

# Determinación del estado hídrico de viñedos mediante imágenes térmicas de alta resolución obtenidas con un vehículo aéreo no tripulado

J. Bellvert <sup>(1)</sup>, P.J. Zarco-Tejada <sup>(2)</sup>, J. Girona <sup>(1)</sup>, E. Fereres <sup>(2)(3)</sup>



<sup>(1)</sup> Programa Uso Eficiente del Agua. Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (IRTA). Av. Alcalde Rovira Roure 191, 25198 Lleida. Tel: 973082350 (ext. 1566).

E-mail: [joaquim.bellovert@irta.cat](mailto:joaquim.bellovert@irta.cat)

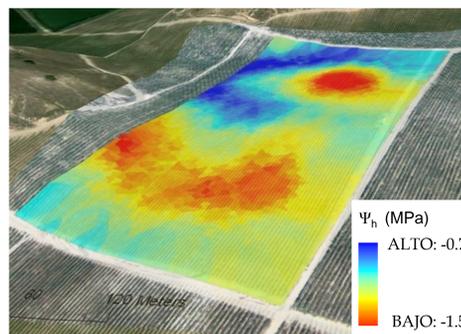
<sup>(2)</sup> Instituto de Agricultura Sostenible (IAS). Consejo de Investigaciones Científicas (CSIC), Av. Menéndez Pidal s/n, Campus Alameda del Obispo, 14080 Córdoba.

<sup>(3)</sup> Departamento de Agronomía, Universidad de Córdoba (UCO), Avd. Medina Azahara 5, 14071 Córdoba.

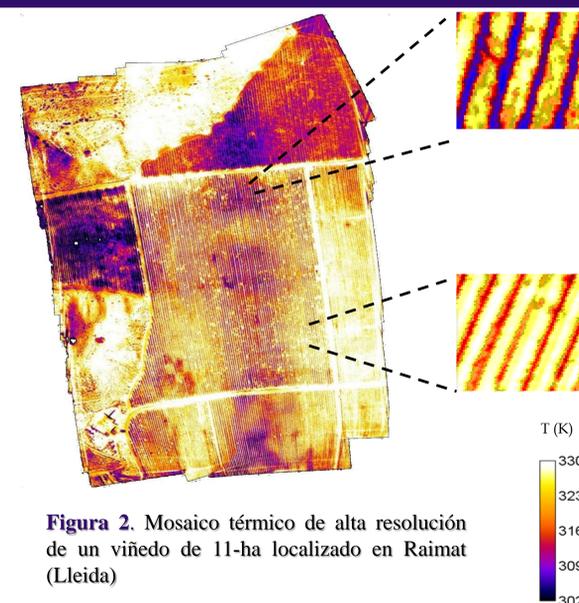


## Introducción

Las importantes implicaciones que el riego tiene sobre la composición de la uva y calidad del mosto (Basile et al. 2011) hace que sea necesaria la caracterización de la variabilidad espacial del estado hídrico de los viñedos y en función de ello, aplicar racionalmente el riego. El método comúnmente más utilizado para determinar el estado hídrico de las plantas es midiendo el potencial hídrico foliar ( $\Psi_h$ ). Sin embargo, para ello es necesario disponer de una cámara de presión y realizar un gran número de medidas manuales en un tiempo limitado alrededor del mediodía, lo que supone un elevado coste y prácticamente lo hace inviable para grandes superficies. El uso de la temperatura de la hoja también ha resultado ser un buen indicador del estado hídrico (Jackson et al. 1977; Gates et al. 1964). En el presente estudio se ha explorado la alternativa de utilizar el Crop water stress index (CWSI) (Idso et al. 1981). Para determinar empíricamente el CWSI, se requiere medir la temperatura de la hoja ( $T_h$ ), la temperatura del aire ( $T_a$ ), y el déficit de presión de vapor (DPV). Los avances recientes en teledetección pueden permitir evaluar el estado hídrico de grandes extensiones a un coste bajo. Un ejemplo es el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) equipados con imágenes térmicas de alta resolución espacial (Berni et al. 2009). El objetivo de este estudio fue obtener un mapa de CWSI de un viñedo y relacionarlo con medidas de  $\Psi_h$ . Igualmente se estudiaron aspectos metodológicos como la óptima resolución espacial del píxel o el momento óptimo del día para detectar el estado hídrico mediante la adquisición de imágenes térmicas. Así, los resultados de este estudio pueden ser de gran interés para el sector vitivinícola para aplicar eficientemente el riego.



**Figura 1.** Variabilidad espacial del estado hídrico de un viñedo de 11-ha de 'Pinot-noir', obtenido con medidas del potencial hídrico de hoja al mediodía ( $\Psi_h$ ).



**Figura 2.** Mosaico térmico de alta resolución de un viñedo de 11-ha localizado en Raimat (Lleida)

El CWSI se calculó según (Idso et al. 1981):

$$CWSI = \frac{(T_h - T_a) - (T_h - T_a)_{LL}}{(T_h - T_a)_{UL} - (T_h - T_a)_{LL}}$$

## Materiales y Métodos

El estudio se llevó a cabo durante los años 2009 y 2010 en un viñedo de 11-ha de Pinot-noir localizado en Raimat (Lleida). En primer lugar, se desarrolló el Crop water stress index (CWSI) midiendo la temperatura de la hoja ( $T_c$ ) de las viñas, con sensores de temperatura infrarrojo, y se validó con medidas de potencial hídrico foliar ( $\Psi_h$ ).

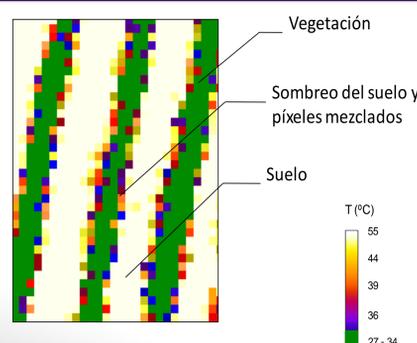
El 31 de julio del 2009, se validó la relación CWSI vs.  $\Psi_h$  en un viñedo, mediante la adquisición de imágenes térmicas utilizando un vehículo aéreo no tripulado con un sensor térmico Miricle 307K (Thermoteknix Systems Ltd, Cambridge, UK). La resolución de la cámara es de 640x480 píxeles. El UAV voló sobre el viñedo a las 7:30, 9:30 y 12:30 hora solar (9:30, 11:30 y 14:30 hora local). La altura de vuelo fue 200 m sobre el suelo, obteniendo así unos píxeles de 30-cm de resolución espacial. Un posterior procesamiento de las imágenes consistió en re-muestrear el tamaño del píxel, para estudiar la influencia del tamaño de éste sobre la temperatura de la hoja y determinar así, la óptima resolución espacial para detectar el estado hídrico. Las nuevas imágenes presentaron píxeles de 60, 80, 100, 120, 150 y 200 cm.

El 31 de julio del 2009, coincidiendo con los distintos vuelos, se midió el  $\Psi_h$  en 184 cepas distribuidas de forma regular a lo largo del viñedo. Para llevar a cabo tal número de medidas, se necesitaron dos equipos de técnicos, cada uno de ellos equipado con una cámara de presión. La temperatura de la hoja ( $T_h$ ) se obtuvo exactamente de las 184 cepas donde se realizaron las medidas de  $\Psi_h$ . Posteriormente, con los algoritmos desarrollados para el cálculo del CWSI a partir de los datos obtenidos con los sensores de temperatura infrarrojo, se determinó el CWSI individualmente para cada viña.

## Resultados

El  $\Psi_h$  se correlacionó significativamente con el CWSI durante los dos años de estudio, presentando un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.43 y 0.85, en los años 2009 y 2010, respectivamente (Fig.3a). Los datos conjuntos de ambos años mostraron una fuerte relación entre los dos parámetros ( $R^2=0.83$ ).

La validación del CWSI con el  $\Psi_h$  se realizó posteriormente en un viñedo, adquiriendo las imágenes térmicas, en tres horas distintas (7:30, 9:30 y 12:30 hora solar). La relación entre CWSI y  $\Psi_h$  a las 7:30 h no fue significativa, debido entre otros factores, a la poca diferencia de temperatura existente entre el suelo y  $T_h$ . El  $\Psi_h$  se relacionó mejor a las 12:30 h en comparación con las 9:30 h. A las 9:30 h, la relación fue menor ( $R^2=0.46$ ) debido a un efecto del sombreado en las hojas y pocas diferencias de conductancia estomática ( $g_s$ ) entre las viñas con un buen estado hídrico y las sometidas a un déficit moderado. A las 12:30 h, el CWSI y  $\Psi_h$  presentaron la mejor relación ( $R^2=0.71$ ), sugiriendo que el mejor momento del día para determinar el estado hídrico mediante imágenes térmicas es alrededor del mediodía (Fig.3b).

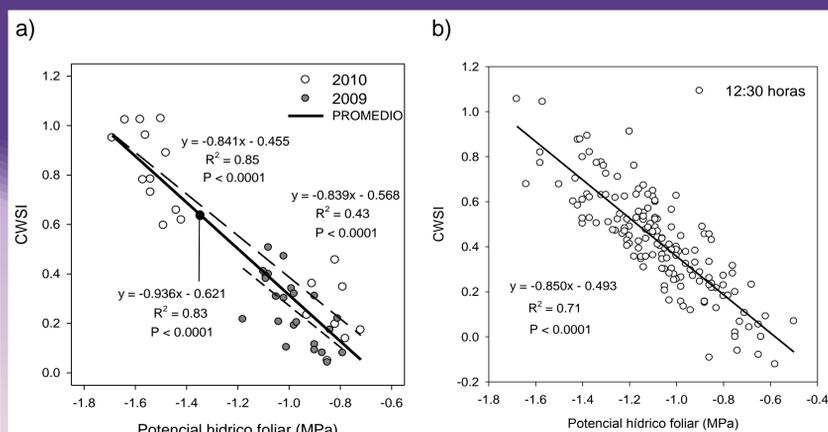


**Figura 4.** Imagen térmica detallada mostrando las diferencias entre temperaturas que permiten distinguir píxeles puros de vegetación, suelo y píxeles sombreados y mezclados.

En viña, imágenes térmicas de alta resolución espacial permitieron identificar píxeles completamente puros de vegetación (Fig.4), mientras que las resoluciones más bajas pueden verse afectadas por la influencia del suelo y sombras. Los resultados obtenidos en la relación CWSI y  $\Psi_h$  con distintos tamaños de píxel, mostraron que en el mosaico de las 12:30 horas, un aumento del tamaño del píxel de 30 a 60 cm, hizo disminuir significativamente la relación entre CWSI y  $\Psi_h$  (Tabla 1).

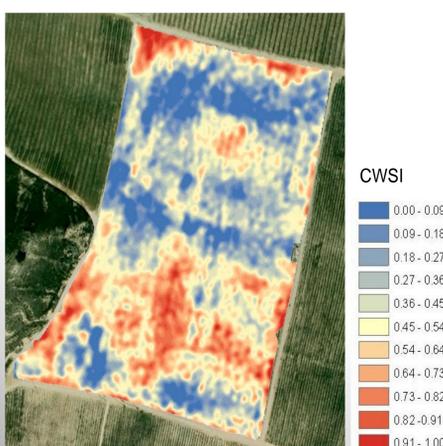
**Tabla 1.** Relación entre el potencial hídrico foliar y el CWSI, obtenido con imágenes térmicas de alta resolución mediante un vehículo aéreo no tripulado, a las resoluciones espaciales de píxel de 30, 60, 80, 100, 120, 150 y 200 cm, a las 09:30 y 12:30 hora solar.

Resolución píxel (cm)	09:30 h	12:30 h
	$R^2$	$R^2$
30	0.46	0.71
60	0.42	0.38
80	0.41	0.27
100	0.39	0.22
120	0.36	0.05
150	0.34	0.28
200	0.30	0.29



**Figura 3.** Relación entre CWSI y potencial hídrico foliar ( $\Psi_h$ ) en a) a nivel de suelo, en los años 2009 y 2010 y b) en un viñedo de 'Pinot-noir'. Ambas medidas se realizaron a las 12:30 hora solar.

**Figura 5.** Mapa de Crop water stress index (CWSI) de un viñedo de 11 hectáreas de 'Pinot-noir', en Raimat (Lleida).



## Conclusiones

Con los algoritmos desarrollados para el cálculo del CWSI es posible generar mapas de CWSI a nivel de cepa o incluso a nivel de sector de riego (Fig.5). La obtención de mapas de CWSI semanalmente puede ser una buena herramienta para gestionar eficientemente el riego y regar diferencialmente las distintas subzonas de un viñedo en función de su estado hídrico. Con ello, es posible realizar un manejo eficiente del riego y a la vez obtener unos viñedos más homogéneos, con unas características de elevada calidad de la uva que sean muy similares en sus distintas subzonas.