

## Low-Cost infrared thermography for water stress detection in almond trees

## Termografía infrarroja de bajo coste para la detección de estrés hídrico en almendros

P.J. Blaya-Ros<sup>1\*</sup>, R. Torres-Sánchez<sup>2</sup>, V. Blanco-Montoya<sup>1</sup>, R. Domingo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Agronómica, Universidad Politécnica de Cartagena, Pase Alfonso XIII, 48. 30203, Cartagena. Spain

<sup>2</sup>Dpto. de Automática, Ingeniería Eléctrica y Tecnología Electrónica, Universidad Politécnica de Cartagena. Spain

\*pedro.blaya@upct.es

### **Abstract**

**In the Mediterranean basin, where water is the main limiting production factor, accurate and careful application of irrigation volumes is key. In this sense, the use of deficit irrigation strategies linked to the use of technologies can contribute to improving the efficiency and sustainability of irrigated agriculture. The aim of this study was to assess the adequacy of infrared thermography for water status detection in 'Marta' almond trees. For that purpose, an irrigation experiment was conducted in 2018 that consisted of three treatments: ii) a control, CTL, irrigated at 115% of the crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) and iii) two regulated deficit irrigation treatments, RDC45 and RDC30, both irrigated at 100% ET<sub>c</sub>, except during kernel-filling period, stage IV (June - mid-August), when they were irrigated at 45 and 30% ET<sub>c</sub>, respectively. Thermal-water stress indexes derived from canopy temperature, T<sub>c</sub>, were sensitive indicators almond trees water status under different water-stress conditions.**

**Keywords:** canopy temperature; stem water potential; water relations.

### **Resumen**

**En la cuenca mediterránea, donde el principal factor limitante de la producción es el agua, la aplicación precisa de los volúmenes de riego es clave. En este sentido, el uso de las nuevas tecnologías puede contribuir a la mejora de la eficiencia de uso del agua y sostenibilidad de la agricultura. El objeto de este trabajo fue evaluar la idoneidad de la termografía infrarroja para la determinación del estado hídrico de almendros 'Marta'. Para ello, se llevó a cabo un ensayo de riego en 2018 que constó de tres tratamientos: i) un control, CTL, regado al 115% de la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) y ii) dos tratamientos de riego deficitario controlado, RDC45 y RDC30, regados al 100% ET<sub>c</sub>, a excepción de la fase de llenado de grano, fase IV (junio - mediados de agosto), cuando se aplicó el 45 y 30% ET<sub>c</sub>, respectivamente. Los índices térmicos derivados de la temperatura de la copa, T<sub>c</sub>, fueron indicadores sensibles del estado hídrico del almendro originado bajo las diferentes condiciones hídricas impuestas.**

**Palabras clave:** temperatura de la copa; potencial hídrico de tallo; relaciones hídricas.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la cuenca mediterránea, donde ocurren fuertes déficits hídricos estacionales, es prioritario optimizar el uso del agua en la agricultura, por tratarse del principal destinatario de los recursos hídricos disponibles [1]. Esta realidad ha dado lugar a diversas actuaciones tendentes a racionalizar el uso del agua; entre ellas, la programación científico-técnica del riego. La termografía infrarroja emergió como una herramienta para conocer el estado hídrico de un cultivo de forma rápida y no destructiva y para su aplicación a la programación de los riegos [2]. La temperatura de la copa ( $T_c$ ) es un indicador del nivel de transpiración o del grado de apertura del estoma y por tanto, es una medida de la respuesta de la planta a ambientes adversos [3]. Independientemente de ello, las relaciones entre  $T_c$  y los parámetros fisiológicos del cultivo no siempre tienen una estrecha relación en condiciones de campo [4]. Para minimizar la influencia de determinados factores ambientales se obtuvieron diversos índices de estrés térmico derivados de  $T_c$  [3].

El objetivo de este trabajo fue evaluar la utilidad de las imágenes térmicas obtenidas con una cámara térmica de bajo coste conectada a un Smartphone en la determinación del estado hídrico de almendros adultos sometidos a riego deficitario controlado.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo durante 2018 en almendros (*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb) ‘Marta’ injertados sobre ‘Mayor’ en una parcela experimental de 1 ha de superficie perteneciente a la Estación Experimental Agroalimentaria ‘Tomás Ferro’ (ETSIA-UPCT), ubicada en La Palma, Cartagena (37º 41’ N, 0º 57’ E). Los árboles, de 17 años de edad y diámetro de tronco de 24,18 cm, están dispuestos a marco de 7 m x 6 m. El sistema de riego por goteo constaba de dos laterales por hilera de árboles y emisores autocompensantes de 4 L h<sup>-1</sup> a un metro de separación (12 emisores árbol<sup>-1</sup>). El agua de riego, proveniente del transvase Tajo-Segura, presentó una conductividad eléctrica (CE) de 1,1 dS m<sup>-1</sup>. Todos los tratamientos recibieron idénticos cuidados agrícolas. Se ensayaron 3 tratamientos de riego según un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones y 12 árboles por repetición. Los tratamientos de riego fueron: i) control, CTL, regado al 115% de la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ) y ii) dos riegos deficitarios controlados, RDC45 y RDC30, regados al 100% de  $ET_c$ , a excepción de la fase de llenado de grano, fase IV (junio – mediados de agosto) cuando se aplicó el 45% y 30% de  $ET_c$ , respectivamente. Las dosis de riego se calcularon semanalmente a partir de la estimación de la evapotranspiración del cultivo:  $ET_c = ET_0 \times K_c \times K_L$ , donde  $K_c$  es el coeficiente de cultivo y  $K_L$  el de localización.

El potencial hídrico de tallo a mediodía ( $\Psi_{stem}$ ) se midió periódicamente con una cámara de presión tipo Scholander (mod. SF-PRES-70, SolFranc Tecnologías, S.L., España) en hojas envueltas con una lámina de polietileno negro y encima de esta otra de papel de aluminio al menos 2 horas antes de las medidas (Hsiao, 1990). La temperatura de la copa ( $T_c$ ) se midió con una cámara térmica (Flir One, Flir Systems, Wilsonville, OR, USA) conectada a un teléfono inteligente, smartphone, y coincidiendo con las medidas de  $\Psi_{stem}$ . Las imágenes se tomaron en la parte soleada del árbol y a una distancia de 1,5 m de la copa, en 2 árboles por repetición (n=6). La emisividad fue configurada en “matt” ( $\epsilon=0,95$ ) [4]. Una vez obtenida  $T_c$ , se calculó la diferencia entre la temperatura de la copa y la del aire circundante ( $\Delta T$ ) y el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI, crop water stress index) [5]. Los datos de temperatura del aire circundante ( $T_{air}$ ), humedad relativa (HR) y el déficit de presión de vapor (DPV) fueron obtenidos mediante tres sensores VP-4 (METER Group Inc., Pullman, USA) y almacenados en nodos inalámbricos con conexión remota a servidores en la nube (Widhoc Smart Solutions, Fte Alamo España). Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el programa IBM SPSS Statistics (SPSS Inc., 24.0 Statistical package; Chicago, IL, USA).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El potencial de tallo a mediodía ( $\Psi_{\text{stem}}$ ) reflejó el manejo de riego seguido en los diferentes tratamientos de riego (Fig. 1a). El tratamiento CTL presentó valores medios de  $\Psi_{\text{stem}}$  de -0,71 MPa durante el periodo experimental, valores característicos de almendros bajo condiciones no limitantes de agua [6]. Los árboles RDC45 y RDC30 mantuvieron valores  $\Psi_{\text{stem}}$  semejantes a CTL durante aquellos periodos donde todos los tratamientos se regaban para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo, Fase II+III y V. En cambio, durante la fase IV, periodo de déficit hídrico y alta demanda climática, se produjo una caída de  $\Psi_{\text{stem}}$  en ambos tratamientos deficitarios, alcanzando valores mínimos de  $\Psi_{\text{stem}}$  de -1,83 y -2,08 MPa para los árboles RDC45 y RDC30, respectivamente. Los valores obtenidos en los árboles de los tratamientos deficitarios fueron claramente inferiores a los de los árboles CTL, como consecuencia del agotamiento progresivo del agua del suelo (datos no mostrados). El aumento de la energía absorbida por el cultivo como consecuencia de la regulación estomática ante un déficit hídrico reduce la transpiración y con ello la disipación de calor a través de la evaporación del agua [3], y como consecuencia aumenta tanto  $T_c$  como  $\Delta T$  (Fig. 1b y 1c). Los árboles CTL presentaron valores  $T_c$  inferiores a  $T_{\text{air}}$  ( $\Delta T$  media = -0,76°C) durante todo el periodo experimental. La sensibilidad de  $\Delta T$  para detectar el estrés hídrico se puso de manifiesto en la Fase IV, especialmente al final del periodo, donde los tratamientos bajo restricción hídrica alcanzaron valores de  $\Delta T$  de 3 y 4°C para los tratamientos RDC45 y RDC30, respectivamente. Los datos obtenidos son similares a los obtenidos por García-Tejero *et al.* en almendro [4], quienes observaron un aumento entre 3 y 5°C en los tratamientos con restricción hídrica.

La Fig. 1d muestra la evolución estacional de CWSI, indicador calculado a partir de las líneas base de no-estrés (LNE; estomas completamente abiertos) y de máximo estrés (LME; estomas completamente cerrados) [3]. CWSI sugiere que los árboles CTL mantuvieron una alta apertura estomática durante el ensayo, a excepción del día del año (DDA) 234 día de alta demanda climática. Los tratamientos deficitarios mostraron una tendencia similar a la mostrada por  $\Delta T$ , observándose un cierre estomático alto durante el periodo de restricción hídrica, fase IV, alcanzando un CWSI del 60% el DDA 234 en los árboles RDC30. Del mismo modo, RDC45 mostró un CWSI medio durante la reducción hídrica del 35%. La relación entre los indicadores térmicos derivados de  $T_c$  y  $\Psi_{\text{stem}}$  mostraron un alto nivel de significancia (Tabla 1), 0,85 y 0,80 para  $\Delta T$  y CWSI, respectivamente. Estos resultados apoyan la idoneidad de los índices térmicos [4] para detectar situaciones de déficit hídrico en almendros 'Marta'. E igualmente, sugieren su interés práctico en el manejo del riego del almendro.

### 4. CONCLUSIONES

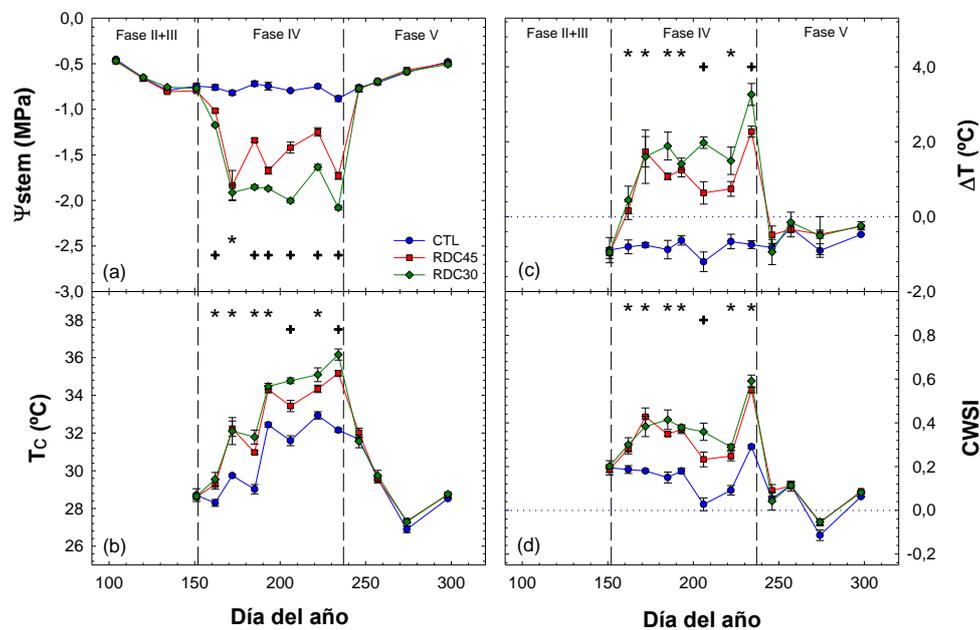
El uso de la termografía infrarroja a partir de cámaras térmicas de bajo coste conectadas a un teléfono móvil, puede ser una herramienta útil para la determinación del estado hídrico del almendro. La temperatura de la copa del árbol y más concretamente los índices derivados de ella, diferencias de temperaturas copa-aire ( $\Delta T$ ) y el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) pueden ser indicadores útiles para el seguimiento del estado hídrico del almendro y en el manejo del riego.

### 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad del Gobierno de España, MINECO (Ref. AGL2016-77282-C3-3-R) y la Fundación Séneca de la Región de Murcia (Grupo de excelencia 2016-2019, Ref. 19895/GERM/15).

## 6. REFERENCIAS

- [1] Fereres, E., Soriano, M.A., 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *J. Exp. Bot.* 58, 147–159.
- [2] García-Tejero, I.F., Gutiérrez-Gordillo, S., Ortega-Arévalo, C., Iglesias-Contreras, M., Moreno, J.M., Souza-Ferreira, L., Durán-Zuazo, V.H., 2018. Thermal imaging to monitor the crop-water status in almonds by using the non-water stress baselines. *Sci. Hortic.* 238, 91–97.
- [3] Jones, H.G., 2018. Thermal Imaging and Infrared Sensing in Plant Ecophysiology. In A. M. Sánchez-Moreiras, A. M., Reigosa, M. J. (Eds.), *Advances in Plant Ecophysiology Techniques*. pp. 135-151.
- [4] García-Tejero, I.F., Rubio, A.E., Viñuela, I., Hernández, A., Gutiérrez-Gordillo, S., Rodríguez-Pleguezuelo, C.R., Durán-Zuazo, V.H., 2018b. Thermal imaging at plant level to assess the crop-water status in almond trees (cv. Guara) under deficit irrigation strategies. *Agric. Water Manag.* 208, 176–186.
- [5] Jackson, R., Idso, S., Reginato, R., Pinter, P., 1981. Canopy temperature as a Crop Water Stress Indicator. *Water Resour. Res.* 17, 1133–1138.
- [6] 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 Manag.* 126, 33–45.



**Figura 1.** Evolución (a) del potencial hídrico de tallo ( $\Psi_{stem}$ ), (b) de la temperatura de la copa ( $T_c$ ), (c) de la diferencia de temperaturas copa y aire circundante ( $\Delta T$ ) y (d) del índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) durante el periodo experimental. Cada punto es la media de 6 medidas por tratamiento. Los asteriscos (\*) indican diferencias significativas entre el tratamiento control (CTL) y los de riego deficitario controlado (RDC45 y RDC30) y los signos (+) indican diferencias entre todos los tratamientos según ANOVA ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 1.** Parámetros de las ecuaciones de primer orden ( $y = ax + b$ ) obtenidas entre el potencial hídrico de tallo a mediodía ( $\Psi_{stem}$ ) y las variables térmicas durante las fases IV y V del ciclo del almendro en 2018.

Relación	R <sup>2</sup>	n	a	b
$\Psi_{stem}$ vs $T_c$	0,61***	36	-3,91	26,89
$\Psi_{stem}$ vs $\Delta T$	0,85***	36	0,173	-2,092
$\Psi_{stem}$ vs CWSI	0,80***	36	-0,277	-0,102

R<sup>2</sup> = coeficiente de determinación; n = número de datos;  $T_c$  = temperatura de la copa;  $\Delta T$  = diferencia entre la temperatura de la copa y la del aire circundante; CWSI = crop water stress index; \*\*\* significativo a  $P \leq 0,001$ .