

# Programación del riego deficitario controlado en cerezo mediante redes de sensores de suelo y planta

V. Blanco<sup>1</sup>, R. Domingo<sup>1</sup>, M. García-Riquelme<sup>1</sup>, F. Soto-Vallés<sup>2</sup>, R. Torres<sup>2</sup>, A. Pérez-Pastor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento Producción Vegetal, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena. [victor.blanco@upct.es](mailto:victor.blanco@upct.es); [rafael.domingo@upct.es](mailto:rafael.domingo@upct.es); [manuel.garcia@upct.es](mailto:manuel.garcia@upct.es); [alex.perez-pastor@upct.es](mailto:alex.perez-pastor@upct.es)

<sup>2</sup> Departamento Tecnología Electrónica, Universidad Politécnica de Cartagena, Campus Muralla del Mar, Doctor Fleming, s/n, 30202, Cartagena. [pencho.soto@upct.es](mailto:pencho.soto@upct.es); [roque.torres@upct.es](mailto:roque.torres@upct.es)

## Resumen

La incorporación de las tecnologías de la información y de las comunicaciones, TICs, al manejo del riego del cerezo facilitó la aplicación de criterios de eficiencia de uso del agua. Se establecieron tres tratamientos de riego instrumentados mediante una plataforma de sensores cableada y otra inalámbrica con acceso a datos a través de un radio-enlace WIFI. Como indicador principal de estrés hídrico y control de la programación del riego se utilizó la máxima contracción diaria, MCD, de diámetro de rama. La relación lineal obtenida entre MCD y el potencial de tallo a mediodía,  $\Psi_t$ , presentó un alto coeficiente de determinación ( $R^2 = 0,75$ ). El riego deficitario controlado en precosecha del cerezo (*Prunus avium* (L.)) mejoró la productividad del agua sin efectos negativos en la producción y calidad de la cereza.

**Palabras clave:** máxima contracción diaria, plataforma de sensores, potencial matricial, producción y calidad de la cosecha.

## Regulation deficit irrigation scheduling in cherry tree by sensor networks in soil and plant

### Abstract

The incorporation of information and communications technologies, ICT, to cherry tree irrigation management facilitated the implementation of criteria the water use efficiency. Three irrigation treatments were implemented by an instrumented wired sensors platform and a wireless network with data access through a WIFI radio link. As main water stress indicator and irrigation scheduling control, maximum daily shrinkage, MDS, in branch diameter was used. MDS and midday stem water potential,  $\Psi_t$ , presented a linear relationships with a high coefficient of determination ( $R^2 = 0.75$ ). Pre-harvest deficit irrigation on sweet cherry (*Prunus avium* (L.)) improved water productivity without negative effect on cherry production and quality.

**Keywords:** fruit yield and quality, maximum daily shrinkage, sensors platform, soil matric potential.

## INTRODUCCIÓN

La mejora de la productividad del agua en la agricultura de regiones altamente productivas aún es posible a través de estrategias de riego deficitario controlado (RDC) y técnicas de riego de precisión. La incorporación de las tecnologías de la información y de

las comunicaciones, TICs, al manejo del riego está facilitando la aplicación de criterios de eficiencia en el uso del agua (Navarro et al., 2015).

Diversos trabajos, realizados principalmente en frutales, demuestran que es posible reducir los volúmenes de riego a través de la aplicación de RDC con mínima o nula penalización en la producción y calidad de las cosechas (Ruiz-Sánchez et al., 2010). La monitorización del sistema suelo-planta-atmósfera para controlar tanto situaciones de déficit hídrico como de adecuada disponibilidad de agua, a partir de medidas continuas y en tiempo real de variables del estado hídrico es clave para el correcto manejo de RDC (Puerto et al., 2013).

El objetivo de este trabajo es comprobar la idoneidad del cerezo para ser manejado en riego deficitario controlado de forma precisa. Para ello, se cuenta con una plataforma de control y supervisión remota que permite un conocimiento en tiempo real del estado hídrico del suelo y la planta.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El ensayo se realizó durante el periodo precosecha del cerezo (febrero-10 junio de 2015) en una parcela experimental de 0,5 ha, perteneciente a 'Finca Toli', (Jumilla - Murcia). La variedad principal es 'Prime-Giant' sobre SL 64 y como polinizador 'Brooks'. La plantación, de 15 años y marco de 5 m x 3 m, se riega por goteo, con un lateral por hilera de árboles y 3 goteros de 4 L h<sup>-1</sup> por árbol. El agua de riego es de pozo y de buena calidad (CE = 1,0 dS m<sup>-1</sup>). Se establecieron 3 tratamientos de riego, con 4 repeticiones por tratamiento, consistentes en: i) Control, CTL, programado al 110% de ET<sub>c</sub> durante toda la campaña de riego, ii) Agricultor, AGR, regado según el criterio del agricultor, y iii) un tratamiento RDC programado al 85% de ET<sub>c</sub> en precosecha.

A partir de una plataforma cableada se instrumentaron dos repeticiones por tratamiento (datalogger más dos multiplexores - Campbell Scientific, Logan, USA) y las otras dos mediante una red de sensores inalámbrica (WSN, Widhoc SS, Fuente Álamo, España) con un nodo de comunicación por punto de medida, utilizando protocolo ZigBee y con una configuración topológica en estrella. El acceso a datos se realizó a través de un radio-enlace WIFI con un proveedor local de internet. Las variables registradas o derivadas fueron: potencial matricial,  $\Psi_m$ , (MPS-6, Decagon devices, Inc., Pullman, WA 99163 - USA) a 25 y 50 cm y contenido volumétrico de agua en el suelo,  $\theta_v$ , (Enviroscan, Sentek Pty. Ltd., Adelaide, Australia) a 20, 40 y 70 cm de profundidad, y máxima contracción, MCD, y tasa diaria de crecimiento de diámetro de rama, TCD (LVDT sensors, model DF $\pm$ 2.5 mm, precisión  $\pm$ 10  $\mu$ m, Solartron Metrology, Bognor Regis, UK). Adicionalmente y en días representativos se midió el potencial de tallo a mediodía con cámara de presión (Model 3000, Soil Moisture Equipment, Santa Barbara, CA). Igualmente, se obtuvieron las evoluciones de los parámetros de calidad del fruto (diámetro, volumen, pesos fresco y seco y concentración de sólidos solubles) a partir de 20 frutos por repetición y 3 repeticiones por tratamiento, desde cuajado hasta la primera recolección y finalmente se determinó la producción total y número de frutos por recolección a partir de 20 árboles por tratamiento (5 árboles/repetición).

El diseño estadístico fue de bloques al azar con 4 repeticiones por tratamiento. El análisis de datos se realizó mediante ANOVA y regresiones lineales.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los volúmenes de riego aplicados en precosecha fueron 178, 210 y 275 mm para RDC, CTL y AGR, respectivamente. En este periodo, la evapotranspiración de referencia

(ET<sub>o</sub>) y precipitación sumaron 366,3 y 39,1 mm, respectivamente. La temperatura media diaria tuvo su máximo absoluto el día del año, DDA, 133 (28°C) y el mínimo absoluto el día 98 (8,7°C), con un valor moda de 20°C. El déficit de presión de vapor (DPV) medio diario osciló entre 2,9 kPa (DDA 113) y 0,2 kPa (DDA 100), coincidiendo el máximo absoluto con la máxima temperatura (DDA 133).

El rango de valores  $\Psi_m$  en CTL a 25 y 50 cm de profundidad fue de [-8,6 - -16,8 kPa] y [-9,4 - -49,5 kPa], con valores medios de -9,8 y -13,3 kPa, respectivamente. AGR presentó valores extremos y medios muy similares a CTL pero con un 30% más de agua aplicada. Estos valores indican que en la generalidad del periodo precosecha se mantuvieron condiciones no limitantes de agua en el suelo en ambos tratamientos. Sin embargo, RDC presentó a 50 cm dos periodos de aproximadamente 7 días con valores  $\Psi_m$  por debajo de los correspondientes a capacidad de campo (Figura 1). La recuperación de  $\Psi_m$  en RDC al final del periodo precosecha, se debió a la aplicación de tiempos de riego similares a CTL en la semana previa a la recolección al objeto de no penalizar el tamaño del fruto. El contenido de humedad volumétrica ( $\theta_v$ ) presentó una pauta muy similar a  $\Psi_m$  en las profundidades de 20 y 40 cm. Así a 20 cm, CTL y AGR se mantuvieron próximos al 95% de la capacidad de campo mientras que RDC fluctuó entre el 35 y 90%. Igual tendencia se observó a 40 cm pero con valores de  $\theta_v$  para CTL y AGR inferiores, siendo éstos del orden del 65% de la capacidad de campo.

El potencial de tallo a mediodía ( $\Psi_t$ ) presentó valores medios precosecha para el periodo de déficit de -0,51 (CTL), -0,48 (AGR) y -0,57 MPa (RDC), con diferencias significativas en 4 de los 6 días de medida. Éste parámetro es un indicador de referencia en la evaluación del estado hídrico de la planta y por tanto de gran utilidad en la detección de déficit hídrico en planta. Sin embargo, presenta la limitación de que su medida aún no ha podido ser automatizada. MCD, contrariamente a  $\Psi_t$ , sí permite la automatización y por lo tanto su empleo en sistemas de riego automatizados. En la Figura 2 se aprecian los días en que tuvieron lugar diferencias significativas entre tratamientos, principalmente entre los tratamientos más regados (AGR y CTL) y RDC. Si tenemos en cuenta que bajo condiciones de déficit hídrico ligero [ $\Psi_{tRDC} - (\Psi_{tCTL} \text{ o } \Psi_{tAGR}) = 0,06 \text{ o } 0,09 \text{ MPa}$ ], MCD ha sido diferente en la generalidad del periodo precosecha, MCD puede ser de interés en el manejo del riego en precosecha donde el déficit hídrico debe de ser muy ligero o nulo.

MCD fue claro reflejo de las condiciones climáticas, alcanzando valores máximos en días de alta temperatura o/y de demanda evaporante de la atmósfera (DDA 133, 145) o reducciones por precipitaciones (DDA 149 y 159). Igualmente, MCD fue dependiente de las condiciones de humedad del suelo. Así, a partir del día 156, MCD disminuye en RDC en mayor medida que en CTL como consecuencia de la aplicación de dosis de riego similares en ambos tratamientos una semana antes de la cosecha. La relación encontrada entre MCD vs  $\Psi_t$  [ $MCD (\mu m) = 35,684 \Psi_t (MPa) - 37,804; R^2 = 0,75$ ] presentó una alta correlación, avalando la utilidad de MCD como indicador de estrés hídrico ligero en cerezo.

En la tabla 1 se recoge la producción de cereza en cada una de las recolecciones realizadas (DDA = 154 y 161) y la total, así como los principales parámetros de calidad evaluados. Fue entre los tratamientos AGR y RDC donde se dieron diferencias significativas en peso unitario, volumen y sólidos solubles, siendo el resto de parámetros similares entre tratamientos. La producción comercial total osciló entre 14,84 (AGR) y 16,12 t ha<sup>-1</sup> de RDC, producciones consideradas medias-altas para la variedad estudiada.

El uso de la plataforma de supervisión y control desplegada en cerezo permitió realizar el seguimiento del comportamiento hídrico del árbol de forma eficaz y en tiempo real, a partir de lecturas continuas de las fluctuaciones de diámetro de rama, potencial matricial y contenido volumétrico de agua en el suelo. La alta correlación encontrada entre MCD y  $\Psi_t$  bajo condiciones de suministro hídrico adecuado y déficit hídrico ligero sugiere la utilidad de MCD para ser empleada en la programación automática del cerezo en precosecha. Además, los resultados obtenidos indican la posible idoneidad del cerezo para ser manejado en riego deficitario controlado en precosecha, ya que ni la cosecha ni la calidad se vieron influenciadas negativamente con un ahorro de agua del 15%.

### Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y fondos FEDER. Referencia: AGL2013-49047-C2-1-R.

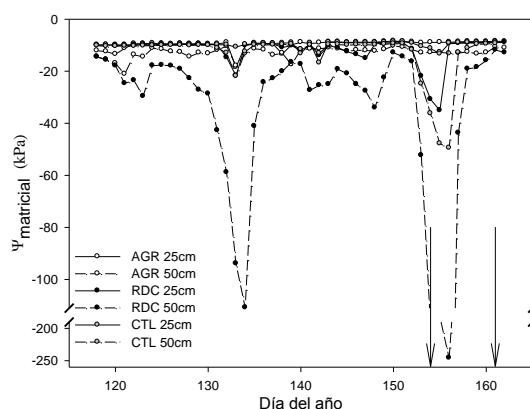
### Referencias

- Navarro, H., Torres, R., Soto, F., Albaladejo C., López, J.A., Domingo, R. 2015. A wireless sensors architecture for efficient irrigation water management. *Agric. Water Manage.* 151: 64-74.
- Puerto, P., Domingo, R., Torres, R., Pérez-Pastor, A., García-Riquelme, M., 2013. Remote management of deficit irrigation in almond trees based on maximum daily trunk shrinkage. *Water relations and yield. Agric. Water Manage.* 126: 33-45.
- Ruiz-Sánchez, M.C., Domingo, R., Castel, J.R., 2010. Review. Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. *Span. J. Agric. Res.* 8 (S2), S5-S20.

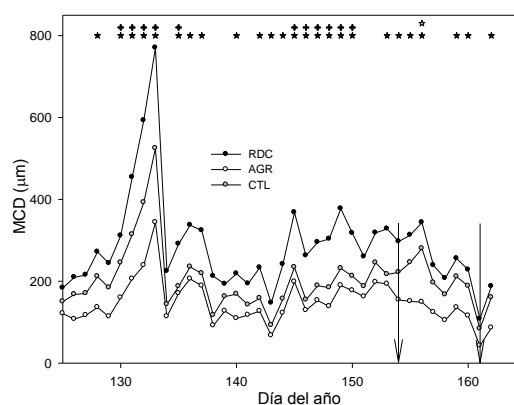
**Tabla 1.** Parámetros de calidad del fruto y producción.

Parámetros	CTL	RDC	AGR
Peso Fresco (g)	11,62ab	12,31a	10,85b
Volumen (cm <sup>3</sup> )	11,07ab	11,96a	10,53b
Diámetro Ecuatorial (mm)	30,17	30,79	29,71
Sólidos Solubles (°Brix)	19,67ab	21,22a	18,89b
Peso Seco (g)	2,97	2,79	2,74
Recolección 1ª (kg·árb <sup>-1</sup> )	13,29	15,64	12,26
Recolección 2ª (kg·árb <sup>-1</sup> )	10,08	8,56	10,00
Cosecha Total (kg·árb <sup>-1</sup> )	23,37	24,20	22,26

Valores medios seguidos de letras diferentes en la misma línea indican diferencias significativas de acuerdo al test de Duncan ( $P < 0,05$ ).



**Fig. 1.** Evolución del potencial matricial. Las flechas indican el día de las recolecciones (DDA = 154 y 161).



**Fig. 2.** Evolución máxima contracción diaria. \* indica diferencias significativas entre los tratamientos RDC-AGR y \*\* entre RDC-CTL, según el test de Duncan ( $P < 0,05$ ).