

B-01-2023

Comunicación científico-técnica

## Uso de la termometría y de la humedad del suelo en la automatización del riego de limeros

## Use of thermometry and soil moisture in the automation of irrigation of lime trees

Mira-García, A.B.; Conejero, W.; Vera, J.; Conesa, M.R.; Ruiz-Sánchez, M.C.

Departamento de riego, CEBAS-CSIC, Campus de Espinardo, Apartado 164, 30100 Murcia, abmira@cebas.csic.es

**Resumen:** El contexto actual de sequía hidrológica hace necesario aumentar la eficiencia en el uso del agua de riego (EUA), a fin de garantizar un rendimiento óptimo de los cultivos. El uso de sensores del estado hídrico de suelo y planta en la programación del riego contribuye a este fin, ya que permite ajustar la dosis de riego a las necesidades hídricas del cultivo en tiempo real. En el presente estudio se evaluó la respuesta agro-fisiológica de limeros adultos a tres programaciones de riego diferentes basadas: en la monitorización (i) de la temperatura de la copa ( $T_c$ ) y (ii) del contenido volumétrico de agua en el suelo ( $\theta_v$ ), así como (iii) en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ), las tres orientadas a cubrir las necesidades hídricas del cultivo. Este ensayo se llevó a cabo en 2022 en una parcela de 1 ha de limeros de 6 años de edad (*Citrus latifolia* Tan., cv. 'Bearss') injertados sobre *Citrus macrophylla* L. Durante el ensayo se monitorizó en tiempo real el  $\theta_v$ , la  $T_c$  de los árboles y la temperatura del aire ( $T_a$ ). A su vez, se realizaron medidas discretas del potencial hídrico de tallo ( $\Psi_{\text{tallo}}$ ), y del intercambio gaseoso foliar: fotosíntesis neta ( $F_n$ ), conductancia estomática ( $g_s$ ) y transpiración ( $T_r$ ), calculándose la EUA intrínseca ( $EUA_{\text{int}}$ ) e instantánea ( $EUA_{\text{ins}}$ ). La recolección de la fruta se realizó el 1 de septiembre y el 7 de octubre de 2022. En estos días, se cuantificaron los kg de limas y los  $m^3$  de agua aplicada por árbol en cada uno de los tratamientos, determinándose la EUA agronómica ( $EUA_{\text{agro}}$ ) para cada uno de los tratamientos de riego. El  $\Psi_{\text{tallo}}$  fluctuó alrededor de -1 MPa, mientras que la  $g_s$  y la  $F_n$  oscilaron en torno a  $95 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y  $9 \text{ } \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente, sin diferencias significativas entre tratamientos. A lo largo del ensayo la  $EUA_{\text{int}}$  promedio del tratamiento  $T_c$  fue un 8 y un 19 % mayor que la del tratamiento  $\theta_v$  y  $ET_c$ , respectivamente. Una tendencia similar se observó en el caso de la  $EUA_{\text{ins}}$ . La producción total fue mayor en el tratamiento  $\theta_v$ , concretamente 6 y 19 kg por árbol<sup>-1</sup> mayor que en el tratamiento  $ET_c$  y  $T_c$ , respectivamente. Siendo las diferencias significativas sólo con respecto al tratamiento  $T_c$ . El agua aplicada en el tratamiento  $T_c$  fue 4,2 y 1,6  $m^3$  árbol<sup>-1</sup> menor que en el tratamiento  $\theta_v$  y  $ET_c$ , respectivamente. La  $EUA_{\text{agro}}$  fue similar en los tres tratamientos estudiados ( $\approx 4,2 \text{ kg m}^{-3}$ ). En conclusión, la ausencia de estrés hídrico y la similar



# XXXIX Congreso Nacional de Riegos ÚBEDA (JAÉN)

18, 19, 20 de octubre de 2023



---

EUA<sub>agro</sub> de los tres tratamientos de riego validó la monitorización en continuo del  $\theta_v$  y de la  $T_c$  para la automatización del riego de precisión en limeros, frente a las incertidumbres derivadas de la estimación de la ET<sub>c</sub>.

**Palabras clave:** eficiencia del uso del agua, contenido de agua en el suelo, evapotranspiración del cultivo, temperatura de la copa, riego de precisión.

**Abstract:** The current context of hydrological drought makes it necessary to increase irrigation water use efficiency (WUE) in order to ensure optimal crop yields. The use of soil and plant water status sensors in irrigation scheduling contributes to this end, as it allows adjusting the irrigation dose to the crop water needs in real time. In the present study, the agro-physiological response of adult lime trees to three different irrigation scheduling based on the monitoring of: (i) canopy temperature ( $T_c$ ), (ii) soil volumetric water content ( $\theta_v$ ), and (iii) crop evapotranspiration ( $ET_c$ ) was evaluated; all three oriented to cover crop water needs. This study was conducted during 2022 in a 1 ha plot of 6-year-old lime trees (*Citrus latifolia* Tan., cv. 'Bearss') grafted onto *Citrus macrophylla* L. During the experimental period,  $\theta_v$ ,  $T_c$  of the trees and air temperature ( $T_a$ ) were monitored in real time. Discrete leaf measurements of stem water potential ( $\Psi_{stem}$ ) and gas exchange: net photosynthesis ( $F_n$ ), stomatal conductance ( $g_s$ ) and transpiration ( $T_r$ ) were also taken, and the intrinsic ( $WUE_{int}$ ) and instantaneous WUE ( $WUE_{ins}$ ) were calculate. Fruit was harvested in two picks, on 1<sup>st</sup> September and 7<sup>th</sup> October 2022. On these days, kg of limes and  $m^3$  of water applied per tree in each of the treatments were quantified, and the agronomic WUE ( $WUE_{agro}$ ) was calculated. The  $\Psi_{stem}$  fluctuated around -1 MPa, while  $g_s$  and  $F_n$  fluctuated around  $95 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  and  $9 \text{ } \mu\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectively, with no significant differences between treatments. The average  $WUE_{int}$  of  $T_c$  treatment was 8 and 19 % higher than that of the  $\theta_v$  and  $ET_c$ , respectively. A similar trend was observed for  $WUE_{ins}$ . Total production was higher in the treatment  $\theta_v$ , concretely 6 and 19 kg per tree<sup>-1</sup> higher than in the  $ET_c$  and  $T_c$  treatments, respectively. The differences were significant only with respect to the  $T_c$  treatment. Water applied in the  $T_c$  treatment was 4.2 and 1.6  $m^3 \text{ tree}^{-1}$  less than in the  $\theta_v$  and  $ET_c$  treatments, respectively.  $WUE_{agro}$  was similar in the three treatments studied, ( $\approx 4,2 \text{ kg m}^{-3}$ ). In conclusion, the absence of water stress and the similar  $EUA_{agro}$  in the three irrigation treatments validated the continuous monitoring of both  $\theta_v$  and  $T_c$ , for the automation of precision irrigation in lime trees, against the uncertainties derived from the estimation of  $ET_c$ .

**Keywords:** water use efficiency, soil water content, crop evapotranspiration, canopy temperature, precise irrigation.

## 1. Introducción

Actualmente el 40 % del territorio español se encuentra en alerta por sequía [1]. Esta escasez de agua afecta principalmente a la agricultura de regadío. Por ello, se hace necesario aplicar el agua de riego de forma precisa, a fin de asegurar el óptimo desarrollo del cultivo. Tradicionalmente, la programación del riego se ha realizado en base al cálculo empírico de la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) [2]. Sin embargo, programar el riego en base a sensores de estado hídrico planta y suelo nos permite ajustar la dosis de riego a las necesidades hídricas del cultivo en tiempo real, aumentando así la eficiencia del uso del agua (EUA). De acuerdo con esta idea, Martínez Gimeno et al. [3] en mandarina y Conesa et al. [4] en nectarino observaron que programar el riego en base al contenido volumétrico de agua en el suelo ( $\theta_v$ ) promovió un incremento de la EUA del 33 % frente a la programación de riego basada en el cálculo de la  $ET_c$ .

Adicionalmente, la utilidad de sensores de estado hídrico en planta como los de turgencia, dendrómetros, flujo de savia o termo-radiómetros en la programación del riego ha sido validada en diversos estudios científicos con resultados satisfactorios [5–7]. Los termo-radiómetros permiten evaluar el estado hídrico de las plantas a partir de la temperatura de su copa ( $T_c$ ) de una forma fácil, rápida e intuitiva, lo que supone una ventaja desde el punto de vista de la programación del riego. En base a ello, en los últimos años, se han propuesto diferentes valores umbrales de  $T_c$  y de sus índices derivados, para el manejo del riego en diferentes cultivos como melón [8] y melocotonero [9].

La programación del riego, y por lo tanto la cantidad de agua aplicada, tienen un efecto directo sobre aspectos agronómicos, como la producción y calidad de la fruta [10] o fisiológicos como el intercambio gaseoso o el potencial hídrico en hoja [11], así como sobre la EUA [12]. El presente estudio pretende profundizar en la respuesta agro-fisiológica del cultivo de limeros a la programación automática del riego basada en valores umbrales de  $T_c$  y  $\theta_v$ , frente a la programación tradicional basada en el cálculo de la  $ET_c$ .

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Condiciones experimentales

El ensayo se llevó a cabo de junio a diciembre de 2022 en la finca experimental del CEBAS-CSIC en Santomera, Murcia. El material vegetal utilizado fueron limeros (*Citrus latifolia* Tan. cv 'Bearss') de 6 años de edad, injertados sobre *Citrus macrophylla* L. Los árboles estaban cultivados en mesetas a un marco de plantación de 6 m x 5 m. El suelo, altamente calcáreo y de textura franco-arcillosa tenía un bajo contenido en materia orgánica y una capacidad de campo (CC) y punto de marchitez (PM) de 0,32 y 0,14 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, respectivamente. El sistema de riego consistió en una doble línea porta-goteros, con 10 goteros integrados por árbol de 3,6 L h<sup>-1</sup> cada uno.

### 2.2. Tratamientos de riego

En este estudio se evaluaron tres programaciones de riego diferentes basadas en:

- (i) La monitorización del contenido volumétrico de agua en el suelo ( $\theta_v$ ) con sensores TDR (modelo 315H, Acclima, Inc., USA) que estaban instalados a 0,1 m del emisor y a 0,2, 0,4, 0,6 y 0,8 m de profundidad, en 3 árboles. Se estableció un valor umbral de  $\theta_v$  en el perfil del suelo de 0,2 a 0,6 m (zona radicular activa) basado en el máximo agotamiento permisible (MAP) [13] del 30 %.
- (ii) La monitorización de la temperatura de la copa ( $T_c$ ) con termo-radiómetros (mod. SI-431, Apogee Instruments, Inc., Logan, UT, USA) que estaban instalados a una altura de 2,5 m en un poste de aluminio situado a 6 m del árbol en cuestión, en 3 árboles que estaban equipados también con sensores de  $\theta_v$ . Los termo-radiómetros tenían un campo medio de visión de  $14^\circ$ , un tiempo de respuesta de 0,1 s y una precisión de  $\pm 0,2^\circ\text{C}$ . En este estudio la programación del riego se realizó en base a valores umbrales de la diferencia de temperatura entre la copa y el aire ( $T_c - T_a$ ). La  $T_a$  se determinó de forma automática haciendo uso de una estación meteorológica localizada en la propia finca. El riego se inició cuando el  $\sum T_c - T_a$  entre las 12:00 y 14:00 hora solar de uno o varios días consecutivos fue mayor a  $12^\circ\text{C}$  y finalizó cuando el  $\theta_v$  fue igual a CC.

Los sensores de agua en el suelo, los termo-radiómetros y la estación meteorológica estaban conectados a un sistema de telemetría, el cual tomaba lecturas cada 5 min y registraba valores promedios cada 15 min. Las unidades de radio-transmisión enviaban estos datos al servidor web addVANTAGE (ADCON Telemetry, Austria) para su procesamiento y visualización.

- (iii) El cálculo de la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) se realizó semanalmente en base a la siguiente ecuación:

$$ET_c = ET_0 \times K_c \text{ (eq. 1)}$$

dónde  $ET_0$  es la evapotranspiración del cultivo de referencia, estimada con la ecuación de Penman-Monteith y  $K_c$  el coeficiente de cultivo para cítricos [2].

Los tres tratamientos de riego:  $\theta_v$ ,  $T_c$  y  $ET_c$  estaban destinados a cubrir el 100 % de las necesidades hídricas del cultivo.

### 2.3. Otras medidas

El seguimiento del estado hídrico de las plantas se realizó con medidas puntuales del potencial hídrico de tallo ( $\Psi_{\text{tallo}}$ ) y del intercambio gaseoso. El  $\Psi_{\text{tallo}}$  se determinó a mediodía con una cámara de presión siguiendo las recomendaciones de Hsiao [14], en hojas tapadas al menos 2 horas antes de la medida de acuerdo con la metodología descrita por McCutchan y Shackel [15]. Los parámetros de intercambio gaseoso: fotosíntesis neta ( $F_n$ ), conductancia estomática ( $g_s$ ) y transpiración ( $T_r$ ) se midieron con un medidor portátil de fotosíntesis (LI-6400, Li-Cor, Lincoln,

NE, USA) a primera hora de la mañana ( $\approx 8:00$  hora solar) en hojas soleadas. A partir de estos datos se determinó la EUA intrínseca ( $EUA_{int}$ ) (eq. 2) e instantánea ( $EUA_{ins}$ ) (eq. 3):

$$EUA_{int} = \frac{F_n}{g_s} \quad (eq. 2)$$

$$EUA_{ins} = \frac{F_n}{T_r} \quad (eq. 3)$$

La recolección de la fruta se realizó los días 1 septiembre y 7 de octubre de 2022. En estos días, en los árboles en ensayo se realizó el pesaje de los kg de lima por árbol con una balanza electrónica (Mod. SSH 92, 0–6000  $\pm 2$  g, Scaltec, Dania Beach, FL, USA). A su vez se determinaron los  $m^3$  de agua aplicados en cada uno de ellos con un contador. A partir de ambos datos, se calculó la EUA agronómica ( $EUA_{agro}$ ) (eq. 4):

$$EUA_{agro} = \frac{kg \text{ fruta}}{m^3 \text{ agua aplicada}} \quad (eq. 4)$$

Los tratamientos de riego estaban distribuidos siguiendo un diseño experimental completamente aleatorio. Cada tratamiento contaba con un total de 4 repeticiones, que consistían en una fila de 6 árboles cada una. Las medidas se tomaron en un árbol representativo por repetición y el resto fueron considerados árboles bordes.

### 3. Resultados y discusión

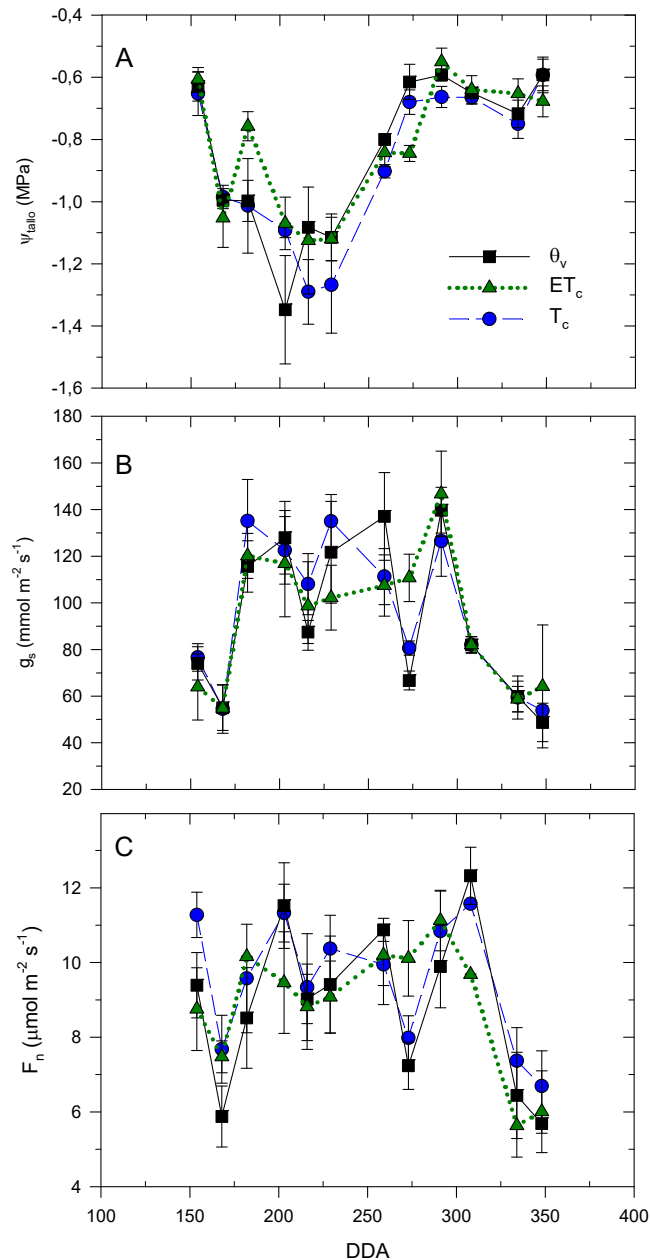
El potencial hídrico de tallo ( $\Psi_{tallo}$ ) mostró valores por encima de -1 MPa durante todo el periodo experimental, excepto a mitad de julio y agosto cuando se observaron valores de -1,3 MPa, en todo momento sin diferencias significativas entre tratamientos (Figura 1A). Estos valores fueron indicativos de una ausencia de estrés hídrico en planta, tal y como apuntaron estudios recientes realizados en otras especies cítricas [16,17].

El intercambio gaseoso foliar tampoco mostró diferencias significativas entre tratamientos, con valores de  $g_s$  y  $F_n$  que fluctuaron entre 91,8 y 100,4  $mmol \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y 8,9 y 9,5  $\mu mmol \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente (Figura 1B, C). Estos valores fueron propios de árboles bien regados en los que no existió limitación alguna de su capacidad fotosintética [18].

Los valores de eficiencia en el uso del agua instantánea ( $EUA_{ins}$ ) e intrínseca ( $EUA_{int}$ ) fluctuaron entre valores de 3 y 10  $\mu mol \text{ CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$  y 50 y 200  $\mu mol \text{ CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ , respectivamente (Figura 2). Estos valores fueron similares a los que se observaron en cítricos [19,20] y en otros cultivos leñosos como melocotonero [12] y nectarino [21]. La gran variabilidad observada en las medidas de  $g_s$  y  $F_n$  y por extensión también en la  $EUA_{ins}$  e  $EUA_{int}$ , fue consecuencia de que la apertura y cierre de estomas ocurre en respuesta a numerosos factores, como las condiciones climáticas [22], la concentración de ácido abscísico [23] además del régimen de riego [24].

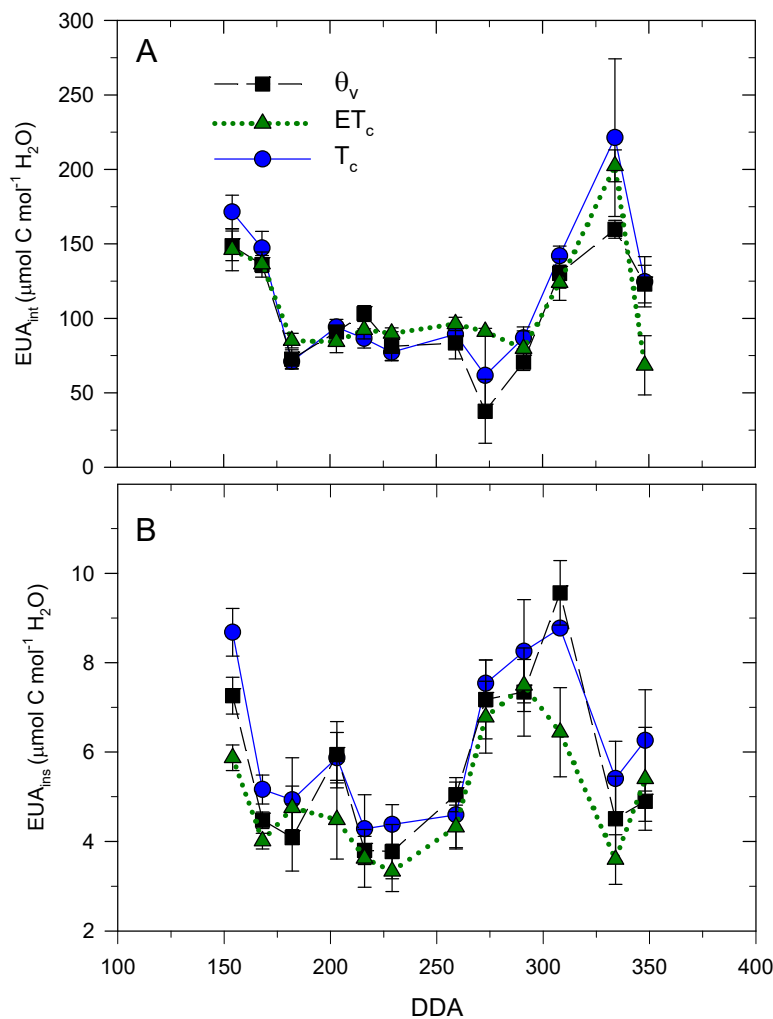
A lo largo del ensayo, la  $EUA_{int}$  mostró diferencias, aunque no fueron significativas entre tratamientos, siendo la del tratamiento  $T_c$  un 10 y 6 % mayor que en el tratamiento  $\theta_v$  y  $ET_c$ ,

respectivamente (Figura 2A). Por su parte, la  $EUA_{ins}$  promedio de los tratamientos  $\theta_v$  y  $T_c$  fue significativamente mayor que la del tratamiento  $ET_c$ , siendo la del tratamiento  $T_c$  un 8 y 19 % mayor que la del tratamiento  $\theta_v$  y  $ET_c$ , respectivamente (Figura 2B). El hecho de que el tratamiento  $T_c$  mostrará una mayor  $EUA_{int}$  y  $EUA_{ins}$  apuntó a un mejor comportamiento fisiológico de estas plantas.



**Figura 1.** Evolución estacional del (A) potencial hídrico de tallo ( $\Psi_{tallos}$ ) y de la (B) conductancia estomática ( $g_s$ ) y (C) fotosíntesis neta ( $F_n$ ) de limeros jóvenes en los tres tratamientos de riego estudiados: contenido volumétrico de agua en el suelo ( $\theta_v$ ), evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) y temperatura de la copa del árbol ( $T_c$ ). Cada punto es la media de 4 repeticiones  $\pm$  error estándar. DDA: día del año.

La mayor producción de limas se registró en el tratamiento  $\theta_v$ , sin diferencias significativas con el tratamiento  $ET_c$ , mostrando los valores más bajos el tratamiento  $T_c$ . Concretamente, la producción del tratamiento  $\theta_v$  fue 6 y 19 kg por árbol mayor que la del tratamiento  $ET_c$  y  $T_c$ , respectivamente (Tabla 1). El peso medio de fruto fue similar ( $\approx 95$  g) consecuencia de que tampoco se observaron diferencias significativas en el número de frutos obtenidos en cada uno de los tratamientos (datos no mostrados).



**Figura 2.** Evolución estacional de la (A) eficiencia del uso del agua intrínseca ( $EUA_{int}$ ) e (B) instantánea ( $EUA_{ins}$ ) en hojas de limeros jóvenes en los tres tratamientos riego estudiados: contenido volumétrico de agua en el suelo ( $\theta_v$ ), evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) y temperatura de la copa del árbol ( $T_c$ ). Cada punto es la media de 4 repeticiones  $\pm$  error estándar. DDA: día del año.

El hecho de que la producción del tratamiento  $\theta_v$  fuese más elevada podría ser consecuencia de que el agua aplicada en este tratamiento fue también mayor, concretamente en este tratamiento se aplicó un 43 y 23 % más de agua que en el tratamiento  $ET_c$  y  $T_c$ , respectivamente. Así pues, se corrobora la relación positiva y directa entre la cantidad de agua aplicada y los kg de fruta

obtenidos [5,21]. La eficiencia del uso del agua desde el punto de vista agronómico ( $EUA_{\text{agro}}$ ) no mostró diferencias significativas entre tratamientos, con un valor medio de  $4,4 \text{ kg m}^{-3}$ .

Tabla 1. Producción de lima en el corte I (1 de septiembre de 2022), corte II (7 de octubre de 2022) y total, en los tres tratamientos riego estudiados: contenido volumétrico de agua en el suelo ( $\theta_v$ ), evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) y temperatura de la copa del árbol ( $T_c$ ).

| Tratamiento | Producción (kg árbol <sup>-1</sup> ) |                           |                           | $EUA_{\text{agro}}$<br>(kg m <sup>-3</sup> ) |
|-------------|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--|
|             | Corte I                              | Corte II                  | Total                     |  |
| $\theta_v$  | $8,1 \pm 2,7 \text{ a}$              | $51,9 \pm 5,1 \text{ a}$  | $60,0 \pm 6,1 \text{ a}$  | $4,3 \pm 0,4 \text{ a}$                      |
| $ET_c$      | $8,8 \pm 1,8 \text{ a}$              | $44,9 \pm 7,0 \text{ ab}$ | $53,7 \pm 5,1 \text{ ab}$ | $4,8 \pm 0,4 \text{ a}$                      |
| $T_c$       | $7,3 \pm 4,1 \text{ a}$              | $33,4 \pm 5,7 \text{ b}$  | $40,7 \pm 4,8 \text{ b}$  | $4,2 \pm 0,5 \text{ a}$                      |

Cada valor es la media de 4 repeticiones  $\pm$  error estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de acuerdo al test de la mínima diferencia significativa (MDS) ( $p < 0.05$ ).

#### 4. Conclusiones

La ausencia de estrés hídrico y similar eficiencia del uso del agua agronómica observada en los tres tratamientos de riego, validó el uso de sensores de estado hídrico del suelo y de la planta en la automatización del riego de precisión en cítricos. Estos sensores nos permiten conocer el estado hídrico del cultivo de forma continua, ajustando así la dosis de riego en tiempo real contribuyendo al ahorro de agua. En contraposición, la programación del riego basada en la estimación de la evapotranspiración del cultivo resulta muy empírica, debido a las incertidumbres derivadas de la misma.

#### 5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con el proyecto PID2019-106226RB-C21/AEI/10.13039/501100011033, del Plan Nacional de I+D/AEI, y el programa AGROALNEXT, financiado por el MCIN con fondos europeos NextGenerationEU (PRTR-C17.I1) y por la Fundación Séneca- Región de Murcia.

#### Referencias

1. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico (MITECO) Situación respecto a la sequía prolongada y la escasez coyuntural 2022. 2022, 1–65.
2. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements; Rome, 1998; ISBN 9251042195.
3. Martínez-Gimeno, M.A.; Jiménez-Bello, M.A.; Lidón, A.; Manzano, J.; Badal, E.; Pérez-Pérez, J.G.; Bonet, L.; Intrigliolo, D.S.; Esteban, A. Mandarin irrigation scheduling by means of frequency domain reflectometry soil moisture monitoring. *Agric. Water Manag.*, 2020. Vol. 235: 106151.
4. Conesa, M.R.; Conejero, W.; Vera, J.; Ruiz-Sánchez, M.C. Soil-based automated irrigation for a nectarine orchard in two water availability scenarios. *Irrig. Sci.*, 2021. Vol. 39: 421–439.
5. Padilla-Díaz, C.M.; Rodríguez-Domínguez, C.M.; Hernández-Santana, V.; Pérez-Martin, A.; Fernández, J.E. Scheduling regulated deficit irrigation in a hedgerow olive orchard from leaf turgor pressure related measurements. *Agric. Water Manag.*, 2016. Vol. 164: 28–37.
6. Conejero, W.; Alarcón, J.J.; García-Orellana, Y.; Nicolás, E.; Torrecillas, A. Evaluation of sap flow and trunk diameter sensors for irrigation scheduling in early maturing peach trees. *Tree Physiol.*, 2007. Vol. 27: 1753–1759.

7. Khorsand, A.; Rezaverdinejad, V.; Asgarzadeh, H.; Majnooni-Heris, A.; Rahimi, A.; Besharat, S. Irrigation scheduling of maize based on plant and soil indices with surface drip irrigation subjected to different irrigation regimes. *Agric. Water Manag.*, 2019. Vol. 224: 105740.
8. Erdem, Y.; Erdem, T.; Orta, A.H.; Okursoy, H. Irrigation scheduling for watermelon with crop water stress index (CWSI). *J. Cent. Eur. Agric.*, 2005. Vol. 6: 449–460.
9. Zhang, H.; Wang, D.; Gartung, J.L. Influence of irrigation scheduling using thermometry on peach tree water status and yield under different irrigation systems. *Agronomy*, 2017. Vol. 7: 12.
10. Romero-Trigueros, C.; Parra, M.; Bayona, J.M.; Nortes, P.A.; Alarc, J.J.; Nicol, E. Effect of deficit irrigation and reclaimed water on yield and quality of grapefruits at harvest and postharvest. *Food Sci. Technol.*, 2017a. Vol. 85: 405–411.
11. Blanco, V.; Domingo, R.; Pérez-Pastor, A.; Blaya-Ros, P.J.; Torres-Sánchez, R. Soil and plant water indicators for deficit irrigation management of field-grown sweet cherry trees. *Agric. Water Manag.*, 2018. Vol. 208: 83–94.
12. Pascual, M.; Villar, J.M.; Rufat, J. Water use efficiency in peach trees over a four-years experiment on the effects of irrigation and nitrogen application. *Agric. Water Manag.*, 2016. Vol. 164: 253–266.
13. Merriam, J.L. A management control concept for determining the economical depth and frequency of irrigation. *Trans. ASAE*, 1966. Vol. 9: 492–498.
14. Hsiao, T.C. Measurements of plant water status. In *Irrigation of Agricultural Crops (Monograph no. 30)*; Eds. B A Stewart and D R Nielsen, Ed.; American Society of Agronomy: Madison, 1990, 243–279.
15. McCutchan, H.; Shackel, K. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus Domestica* L. Cv. *French*). *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 1992. Vol. 117: 607–611.
16. Romero-Trigueros, C.; Nortes, P.A.; Alarcón, J.J.; Hunink, J.E.; Parra, M.; Contreras, S.; Droogers, P.; Nicolás, E. Effects of saline reclaimed waters and deficit irrigation on citrus physiology assessed by UAV remote sensing. *Agric. Water Manag.*, 2017b. Vol. 183: 60–69.
17. Conesa, M.R.; De la Rosa, J.M.; Fernández-Trujillo, J.P.; Domingo, R.; Pérez-Pastor, A. Deficit irrigation in commercial mandarin trees: Water relations, yield and quality responses at harvest and after cold storage. *Spanish J. Agric. Res.*, 2018. Vol. 16: e1201.
18. Mira-García, A.B.; Conejero, W.; Vera, J.; Ruiz-Sánchez, M.C. Leaf water relations in lime trees grown under shade netting and open-air. *Plants*, 2020. Vol. 9: 510.
19. Pérez-Pérez, J.G.; Dodd, I.C.; Botía, P. Partial rootzone drying increases water-use efficiency of lemon 'Fino 49' trees independently of root-to-shoot ABA signalling. *Funct. Plant Biol.*, 2012. Vol. 39: 366–378.
20. Alarcón, J.J.; Ortuño, M.F.; Nicolás, E.; Navarro, A.; Torrecillas, A. Improving water-use efficiency of young lemon trees by shading with aluminised-plastic nets. *Agric. Water Manag.*, 2006. Vol. 82: 387–398.
21. Conesa, M.R.; Conejero, W.; Vera, J.; Ramírez-Cuesta, J.M.; Ruiz-Sánchez, M.C. Terrestrial and remote indexes to assess moderate deficit irrigation in early-maturing nectarine trees. *Agronomy*, 2019. Vol. 9: 630.
22. Romero-Trigueros, C.; Bayona Gambín, J.M.; Nortes Tortosa, P.A.; Alarcón Cabañero, J.J.; Nicolás Nicolás, E. Isohyricity of two different citrus species under deficit irrigation and reclaimed water conditions. *Plants*, 2021. Vol. 10: 2121.
23. Zandalinas, S.I.; Rivero, R.M.; Martínez, V.; Gómez-Cadenas, A.; Arbona, V. Tolerance of citrus plants to the combination of high temperatures and drought is associated to the increase in transpiration modulated by a reduction in abscisic acid levels. *BMC Plant Biol.*, 2016. Vol. 16: 105.
24. Devi, M.J.; Reddy, V.R. Stomatal closure response to soil drying at different vapor pressure deficit conditions in maize. *Plant Physiol. Biochem.*, 2020. Vol. 154: 714–722.



# XXXIX Congreso Nacional de Riegos ÚBEDA (JAÉN)

18, 19, 20 de octubre de 2023



Universidad  
de Jaén

