados a 88 cm entre ellos. En el **cuadro I** se presentan los doce tratamientos originados por la interacción de los factores: sistemas de riego, coeficientes de Etc y de Pe.

Para el cálculo de las dosis de abonado y su distribución estacional se siguieron los criterios establecidos por Legaz y Primo-Millo (2000) en cítricos con RG. De acuerdo a esta

información y al diámetro de copa citado, a cada árbol le correspondió una dosis de 400, 98 y 235 g árbol⁻¹ año⁻¹ de N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente. El nitrógeno aportado por el agua de riego supuso el 84±2% de la dosis total de N, el resto se suministró como nitrato potásico y el fósforo se aplicó en forma de ácido fosfórico.

La Etc se calculó de acuerdo con la expresión $Etc = ETo \times Kc_{medio}$ (Aboukhaled et al., 1982) que según los valores de la ETo de la estación agroclimática del IVIA y el $Kc_{mensual}$ de la plantación supuso 5.792 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para los tratamientos 1, 2, 7 y 8 y de 4.731 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para el resto de tratamientos (**cuadro I**).

El coeficiente de cultivo medio (Kc_{medio}), correspondiente a nuestras condiciones experimentales, se calculó en función del porcentaje de área sombreada ($P_{AS}=49,4\%$) antes del inicio del ciclo vegetativo (febrero), de acuerdo a la fórmula descrita por Castel (1991): $Kc_{medio} = 0,021 + (0,005 \times P_{AS}) = 0,521$. Este coeficiente varía a lo largo del ciclo vegetativo, puesto que se modifica la superficie foliar y la superfi-

Cuadro I.

Tratamientos durante el ciclo vegetativo 2006.

Tratamientos	Sistema de riego	Coefficientes de Etc (%)	Coefficientes de Pe (%AC)	Árboles por tratamiento
1	Superficial	100 ^Z	50 ^W	54 ^V
2	Subterráneo	100	50	51 ^U
3	Superficial	100/70 ^Y	50	51
4	Subterráneo	100/70	50	54
5	Superficial	100/40-100 ^X	50	54
6	Subterráneo	100/40-100	50	51
7	Superficial	100	100	51
8	Subterráneo	100	100	54
9	Superficial	100/70	100	54
10	Subterráneo	100/70	100	51
11	Superficial	100/40-100	100	51
12	Subterráneo	100/40-100	100	54

^Z: riego convencional (RC): aplicación de las necesidades hídricas del cultivo (Etc) durante todo el ciclo vegetativo.

^Y: riego deficitario controlado (RDC): aplicación del 100% Etc desde el inicio de la brotación-floración de primavera (principio marzo) hasta el cuajado del fruto (principio de julio). Aplicación del 70% Etc desde el inicio de desarrollo del fruto (principio de julio) hasta el inicio de la brotación-floración del siguiente ciclo vegetativo (final febrero).

^X: riego deficitario controlado (RDC): aplicación del 100% Etc desde el inicio de la brotación-floración de primavera (principio marzo) hasta el cuajado del fruto (principio de julio). Aplicación alternativa del 40 ó 100% Etc (media 70% Etc) desde el inicio de desarrollo del fruto (principio de julio) hasta el inicio de la brotación-floración del siguiente ciclo vegetativo (final febrero).

^W: porcentajes del área de la copa (%AC) utilizados como coeficientes para el cálculo del aporte de agua procedente de la precipitación efectiva (Pe).

^V: este tratamiento consta de tres repeticiones de 18 árboles.

^U: este tratamiento consta de dos repeticiones de 18 árboles y una de 15.

Cuadro II.

Factores mensuales ($F_{mensual}$) para la corrección del Kc_{medio} .

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$F_{mensual}$	0,97	0,96	0,97	0,91	0,81	0,91	1,00	1,16	1,09	1,24	1,07	0,93

Cuadro III.

Valores del $Kc_{mensual}$.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2006	0,505	0,500	0,505	0,474	0,422	0,474	0,521	0,604	0,567	0,646	0,557	0,484

$Kc_{mensual} = F_{mensual} \text{ (cuadro II)} \times Kc_{medio}$

cie del suelo sombreada. De modo que puede presentar un mínimo en primavera por la poda y un máximo en otoño por el desarrollo acumulativo de las brotaciones de primavera, verano y otoño, por ello se precisa corregirlo. Los factores mensuales para corregir el Kc_{medio} se exponen en el **cuadro II** y en el **cuadro III** se presentan los valores mensuales de $Kc_{mensual}$.

La Etc se cubrirá con el riego (R) y la precipitación efectiva (Pe), de modo que cuando la lluvia es nula, toda la Etc se aportará con el agua de riego.

Contribución del agua de riego a las necesidades hídricas del cultivo

La dosis de agua de riego para cada dos días y dos tratamientos (RG+RGS) se calculó mediante la **ecuación 1**.

Ecuación 1.

$$DA \text{ (m}^3\text{)} = 105 \text{ árboles} \times 16,8 \text{ (m}^2\text{)} \times ETo \text{ (lm}^2\text{)} \times Kc_{mensual} \times 0,001$$

siendo:

DA: volumen de agua de riego requerido en RC y en RDC.

105 árboles: correspondientes a cada dos tratamientos (**cuadro I**).

16,8 m²: marco de plantación.

ET_0 : el valor de la ET_0 de cada dos días previos se determinó según Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) con los datos de la estación agrometeorológica del IVIA.

$K_{C_{mensual}}$: obtenido según el **cuadro III**.

0,001: transformación de l en m^3 .

Contribución de la pluviometría a las necesidades hídricas del cultivo

La lluvia se registró como media de tres pluviómetros instalados en la parcela experimental y la cantidad de agua suministrada por ésta para cada dos tratamientos (RG+RGS) se calculó de acuerdo a la **ecuación 2**.

Ecuación 2.

$$DPe (m^3) = 105 \text{ árboles} \times 8,3 (m^2) \times Pe (lm^{-2}) \times F \times 0,001$$

siendo:

DPe: el volumen de agua procedente de la Pe considerada utilizable por el cultivo.



Tubos para medir la humedad del bulbo en los distintos tratamientos.



105 árboles: correspondientes a cada dos tratamientos (**cuadro I**).
8,3 m^2 : área de la copa de la plantación antes del inicio del ciclo vegetativo.

Pe: 3 \leq precipitaciones \leq 45 mm

F: coeficiente de aprovechamiento de Pe: 50, 100 % del AC

0,001: transformación de l en m^3

Se considera como Pe las precipitaciones superiores a 3 y menores de 45 mm. Las lluvias inferiores a 3 mm se desprecian al no ser aprovechables por el sistema radicular. El límite superior se ha establecido en función de la máxima capacidad de retención de agua del suelo (14,8%) y del coeficiente de marchitamiento (5,6%), así que la disponibilidad de agua del suelo sería del 9,2%. Considerando que las raíces absorbentes apenas se desarrollan por debajo de los 60 cm y que la densidad aparente media del suelo es de 1,6 $kg\ dm^{-3}$; éste podría retener unos: $0,6\ m \times 1.600\ kg\ m^{-3} \times 9,2\ \% \times 0,01 = 88,3\ l\ m^2$. Las precipitaciones que saturarían los primeros 60 cm del bulbo dependen, entre otros factores, del estado hídrico del bulbo en el momento de la lluvia, de modo que inmediatamente después del riego se precisarían unos pocos mm y antes de regar unos 88 mm. Dada la dificultad de conocer el agua disponible al inicio de la lluvia, se ha considerado que un valor medio de 45 mm saturaría la zona del bulbo.

La cantidad de agua correspondiente para cada dos tratamientos se programó por volumen y se aplicó con una frecuencia máxima de cuatro veces por semana. Para cuantificar el agua aportada a los doce tratamientos se dispuso de seis contadores, ya que los tratamientos con riego superficial y subterráneo recibieron la misma dosis de riego.

Muestreos y métodos analíticos

La evaluación de las características de calidad del fruto se realizó antes de la recolección; para ello se tomó una muestra representativa de 25 frutos por cada repetición el 17 de noviembre de 2006. En el momento de la recolección se controló la producción (22 noviembre).

El análisis de la calidad estándar de fruto se realizó de acuerdo a los métodos descritos por González-Sicilia (1968) y se determinó: peso del fruto, espesor de corteza, contenido en corteza más pulpa y zumo, sólidos solubles totales, acidez total, índice de madurez e índice de color de la corteza.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (Anova) para ver la influencia de los distintos factores empleados (sistema de riego, dosis de agua y dosis de Pe) sobre los parámetros indicados anteriormente. Las diferencias entre medias se determinó por medio del test LSD-Fisher.

Resultados y discusión

Reducción de la dotación del agua de riego

En el **cuadro IV** se exponen los volúmenes de agua de riego aplicados por hectárea en RC y en RDC en función de las DPe en ambos sistemas de riego. También se presentan los porcentajes de ahorro de agua de riego por la contribución de la Pe a las necesidades hídricas del cultivo aplicadas con las DA más las DPe en RC y en RDC, de modo que el ahorro de agua de riego en función de la precipitación efectiva considerada utilizable por el cultivo supuso un 14,8% con DPe del 50% AC y un 28,6% con DPe del 100% AC en RC superficial o subterráneo y

El peso del fruto y su número determinan la cuantía de la producción. El peso disminuyó de forma significativa con el RDC en relación al RC. El número de frutos aumentó con el RDC de forma significativa, pero con las dos modalidades de éste.

en RDC se ahorró un 17,9 y un 34,2% de agua de riego para los coeficientes del 50 y 100% AC, respectivamente.

En ambas modalidades de RDC se obtuvo un ahorro medio de agua de riego del 17,75% con DPe del 50% AC y del 16,35% con DPe del 100% AC en relación al RC (superficial o subterráneo).

Producción y calidad del fruto

El análisis estadístico (**cuadro V**) refleja que en RGS se obtuvo una producción significativamente mayor que en el RG, independientemente de las DA y DPe. Con la reducción de los aportes de agua (ambas modalidades de RDC) se obtuvo una producción significativamente superior en relación a la obtenida en RC. Sin embargo, Castel y Ginestar (1996) observaron una disminución en la producción, aunque no de forma significativa, a medida que se redujo el aporte de agua en Clementina de Nules. Montaña *et al.* (2002, 2005) también obtuvieron un descenso en la producción al aplicar riego deficitario fijo (aplicado durante todo el ciclo vegetativo) en la misma variedad. Las DPe también afectaron al rendimiento, de modo que conforme aumentaron los coeficientes de aprovechamiento de la Pe (del 50 al 100% de la AC) la producción aumentó de forma significativa.

La eficiencia del uso del agua (EUA) mostró una respuesta estadísticamente similar a la descrita en la producción, a excepción de las DPe que no afectó de forma significativa a esta variable.

El peso del fruto y su número determinan la cuantía de la producción. El peso disminuyó de forma significativa con el RDC (solamente con los riegos alternativos del 40 ó 100% Etc) en relación al RC. El número de fruto aumentó con el RDC de forma significativa, pero con las dos modalidades de éste.

Cuadro IV.

Reducción de los aportes de agua de riego en RC y RDC en función de Pe para diferentes coeficientes del área de la copa.

Tratamientos Etc (%)	Pe (% AC)	Etc aportada con el riego (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)	Etc aportada con la Pe (m ³ ha ⁻¹ año ⁻¹)	Reducción de los aportes de agua de riego en función de las DPe (%)	Reducción de los aportes de agua de riego en RDC en relación al RC
RC ^Z	50	4.928	853	14,8	
	100	4.256	1.706	28,6	
RDC ^Y	50	3.903	853	17,9	17,7
	100	3.282	1.706	34,2	16,3
RDC ^X	50	3.898	853	17,9	17,8
	100	3.279	1.706	34,2	16,4

^Z: Riego convencional (RC): 100% Etc.

^Y: Riego deficitario controlado (RDC): 100 y 70% Etc.

^X: Riego deficitario controlado (RDC): 100 y 40-100% Etc.

Los factores estudiados y sus interacciones no afectaron de forma significativa al espesor de corteza, ni a los porcentajes de corteza más pulpa y zumo. Cruse *et al.* (1982) en pomelo, Castel y Buj (1990) en naranjo Salustiano, Rabe y Peng (1998) en mandarino Satsuma tampoco observaron diferencias significativas en estos parámetros debidas a las dosis diferenciales de riego.

El sistema de riego no afectó de forma significativa al contenido en sólidos solubles, en cambio la acidez aumentó de forma significativa con el RG en relación con el RGS. Las DA influyeron significativamente sobre

Saleplas COVERLINE

Tecnología



Calidad



Innovación



Servicio



Saleplas
sistemas de riego irrigation systems

diseñamos **soluciones**

Cuadro V.

Efecto de los tratamientos sobre la producción, la eficiencia del uso del agua y la calidad del fruto en Clementina de Nules^Z.

Tratamientos Etc (%)	Pe (%AC)	Producción (kg/árbol)	EUA ^Y (kg/m ³)	Peso fruto (g)	Número frutos árbol	Espesor corteza (mm)	Corteza + pulpa (%)	Zumo (%)	Sólidos solubles (%)	Acidez total (%)	Índice madurez ^{color} (%)	Índice color (%)
RC ^X	50 RG	61,4	6,3	121,9	504	2,9	53,9	46,1	13,1	0,90	14,5	8,9
	50 RGS	65,8	6,8	124,6	528	2,9	53,3	46,7	13,3	0,88	15,1	9,2
	100 RG	66,2	6,6	122,6	540	2,9	52,1	47,9	13,3	0,92	14,5	9,4
	00 RGS	72,8	7,3	122,8	593	2,9	53,2	46,8	13,4	0,91	14,8	9,0
RDC ^W	50 RG	75,9	9,5	121,1	627	3,0	52,0	48,0	12,9	0,89	14,4	8,1
	50 RGS	75,9	9,5	125,2	606	2,9	51,3	48,7	13,1	0,90	14,6	9,8
	100 RG	76,3	9,1	120,5	633	3,0	53,7	46,3	13,8	0,93	14,9	9,7
	100 RGS	80,2	9,5	122,4	655	2,9	51,6	48,4	13,7	0,92	14,9	8,7
RDC ^V	50 RG	64,3	8,1	109,4	588	2,7	50,8	49,2	14,6	1,03	14,2	10,0
	50 RGS	77,7	9,7	116,5	667	2,8	52,0	48,0	13,6	0,91	15,0	10,4
	100 RG	71,7	8,6	118,0	608	3,0	53,1	46,9	14,2	0,99	14,4	10,1
	100 RGS	76,7	9,2	118,7	646	2,9	51,8	48,2	13,7	0,93	14,7	10,1
SR ^U		**	**	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	***	*	N.S.
DA		***	***	*	***	N.S.	N.S.	N.S.	***	***	N.S.	N.S.
DPe		*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
SR-DA		N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	**	***	N.S.	N.S.
SR-DPe		N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
DA-DPe		N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

^Z: cada valor es la media de tres repeticiones.

^Y: eficiencia del uso del agua (EUA). Este parámetro indica los kg de fruto producidos por cada m³ de agua (DA+DPe).

^X: riego convencional (RC): 100% Etc.

^W: riego deficitario controlado (RDC): 100 y 70% Etc.

^V: riego deficitario controlado (RDC): 100 y 40-100% Etc.

^U: ANOVA; diferencias significativas entre medias debidas al sistema de riego (SR), a las dosis de agua de riego (DA), a los coeficientes de Pe (DPe) y a las interacciones entre estos factores según LSD-Fisher para p<0,05 (*); para p<0,01 (**); para p<0,001 (***); no significativas (N.S.).

los azúcares y la acidez, obteniéndose las mayores concentraciones con el RDC (modalidad riegos alternativos de 40 ó 100% Etc), con independencia del SR y de las DPe.

Por otro lado, la interacción SR por DA también resultó significativa para ambos parámetros, de modo que los contenidos más elevados en azúcares y en acidez se dieron con la dosis de riego citada anteriormente (40 ó 100% Etc) con RG. Esto indica que el RDC alternativo superficial en RG produjo más estrés hídrico que en subterráneo (RGS), ya que según la información obtenida por Montaña *et al.* (2005), con el riego deficitario fijo se obtuvo un mayor contenido en sólidos solubles y en acidez que aportando el 100% Etc. Los frutos de los árboles con RGS mostraron un mayor índice de madurez que los tratados con RG, con in-

dependencia de las DA y de DPe.

Los tratamientos aplicados no influyeron de forma significativa sobre el color de la corteza de los frutos.

Conclusiones

El riego deficitario controlado supuso un ahorro de agua de riego en torno al 17% en relación al riego convencional que junto con el ahorro procedente de la precipitación efectiva del 100% del área de la copa de la plantación se consiguió un ahorro total del 45%.

La mejor respuesta en cuanto al ahorro de agua de riego y producción se encontró en riego deficitario controlado subterráneo con un aprovechamiento del agua procedente de la precipitación efectiva correspondiente al 100% del área de copa.

El riego a goteo subterráneo produjo un 8% más de cosecha que el riego superficial, independientemente de las dosis de agua de riego aplicadas y de la precipitación efectiva considerada utilizable por el cultivo, sin afectar a la calidad comercial del fruto.

Las mejores eficiencias del uso del agua se encontraron en el riego a goteo subterráneo con ambas modalidades del riego deficitario controlado y con la precipitación efectiva correspondiente al 100% del área de la copa. ■

Agradecimientos

Expresamos nuestro agradecimiento a Eduardo Casanova que amablemente nos dejó la parcela experimental, así como a J.B. Alberola, J. Giner, M.C. Prieto y A. Boix por su apoyo técnico y especialmente, a la Fundación Pablo García. Gobierno de Campeche (México) por la financiación de la beca concedida a D. Ubaldo Chi Bacab.

Bibliografía

Existe una amplia bibliografía a disposición de nuestros lectores, que pueden solicitar en el e-mail: redaccion@eumedia.es

BENZI & DITERLIZZI

Reduco

AGRINAVA



CARDANS, REDUCTORES Y MULTIPLICADORES

Nudos fabricados en forja, para las más exigentes necesidades de la maquinaria agrícola