

ANALIZAN UN TRATAMIENTO DE RIEGO DEFICITARIO SOSTENIDO Y OTRO A CICLOS PERIÓDICOS DE RIEGO-RESTRICCIÓN

Aplicación de estrategias de riego deficitario y uso de sensores fisiológicos en cítricos

El incremento de la demanda del recurso agua en otros sectores más productivos reduce la disponibilidad del agua para el riego, lo que obliga a la introducción de nuevas estrategias de manejo del agua en la agricultura. Este tra-

bajo muestra los resultados relativos a la respuesta fisiológica de un cultivo de cítricos, sometido a dos estrategias diferenciadas de riego deficitario, así como los efectos en la producción y la calidad de la cosecha final.

I. García-Tejero, R. Romero y J. L. Muriel.

Centro IFAPA Las Torres-Tomejil. Sevilla.

La superficie dedicada al cultivo de cítricos en Andalucía asciende actualmente a un total de 74.000 ha, con un consumo medio de agua de 6.500 m³ ha⁻¹. En zonas áridas y semiáridas como el sur peninsular, el riego es el recurso más limitante en el desarrollo de los cultivos agrícolas de regadío. Además de la escasez de agua, el incremento de la demanda por este recurso en otros sectores más productivos reduce la disponibilidad del agua para el riego, lo que obliga a la introducción de nuevas estrategias de manejo del agua en la agricultura que permitan maximizar la producción final por unidad de agua (productividad del agua).

Una de las estrategias que permiten un ahorro considerable de los recursos hídricos y un aumento de la productividad es el riego deficitario, basado en la aplicación de una cantidad de agua por debajo de la que requiere el cultivo. El uso de este tipo de estrategias requieren el seguimiento del estado hídrico del cultivo con objeto de evitar situaciones que pudieran causar un efecto negativo en la producción final y en la calidad de la cosecha. En este sentido el potencial hídrico y la conductancia estomática son los parámetros más usados

para estudiar las relaciones agua-planta cuando el cultivo se somete a un déficit hídrico. Sin embargo este tipo de medidas tienen el inconveniente de que no pueden ser automatizadas y por ello no permiten un seguimiento en continuo del estado de la planta.

Una alternativa a estas herramientas es el seguimiento de las variaciones diarias del diámetro del tronco y otras funciones relacionadas como la contracción máxima diaria



(MDS). Autores como Vélez y col. (2007) y Ortuño y col. (2004, 2006a, 2006b) han estudiado las ventajas de este tipo de medidas para el seguimiento del estado hídrico del cultivo en comparación con el uso de los parámetros clásicos de potencial hídrico y la conductancia estomática.

Material y métodos

Zona experimental

El presente trabajo se ha desarrollado en una finca comercial de naranjos (*Citrus sinensis*, L. Osbeck, cv Navelino) localizada en el término municipal de Breñas (Sevilla), en la vega del Guadalquivir. Los árboles, de 10 años de edad, y en un marco de plantación de 6 x 4 m se encuentran en plena producción y sin limitaciones previas. La altura media de los árboles es de 2,5 metros y un diámetro de copa de 2,2 metros.

El sistema de riego de la parcela es localizado mediante dos líneas de goteros con emisores autocompensantes. El suelo cuenta con una profundidad media de 0,9 metros y un horizonte radicular que se extiende en los primeros 40 cm del perfil.

La textura es franco-arenosa con unos contenidos porcentuales medios de 70% de arena, 19% de limo y 11% de arcilla. El contenido en materia orgánica es bajo (<1%) y una capacidad de retención de agua de 110 mm m⁻¹.

La climatología local es típicamente mediterránea-seca con una evapotranspiración potencial de 1.400 mm anuales y unas precipitaciones medias de 475 mm, distribuidas principalmente entre los meses de otoño y primavera.

Tratamientos y medidas realizadas

Se establecieron dos tratamientos de riego deficitario basados en dos estrategias diferenciadas:

- Un tratamiento de riego deficitario sostenido (RDS) con una aplicación del 50% de la demanda evapotranspirativa del cultivo (ET_c).

- Un tratamiento de riego deficitario de baja frecuencia (RDBF) regado en función del estado hídrico del cultivo, el cual es sometido a ciclos periódicos de riego-restricción, en función de los valores de potencial hídrico registrados.

- Finalmente, se estableció un tratamiento control regado al 100% de la ET_c.



Foto 1. Vista general de un dendrómetro de tronco.

Para definir el volumen de agua aportada en cada tratamiento, se siguió la metodología propuesta por FAO (Doorenbos y Pruitt, 1990) que relaciona la evapotranspiración de referencia (ET₀) con la evapotranspiración real del cultivo, a través de un coeficiente de cultivo (K_c) y un coeficiente de reducción (K_r) mediante la **expresión 1**.

$$\text{Expresión 1. } mm = \left[\sum_1^7 ET_0 - rain_{ef} \right] * K_c * K_r$$

donde, en nuestro caso, K_c=0,55; K_r=0,7 y rain_{ef} la precipitación efectiva, obtenida a través del producto de la precipitación acumulada y un coeficiente de ajuste de 0,7.

Se midió el contenido de humedad del suelo a dos profundidades diferentes (30 y 60 cm) mediante una sonda de humedad FDR (C-probe Systems LTD, UK).

Con una periodicidad de entre 7 y 10 días se realizaron medidas del potencial hídrico

de xilema (Ψ_{stem}) con cámara Scholander al mediodía (13:00 - 15:00) sobre doce hojas por tratamiento, sombreadas y cercanas al tronco, determinándose con ello el estado energético del agua en la planta. Con una periodicidad similar se realizó un seguimiento de la conductancia estomática (g_s) del cultivo en doce hojas soleadas por tratamiento, usando un porómetro de difusión modelo AP4 (Delta-T Devices, Cambridge, UK).

Se midió la variación del diámetro del tronco en tres árboles por tratamiento, usando en cada uno de ellos un sensor fijo pegado al tronco, localizado a 0,25 metros de la superficie del suelo aproximadamente (foto 1). Se calculó la contracción máxima diaria (CMD) mediante la diferencia entre el diámetro máximo y mínimo registrado en un día.

Finalmente se estudiaron los efectos en la producción y en la calidad del fruto debido a los diferentes tratamientos de riego establecidos.

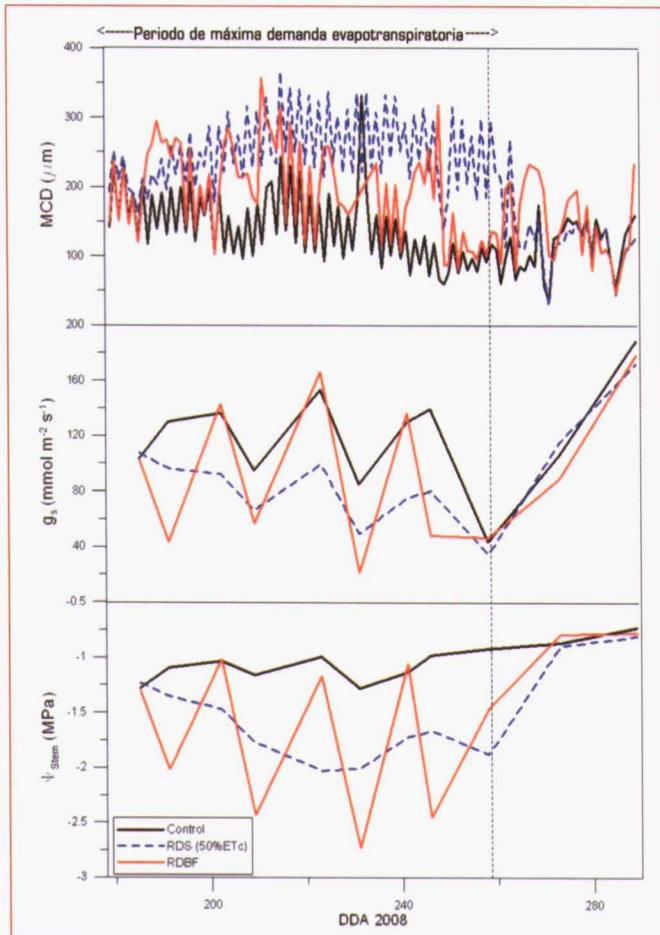
Resultados y discusión

Durante el periodo de ensayo (157-289 dda) se registró una evapotranspiración potencial acumulada de 706,43 mm, con unas precipitaciones de 73 mm respectivamente. Los aportes hídricos para cada uno de los tratamientos ensayados fueron de 264 mm para el tratamiento control, lo que supuso el 100% de la demanda requerida por el cultivo; 153 mm para el tratamiento RDS, correspondiendo con el 60% del total de la demanda; y 166

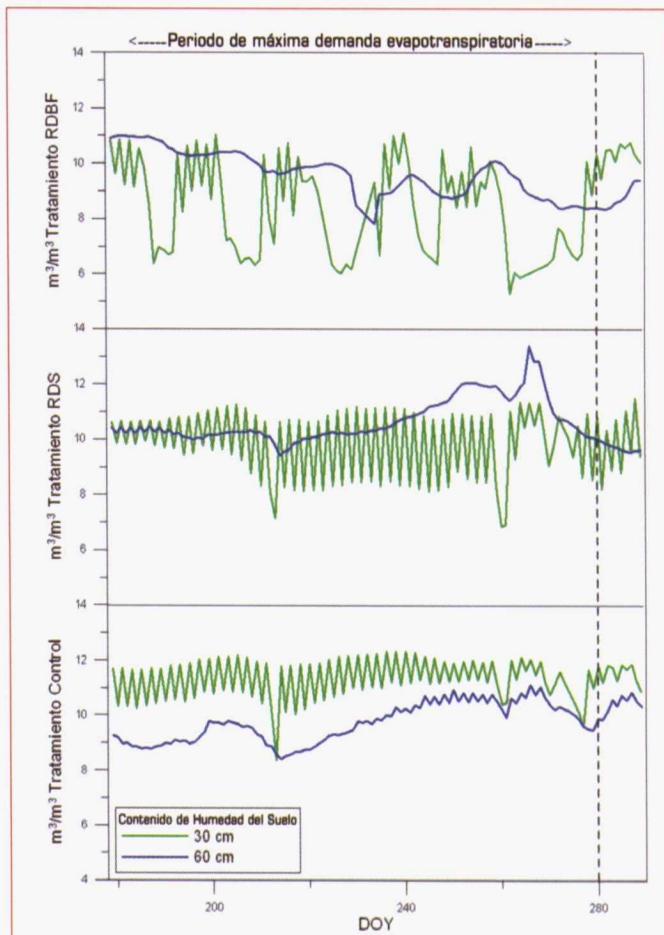
Una mayor o menor productividad no sólo se relaciona con un menor gasto de agua sino que está muy influenciada por la forma en la cual se realizan dichas aplicaciones

FIGURA 1.

Evolución del potencial hídrico de xilema, la conductancia estomática y la máxima contracción diaria para cada tratamiento durante el periodo de riego.

**FIGURA 2.**

Evolución del contenido de agua en el suelo para cada uno de los tratamientos a 30 cm y 60 cm de profundidad respectivamente.



mm para el tratamiento RDBF, equivalente al 66% de la ET_c acumulada para dicho periodo.

Evolución de los parámetros estudiados

La dinámica temporal de las variables estudiadas estuvo acorde con los aportes hídricos realizados en cada uno de los tratamientos (**figura 1**). Así el tratamiento control mostró valores de potencial hídrico entre -0,7 y -1,25 MPa, sin grandes fluctuaciones durante el periodo de muestreo. La conductancia estomática en este tratamiento mostró una mayor variabilidad debido a la mayor influencia de las condiciones climáticas en este parámetro, alcanzándose unos valores medios de $120 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La evolución de la contracción máxima diaria (MCD) fue relativamen-

te homogénea durante el periodo de riego, siendo las contracciones sensiblemente más altas durante los días donde no se aplicaba riego alguno.

En el caso del tratamiento RDS, el potencial hídrico y la conductancia estomática mantuvieron una tendencia descendente debido a la acumulación progresiva del estrés hídrico, siendo los valores medios para estas variables de $-1,8 \text{ MPa}$ y $80 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respectivamente. Nuevamente la conductancia estomática fue significativamente más variable que el potencial hídrico, al igual que ocurría en el tratamiento control. Los valores de MCD registraron una tendencia ascendente, resultado del estrés hídrico acumulado durante el periodo de riego.

Finalmente fue el tratamiento RBDF el que registró una evolución de los parámetros fisiológicos más destacable. Así durante los perio-

dos de riego (7-10 días) se producían descensos en los valores de MCD y aumentos significativos en los valores de potencial hídrico y conductancia estomática. Durante los ciclos de restricción (7-10 días) se producían descensos considerables en el potencial hídrico y la conductancia con un incremento significativo de la máxima contracción diaria.

Tras el periodo de máxima demanda evapotranspirativa, los tratamientos deficitarios fueron regados al 100% de la ET_c , igualándose entonces los valores registrados en estos parámetros fisiológicos con los obtenidos en el tratamiento control.

Con respecto a la evolución del contenido de humedad en el suelo (**figura 2**), ésta mostró una tendencia de acuerdo con la dinámica de riego de cada tratamiento. A 30 cm de profundidad, la evolución de la humedad fue similar en el tratamiento RDS y control, aun-

que la extracción era mucho más pronunciada en el tratamiento deficitario. A 60 cm de profundidad, los contenidos de humedad fueron relativamente constantes, aunque estos valores aumentaron significativamente al final del periodo de máxima demanda evapotranspirativa. Para el caso del tratamiento RDBF, el contenido de humedad a 30 cm mostró aumentos y descensos coincidentes con los ciclos de riego-restricción, siendo la humedad a 60 cm relativamente constante, con ligeros descensos durante los periodos de restricción.

Con respecto a las fluctuaciones diarias del diámetro del tronco (FMDT), éstas mostraron diferentes comportamientos en función de las dinámicas de riego establecidas para cada uno de los tratamientos estudiados (**figura 3a**). En el caso del tratamiento control, las variaciones fueron relativamente homogéneas durante el periodo de máxima demanda evapotranspirativa. El hecho de que la fase de crecimiento del fruto coincidiera dentro del periodo de riego explica que no se observaran crecimientos apreciables

CUADRO I.

Producción final y parámetros de calidad estudiados.

	Producción y calidad del fruto		
	Tratamiento Control	Tratamiento RDS	Tratamiento RDBF
Producción (kg árbol ⁻¹)	152,26a	91,43c	124,38b
Peso Fruto (g)	264,69a	228,1b	236,95b
Nº frutos/árbol	577a	547a	388b
Contenido en zumo (%)	47,50a	39,9c	43,49b
Sólidos solubles totales(°Brix)	10,25b	12,62a	13,28a
Acidez titrable (g/l)	1,23b	1,45a	1,45a
Índice de Madurez	8,3b	8,8b	9,17a
Diámetro ecuatorial (mm)	79,43a	72,62b	72,7b
Diámetro polar (mm)	84,64a	80,31b	79,23b
Grosor de corteza (mm)	6,21a	8,74b	6,38a

del tronco durante este tiempo. Solamente, al final de esta etapa, y coincidiendo con la fase de maduración del fruto, se registró una ligera recuperación del crecimiento del diámetro del tronco. Con respecto al tratamiento RDS, el incremento gradual de la máxima contracción diaria provocó un descenso paulatino del diámetro del árbol, manteniéndose

esta dinámica hasta el final del periodo de restricción, y produciéndose una recuperación en el diámetro final durante la fase de rehidratación. Finalmente, las fluctuaciones registradas en el tratamiento RDBF, mostraron periodos de descenso-recuperación, pero con un crecimiento neto similar al detectado en el tratamiento control. Durante los

Turbofarmer por encima de las expectativas.



Cuando la tecnología Merlo entra en acción no dudeis en aprovechar al máximo de vuestra máquina, porque no queremos poner límites a vuestras expectativas.



Constructor de confianza.

www.merlo.com

primeros días del periodo de descenso se observaban incrementos progresivos en la máxima contracción diaria, que posteriormente eran seguidos de un descenso gradual en dicho valor, coincidiendo con los momentos de máximo estrés hídrico (**figura 3b**). El agotamiento del agua en el suelo y la elevada demanda soportada por el cultivo provocaba una deshidratación progresiva de los tejidos, que coincide con los descensos registrados en el MCD al final de los períodos de restricción, y se relacionan con el punto crítico del cultivo, o nivel máximo de estrés tolerable.

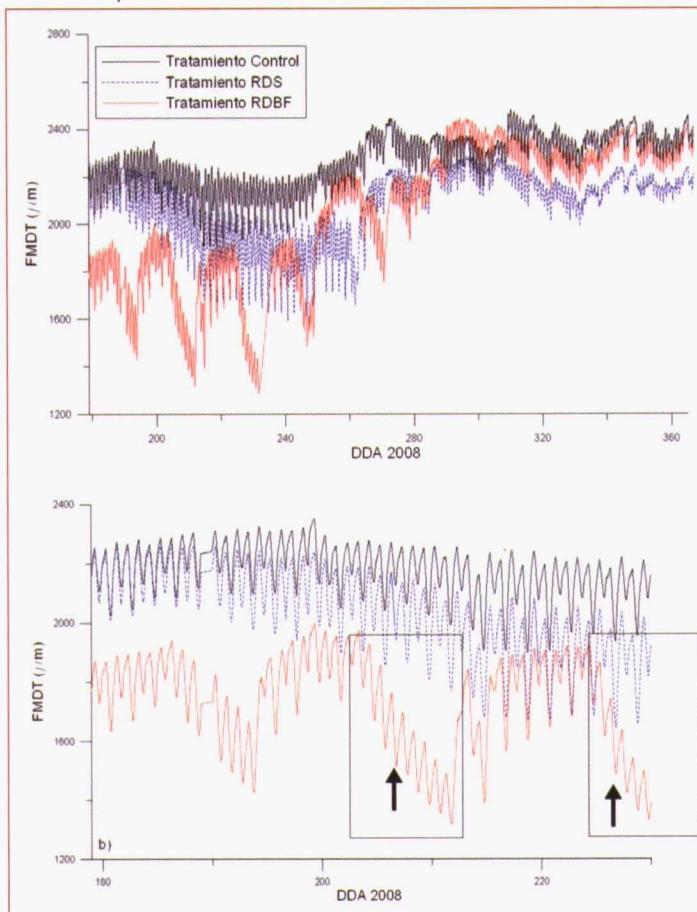
Efectos en la producción y la calidad final de la fruta

Se observaron numerosos efectos en la producción así como en los parámetros de calidad estudiados, debidos a las diferentes estrategias de riego aplicadas (**cuadro I**). Así, los tratamientos RDS y RDBF registraron descensos en la producción del 40% y del 20% respectivamente. Este descenso fue principalmente debido a una merma en el peso fresco del fruto, además de una disminución considerable del número de frutos por árbol en el tratamiento RDS. Por otro lado, los efectos del riego deficitario fueron especialmente destacables en el contenido de zumo, con un descenso del 17% en peso en el tratamiento RDS y del 10% para el caso del tratamiento RDBF. Finalmente, se detectaron importantes efectos en las propiedades organolépticas del fruto, observándose un incremento significativo del contenido total de sólidos solubles, la acidez titrable y el índice de madurez, siendo estos incrementos más notables para el caso del tratamiento RDBF.

Con respecto a la productividad del agua (kg mm^{-1}), ésta fue sensiblemente superior en el tratamiento RDBF ($0,75 \text{ kg mm}^{-1}$ respectivamente); un 30% superior a la registrada en el tratamiento control ($0,57 \text{ kg}$

FIGURA 3.

Fluctuaciones micrométricas del tronco en cada tratamiento durante el periodo de estudio.



mm^{-1}). Con respecto al tratamiento sometido al riego deficitario sostenido, su productividad ($0,59 \text{ kg mm}^{-1}$) no fue significativamente superior a la registrada en el tratamiento control. Estos resultados evidencian que una mayor o menor productividad no sólo se relaciona con un menor gasto de agua sino que está muy influenciada por la forma en la cual se realizan dichas aplicaciones. En nuestro caso, dos tratamientos con volúmenes de agua similares pero diferente estrategia de riego, ofrecieron valores en la producción final y por ende, en la productividad del agua muy dispares.

Conclusiones

El riego deficitario permite la consecución de un ahorro sustancial de agua, aunque, dependiendo del tipo de estrategia elegida, puede provocar pérdidas significativas en los valores de producción final. Esta

merma se ve paliada en muchos casos con una mejora importante de algunos parámetros de calidad del fruto, además de un incremento considerable de la productividad del agua.

Dentro de las estrategias de riego deficitario estudiadas, aquellas basadas en el sometimiento del cultivo a ciclos de estrés hídrico-recuperación parecen ofrecer mejores resultados en comparación con las estrategias deficitarias sostenidas en el tiempo. La recuperación parcial del cultivo durante los ciclos de riego-restricción permite obtener mejores resultados en los valores finales de producción.

El uso de sensores fisiológicos como es el caso de los dendrómetros permite realizar un seguimiento en continuo del estado hídrico de la planta, obteniendo información en tiempo real y siendo de gran ayuda a la hora de realizar futuros diseños de programación de riegos basados en la introducción de estrategias deficitarias basadas en el seguimiento del estado hídrico del cultivo. ●

Agradecimientos

Los resultados obtenidos en el presente trabajo forman parte del desarrollo de los proyectos de investigación INIA (RTA2005-00045-C03-03 y RTA2008-00058-C03-03) así como del proyecto regional correspondiente al Programa de Incentivos de I+D ECOSAT: Integración de nuevos métodos de diagnóstico en la gestión de información agrícola para mejorar la rentabilidad y sostenibilidad, (CICE. Junta de Andalucía. Empresa Verdtech Nuevo Campo).

El autor agradece al INIA la beca concedida (INIA-PRE 2007) si la cual no habría sido posible el desarrollo del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Ortuño, M.F., Alarcón, J.J., Nicolás, E., Torrecillas, A. 2004. Comparison of continuously recorded plant based water stress indicators for young lemon trees. *Plant and Soil* 267:263-270.
- Ortuño, M.F., García-Orellana, Y., Conejero, W., Ruiz-Sánchez, M.C., Alarcón, J.J., Torrecillas, A. 2006a. Stem and leaf water potentials, gas exchange, sap flow and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. *Trees* 20:1-8.
- Ortuño, M.F., García Orellana, Y., Conejero, W., Ruiz-Sánchez, M.C., Mounzer, O., alarcón, J.J., Torrecillas, A., 2006b. Relationships between climatic variables, sap flow, stem water potential and maximum daily trunk shrinkage in lemon trees. *Plant Soil* 279, 229-242.
- Velez, J.E., Intrigliolo, D.S., Castel, J.R. 2007. Scheduling deficit irrigation of citrus trees with maximum daily trunk shrinkage. *Agric. Water Manage.* 90:197-204.