

Estimating stomatal conductance in sweet cherry trees using thermal imaging

Estimación de la conductancia estomática en cerezos a partir del uso de imágenes térmicas

P.J. Blaya-Ros^{1*}, R. Torres-Sánchez², V. Blanco¹, R. Domingo¹

¹Departamento de Ingeniería Agronómica, ETSIA, Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 48, 30203 Cartagena. Murcia. Spain.

²Departamento de Automática, Ingeniería Eléctrica y Tecnología Electrónica, ETSII, Universidad Politécnica de Cartagena. Campus Muralla del Mar, Calle Doctor Fleming S/N, 30202 Cartagena, Murcia. Spain.

*pedro.blaya@upct.es

Abstract

An experiment of withholding and resuming irrigation was carried out in young cherry trees (*Prunus avium* L.) during the summer of 2019. The aim of this experiment was to assess the use of infrared thermography to detect water stress and estimate stomatal conductance based on canopy temperature. Three irrigation treatments were evaluated: a control treatment, irrigated to ensure non-limiting soil water conditions, and two deficit irrigation treatments. Both deficit treatments were subjected to two withholding and resuming irrigation cycles of different duration and intensity, up to reach moderate water stress (MS) and severe water stress (SS). The trees submitted to MS and SS resulted in different response, however, both deficit treatments decreased stomatal conductance (gs), and increased canopy temperature (Tc), canopy-air temperature difference (ΔT) and crop water stress index (CWSI). gs estimation based on ΔT and CWSI indices was more accurate than the one based on Tc.

Keywords: water stress; leaf temperature; water stress indices; stomatal conductance.

Resumen

Durante el verano de 2019 se realizó un ensayo de supresión-reanudación del riego en cerezos jóvenes (*Prunus avium* L.), con el objetivo de evaluar el uso de la termografía infrarroja para detectar estrés hídrico y estimar el nivel de conductancia estomática a partir de medidas de temperatura de copa. Para ello, se ensayaron tres tratamientos de riego: un control, regado para asegurar condiciones no limitantes de agua en el suelo, y dos tratamientos de riego deficitario. Ambos tratamientos deficitarios se sometieron a dos ciclos de supresión-reanudación del riego con diferente duración e intensidad de modo que uno alcanzase un nivel de estrés moderado (MS) y otro de estrés severo (SS). Los árboles sometidos a MS y a SS respondieron diferente, aunque en ambos casos disminuyeron la conductancia estomática (gs), y aumentaron la temperatura de copa (Tc), la diferencia de temperaturas copa-aire (ΔT) y el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI). La estimación de gs fue más precisa al realizarla a partir de los índices ΔT y CWSI que de la variable Tc.

Palabras clave: estrés hídrico; temperatura foliar; índices de estrés, conductancia estomática.

1. INTRODUCCIÓN

La escasa disponibilidad hídrica, acentuada como consecuencia del cambio climático, es uno de los principales factores limitantes del desarrollo vegetativo y productivo de los cultivos. En las

zonas áridas y semiáridas, donde los cultivos se encuentran sometidos a altas demandas evaporativas, la regulación estomática juega un papel crucial en el balance de agua y CO₂ de las plantas, controlando procesos fisiológicos como la transpiración y fotosíntesis (1). La regulación estomática es una de las respuestas de las plantas al déficit hídrico, lo que conlleva una reducción de la tasa transpirativa y con ella de la disipación de energía, con lo que la temperatura de la copa, T_c, tiende a aumentar (1). Siguiendo este principio, la termografía infrarroja surgió como una técnica para evaluar el estado hídrico de un cultivo de forma rápida y no destructiva (2). Por todo ello, la finalidad del presente experimento fue estudiar el potencial de la termografía infrarroja para detectar estrés hídrico y determinar la conductancia estomática en cerezos a partir de dos ciclos de sequía-recuperación del estrés hídrico.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo fue llevado a cabo durante el periodo junio – septiembre de 2019 (día del año, DDA, 170 – 268) en una parcela ubicada a la Estación Experimental Agroalimentaria ‘Tomás Ferro’ (ETSIA-UPCT), Cartagena. Los cerezos (*Prunus avium* L. ‘Lapins’/Mirabolano), de 3 años de edad, estaban dispuesta a marco de 3,5 m x 2,25 m. El sistema de riego consistió en un único lateral con tres emisores por árbol (2,2 L h⁻¹). El ensayo constó de 3 tratamientos según un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones y 4 árboles por repetición. Los tratamientos de riego fueron: i) CTL, control, regado para asegurar condiciones no limitantes de agua en el suelo, ii) MS, déficit moderado, regado como CTL hasta finales de junio, momento a partir del cual se alternaron 2 ciclos consecutivos de supresión-reanudación del riego. El riego se reanudó tras alcanzar un potencial hídrico de tallo, Ψ_{stem}, de -1,3 MPa en el primer ciclo y de -1,6 MPa en el segundo ciclo; y iii) SS, déficit severo, similar a MS, pero con recuperaciones a -1,6 MPa y -2,3 MPa. Los periodos de recuperación se dieron por finalizados cuando los valores de Ψ_{stem} de los tratamientos deficitarios alcanzaron valores de Ψ_{stem} similares a los de los árboles CTL. La dosis de riego aplicada fue calculada semanalmente según la metodología FAO (3).

El estado hídrico de la planta fue determinado a partir de la conductancia estomática, g_s, y de la temperatura de la copa, T_c, medidos a mediodía solar (11:00–13:00 UT) cada 3-7 días. g_s fue medida con un intercambiador de gases portable (CIRAS2, PPSsystem, USA) en 2 hojas soleadas y adultas por repetición. T_c se obtuvo con una cámara térmica (Flir One, Flir Systems, Wilsonville, OR, USA). Las imágenes fueron tomadas a una distancia de 1,5 m de la copa y en la zona soleada del árbol (4). Una vez obtenida T_c, y para mitigar el efecto de las variables meteorológicas, dos índices térmicos fueron calculados: (i) la diferencia entre la temperatura de la copa y la del aire circundante (ΔT; 1); y ii) el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI; 2) (5):

$$\Delta T = T_c - T_a \quad (1)$$

$$CWSI = \frac{\Delta T - \Delta T_{wet}}{\Delta T_{dry} - \Delta T_{wet}} \quad (2)$$

donde, T_a es la temperatura del aire circundante, obtenida a partir de 3 sensores ATMOS-14 (METER Group Inc., Pullman, WA, USA); T_c es la temperatura de la copa; ΔT_{wet} es la diferencia entre la temperatura de la copa-aire circundante cuando el cultivo tiene los estomas completamente abiertos y ΔT_{dry} cuando están completamente cerrados. ΔT_{wet} y ΔT_{dry} fueron obtenidos a partir de las líneas límite inferior (LLI) y superior (LLS) (6). Se realizó el análisis de varianza de los datos obtenidos con el programa estadístico IBM SPSS Statistics v.24 (Statistical package, USA), y las gráficas se realizaron con Sigmaplot Plus v.12.5 (Systat Software, USA).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los periodos de supresión del riego generaron una clara regulación estomática en los tratamientos deficitarios (Fig. 1a), provocando una caída de los valores de conductancia estomática, g_s. Esta regulación estomática causó una reducción de la tasa transpirativa y de la

disipación de calor al disminuir la evaporación de agua (1). La reducción de g_s provocó, a su vez, un aumento de la temperatura de copa, T_c , en los tratamientos deficitarios (Fig. 1b), lo que se tradujo en valores ΔT superiores a los de CTL (Fig. 1c). Sin embargo, el estrés al que fueron sometidos los árboles de MS y SS no fue suficiente para provocar un cierre estomático total (Fig. 1a), debido a lo cual los valores ΔT obtenidos fueron inferiores al valor límite ΔT_{dry} propuesto por Jones (1) para climas Mediterráneos ($\Delta T_{dry} \approx 5^\circ\text{C}$) y por Blaya-Ros et al. (6) en cerezos ($\Delta T_{dry} \approx 6^\circ\text{C}$). Del mismo modo, el cierre estomático incrementó los valores de CWSI (Fig. 1d), alcanzando valores cercanos a 0,5 durante el primer ciclo de supresión y de 0,8–0,9 durante el segundo periodo de supresión en ambos tratamientos de riego deficitario. Por otro lado, los árboles del tratamiento CTL mantuvieron valores inferiores a la temperatura del aire ($\Delta T_{media} = -0,72^\circ\text{C}$) durante todo el periodo experimental. Sin embargo, los árboles CTL mostraron un valor medio de CWSI de 0,16 durante el experimento, lo que puede ser indicativo de que su apertura estomática no se correspondiese con la máxima teórica, posiblemente debido a un aumento de la resistencia al flujo del agua, aun cuando el agua del suelo no fuera un factor limitante (7).

Las relaciones lineales obtenidas entre g_s y las diferentes variables térmicas obtenidas durante el experimento, T_c , ΔT y CWSI, presentaron coeficientes de determinación más altos para g_s vs ΔT y g_s vs CWSI que para g_s vs T_c (Fig. 2). Relaciones similares fueron observadas por García-Tejero et al. (8) en almendros, donde T_c mostró un menor coeficiente de correlación con g_s que con los índices térmicos derivados de esta, debido a que ΔT y CWSI reducen la influencia de las variables meteorológicas (9).

4. CONCLUSIONES

La termografía infrarroja puede considerarse una técnica interesante para estimar la conductancia estomática de cerezos jóvenes. Además, T_c y, más específicamente, los índices térmicos derivados de ella, ΔT y CWSI, son indicadores apropiados para evaluar el estado hídrico de la planta de forma rápida y sencilla y realizar el seguimiento indirecto del nivel de conductancia estomática del cultivo.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad del Gobierno de España, MICIIN (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. Jones HG. Thermal imaging and infrared sensing in plant ecophysiology. In A. M. Sánchez-Moreiras, A. M., Reigosa, M. J. (Eds.), *Advances in Plant Ecophysiology Techniques*. 2018:135-51.
2. García-Tejero IF, Gutiérrez-Gordillo S, Ortega-Arévalo C, Iglesias-Contreras M, Moreno JM, Souza-Ferreira L, et al. Thermal imaging to monitor the crop-water status in almonds by using the non-water stress baselines. *Sci Hortic (Amsterdam)*. 2018;238:91–7.
3. Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper No. 56. Rome, Italy, 1998:15–27.
4. García-Tejero IF, Rubio AE, Viñuela I, Hernández A, Gutiérrez-Gordillo S, Rodríguez-Pleguezuelo CR, et al. Thermal imaging at plant level to assess the crop-water status in almond trees (cv. Guara) under deficit irrigation strategies. *Agric Water Manag*. 2018;208:176–86.
5. Jackson R., Idso S., Reginato R., Pinter P. Canopy temperature as a Crop Water Stress Indicator. *Water Resour Res*. 1981;17(4):1133–8.
6. Blaya-Ros PJ, Blanco V, Domingo R, Soto-Valles F, Torres-Sánchez R. Feasibility of low-cost thermal imaging for monitoring water stress in young and mature sweet cherry trees. *Appl Sci*. 2020;10(16):5461.
7. Jackson RD, Kustas WP, Choudhury BJ. A reexamination of the crop water stress index. *Irrig Sci*. 1988;9(4):309–17.
8. García-Tejero IF, Costa JM, Egipto R, Durán-Zuazo VH, Lima RSN, Lopes CM, et al. Thermal data to monitor crop-water status in irrigated Mediterranean viticulture. *Agric Water Manag [Internet]*. 2016;176:80–90. Available

from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.008>

9. Jones HG. Use of infrared thermometry for estimation of stomatal conductance as a possible aid to irrigation scheduling. *Agric For Meteorol.* 1999 Jun 23;95(3):139–49.

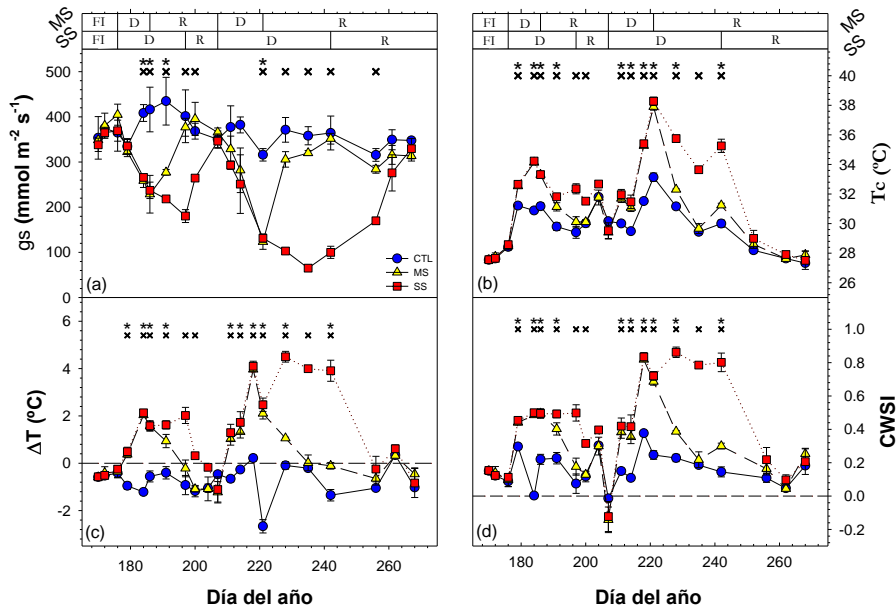


Figura 1. Evolución de (a) la conductancia estomática (g_s), (b) temperatura de la copa (T_c), su diferencial con respecto al aire (ΔT) y (c) del índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) durante el periodo de estudio. Cada punto es la media \pm error estándar (ES) de 6 medidas por tratamiento. Los asteriscos y cruces indican diferencias significativas entre CTL y MS y CTL y SS, respectivamente, según el test de Rango Múltiple de Duncan ($p < 0,05$). Las barras horizontales superiores indican periodos de los ciclos supresión-recuperación del riego que definieron a los tratamientos MS y SS: 'FI' es el periodo previo al inicio de los ciclos de supresión-recuperación, en el que ambos tratamientos fueron regados como CTL; 'D', periodo de supresión de riego; 'R', periodo de recuperación de los árboles.

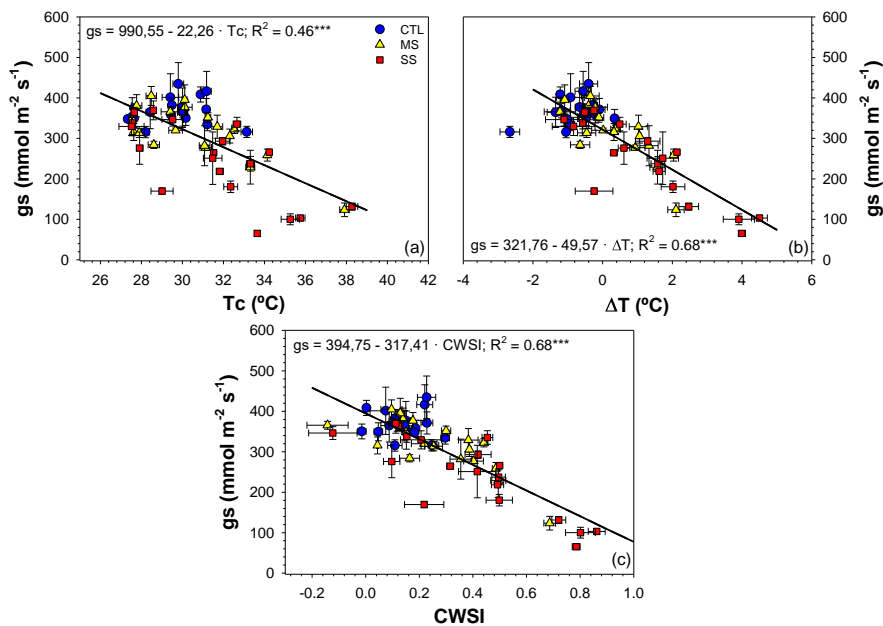


Figura 2. (a) Relación entre la temperatura de copa (T_c) y la conductancia estomática (g_s). (b) Relación entre la diferencia de temperatura copa-aire (ΔT) y g_s . (c) Relación entre el índice de estrés hídrico del cultivo (CWSI) y g_s . Cada punto es la media \pm ES de 6 medidas por tratamiento.