

Riego de precisión en viñedos: manejo de la variabilidad mediante la teledetección térmica

Joaquim Bellvert¹, Pablo Zarco-Tejada², Joan Girona¹ y Elías Fereres²

¹Programa Uso Eficiente del Agua, Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), Lleida

²Instituto de Agricultura Sostenible (IAS), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Córdoba

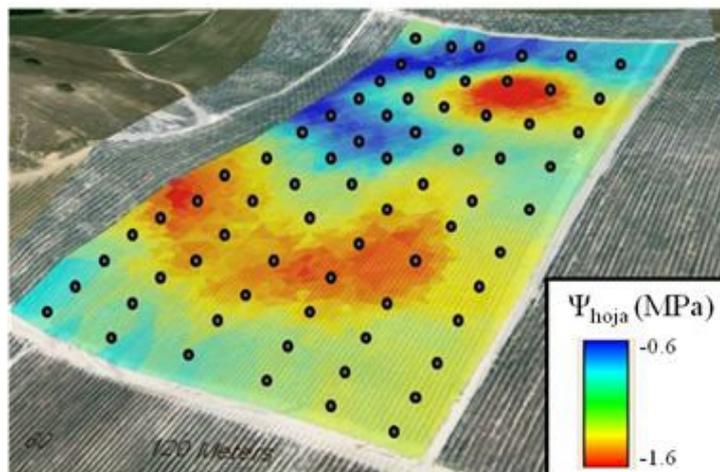
Introducción. Estrategias de riego en vid

[23.12.14]

Para regar eficientemente la vid es necesario saber cuánto, cuándo y dónde regar. Conocer los requerimientos hídricos y la respuesta a la sensibilidad estacional al déficit hídrico de cada variedad son aspectos importantes a tener en cuenta a la hora de programar el riego. La práctica de riego en vid más habitual en la región mediterránea implica la adopción de estrategias de *Riego Deficitario Controlado* (RDC), las cuales han demostrado mejoras en la composición de las uvas (Basile *et al.*, 2011), además de ahorros importantes de agua. El RDC está fundamentado en reducir el aporte de agua en aquellos períodos fenológicos en el que un déficit hídrico controlado no afecte sensiblemente la producción ni la calidad de la cosecha y que cubra la demanda evaporativa del cultivo durante el resto del año.

Los requerimientos hídricos generalmente se calculan en base al método del balance hídrico (Allen *et al.*, 1998). No obstante, la adopción de un riego deficitario basado en el concepto del balance hídrico puede producir cierto nivel de incertidumbre ya que el desarrollo del estrés hídrico no solamente depende del porcentaje de déficit de riego, sino también de la capacidad de retención de agua de la zona radicular, del clima, material vegetal y condiciones de crecimiento (Reynolds y Naylor, 1994). Por lo tanto, para adoptar de forma eficiente estrategias de RDC es necesario utilizar indicadores fisiológicos que nos proporcionen información sobre el nivel de estrés hídrico del cultivo.

El indicador fisiológico comúnmente utilizado para determinar el estado hídrico en viña es el potencial hídrico de hoja (Ψ_{hoja}) (Schultz 2003), el cual está íntimamente relacionado con las respuestas de la planta al estrés a corto y medio plazo. Sobre la base de este indicador, es posible realizar



programaciones de riego (Girona *et al.*, 2006). No obstante, la dificultad que comporta medir el Ψ hoja a escala de viñedo (se precisarían numerosas medidas puntuales para muestrear la variabilidad dentro de la parcela) y en un espacio de tiempo limitado al mediodía, hace que sea un sistema inviable a nivel comercial y solamente pueda utilizarse experimentalmente (fig. 1). Por lo tanto, es necesario el desarrollo de métodos alternativos capaces de determinar el estado hídrico a escala de viñedo.

Figura 1: Mapa de potencial hídrico de hoja (Ψ hoja) obtenido a partir de la interpolación de medidas puntuales de Ψ hoja en distintas cepas distribuidas homogéneamente a lo largo del viñedo.

Manejo de la heterogeneidad de los viñedos

La heterogeneidad de los viñedos condiciona de manera importante la respuesta del cultivo en términos productivos y de calidad de la uva. En este sentido, existe un especial interés en el sector vitivinícola en mejorar el manejo del viñedo teniendo en cuenta su variabilidad y obtener así viñedos más homogéneos. Para ello, las nuevas tecnologías basadas en la teledetección de alta resolución y sistemas de información geográfica (SIG) se presentan como herramientas de gran utilidad. Las recientes aplicaciones se basan en solucionar el problema de la heterogeneidad realizando vendimias selectivas y clasificando el viñedo en subzonas según su densidad de vegetación y calidad de la uva. Esta clasificación se realiza con el uso de índices estructurales de vegetación como el *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) o el *Plant Cell Density* (PCD) (Bramley *et al.*, 2003), obtenidos con sensores multispectrales desde plataformas aéreas (fig. 2).

Otras soluciones se basan en homogeneizar el viñedo realizando un manejo diferencial del mismo a lo largo del año. Las necesidades hídricas de la vid diferirán en las distintas subzonas de un viñedo. Realizar un *riego de precisión* aportando en cada subzona del viñedo la cantidad de agua necesaria para mantener el estado hídrico en su óptimo a lo largo del año, es sin duda necesario. Esto ayudaría a solventar problemas de heterogeneidad productiva y a mejorar sustancialmente la calidad de la uva. Para que esto sea posible, en primer lugar es necesario disponer de un diseño de los sectores de riego acorde con la variabilidad intraparcilaria del viñedo, para posteriormente regar en función del estado hídrico de cada subzona. El uso de índices estructurales de vegetación se presenta también como una herramienta útil de resectorización (Martinez-Casasnovas *et al.*, 2009; Bellvert *et al.*, 2012).

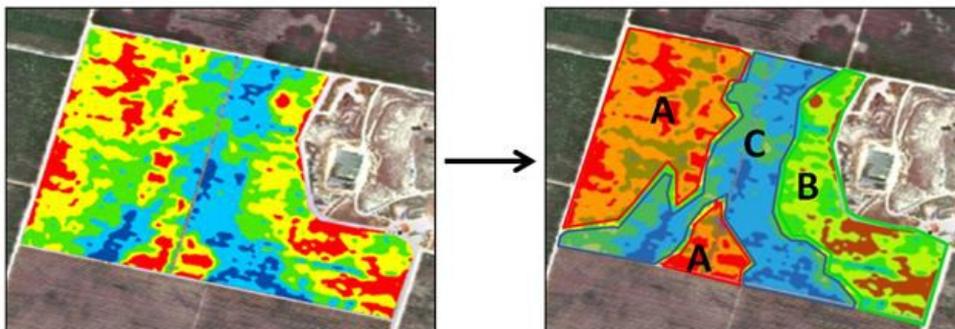


Figura 2: Mapa de *Plant Cell Density* (PCD) de un viñedo de Raimat (Lleida), utilizado para realizar vendimias selectivas. Fuente: Agropixel.

La temperatura de la hoja, como indicador del estado hídrico

La temperatura de la hoja o del dosel vegetativo (T_c) ha sido también reconocida como indicador del estado hídrico de los cultivos (Tanner, 1963). El concepto se basa en que las plantas sometidas a estrés hídrico tienden a cerrar los estomas para evitar una mayor pérdida de agua, lo que hace disminuir su transpiración, así como su capacidad de realizar fotosíntesis. En consecuencia, T_c aumenta a medida que las plantas presentan un mayor estrés hídrico. Sin embargo, T_c también está afectada por factores ambientales (temperatura aire, humedad relativa, viento o radiación), y por lo tanto, es preciso normalizar T_c teniendo en cuenta esos factores.

Para ello, se utiliza un índice denominado *Crop Water Stress Index* (CWSI) (Idso *et al.*, 1981). Algunos estudios han relacionado el CWSI con el Ψ_{hoja} en distintas variedades de viña con medidas puntuales a nivel de suelo (Möller *et al.*, 2007) y a escala de viñedo con plataformas aéreas (Bellvert *et al.*, 2013, 2014). Bellvert *et al.* (2013) observaron que tanto el CWSI como la relación entre CWSI y Ψ_{hoja} presentaban una distinta respuesta entre variedades y fases fenológicas, teniendo por lo tanto que determinarse ésta relación en cada caso.

La figura 3 muestra la relación entre CWSI y Ψ_{hoja} para cuatro variedades de vid, donde puede apreciarse una relación curvilínea y el importante hecho de que existe una distinta respuesta para las diferentes variedades.

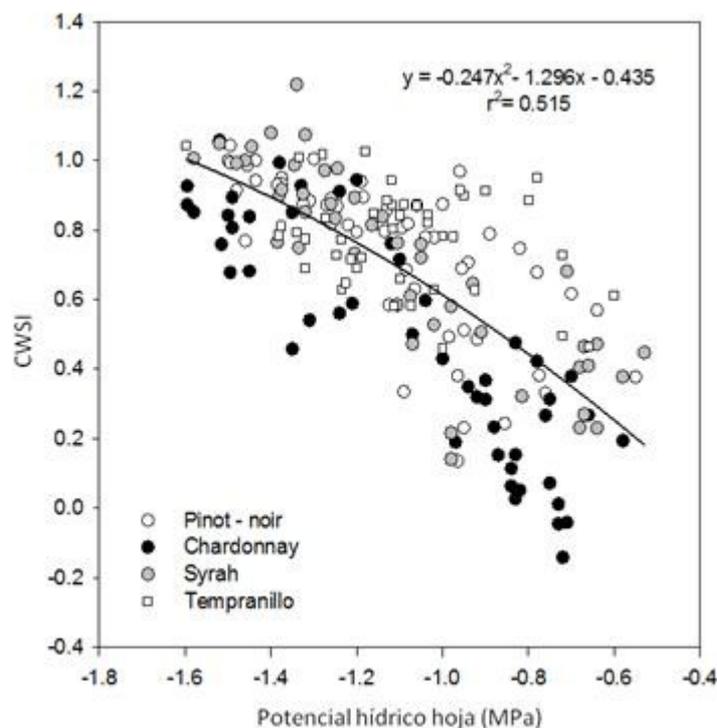


Figura 3: Relación entre *Crop Water Stress Index* (CWSI) y el potencial hídrico de hoja (Ψ_{hoja}) para cuatro variedades de vid. Los puntos de cada variedad de vid corresponden a medidas realizadas en distintos momentos fenológicos

Riego en base a la teledetección térmica

La implementación de la teledetección térmica en la viticultura nos permite detectar la

variabilidad espacial del estado hídrico dentro y entre viñedos, en base a la estimación del Ψ_{hoja} y así poder adoptar decisiones de riego más precisas en cada subzona del viñedo. Para ello, es necesario el uso de sensores térmicos de alta resolución (SC655, FLIR) instalados en vehículos aéreos no tripulados (UAV) y también tripulados.

Estas plataformas aéreas son capaces de sobrevolar los viñedos a una altitud de 150-200 m por encima del nivel del suelo y proporcionar imágenes de alta resolución espacial (píxeles ≤ 30 cm). En viñedos, es necesario trabajar con altas resoluciones con el propósito de obtener píxeles completamente puros (solamente vegetación), y así evitar el efecto del suelo. Con las imágenes térmicas adquiridas durante el vuelo es posible generar mosaicos térmicos como el que se muestra en la figura 4, los cuales posteriormente se traducirán en mapas de Ψ_{hoja} . La realización de vuelos que detectan las propiedades térmicas de un viñedo periódicamente proporciona al viticultor una *fotografía* de la variabilidad intraparceldaria del estado hídrico, además de poder obtener información del Ψ_{hoja} promedio de cada sector de riego. Con esta información y conociendo el Ψ_{hoja} óptimo para cada variedad/momento fenológico es posible regar diferencialmente cada subzona del viñedo, aportando en cada caso la cantidad de agua necesaria para mantenerse en sus valores de Ψ_{hoja} óptimos.

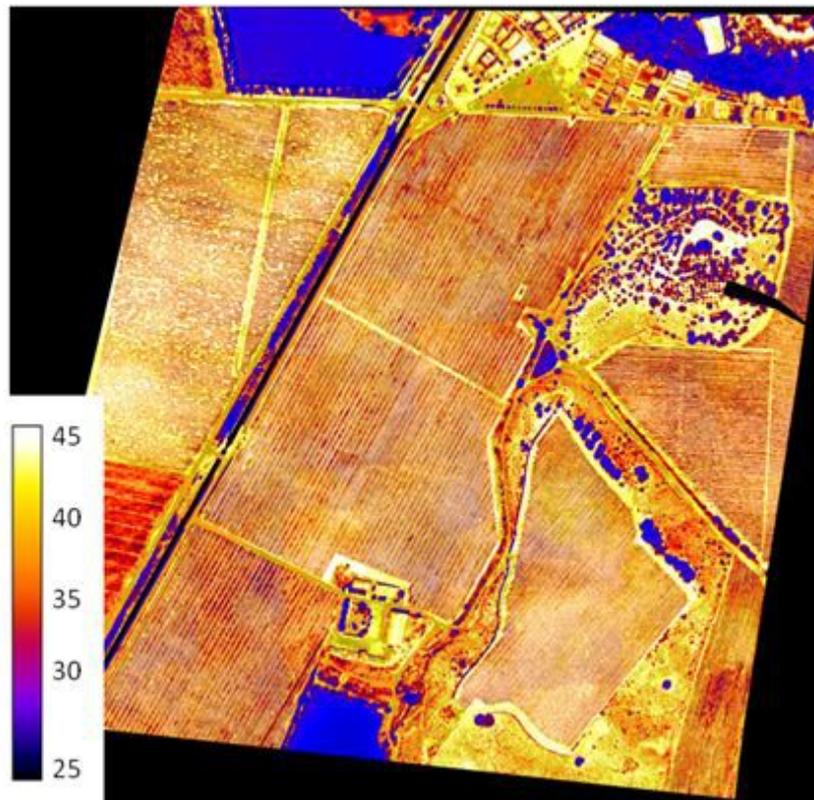


Figura 4: Mosaico térmico de un viñedo en la zona de Raimat (Lleida), obtenido a partir de imágenes térmicas y a un tamaño de píxel de 0,25 cm.

En un viñedo de chardonnay localizado en la zona de Raimat (Lleida) se realizaron tres vuelos en distintos momentos fenológicos con una avioneta tripulada. En ese viñedo se siguió una estrategia de riego basada en mantener en todo momento las vides bajo un nivel de estado hídrico adecuado, con valores de Ψ_{hoja} alrededor de $-0,95$ MPa. La figura 5 muestra los mapas estimados de Ψ_{hoja} para cada vuelo, y las recomendaciones de riego (RR) teniendo en cuenta la variación entre los valores de Ψ_{hoja} estimados y óptimos.

En la fase I el viñedo presentó unos valores de Ψ_{hoja} más negativos que $-0,95$ MPa. Las recomendaciones de riego se basaron en aportar el 120% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) con el objetivo de aumentar los valores de Ψ_{hoja} . Puede observarse en los mapas de la figura 5 que el Ψ_{hoja} aumentó considerablemente en todos los sectores de riego, excepto en uno, el cual se recuperó hídricamente en la fase III.

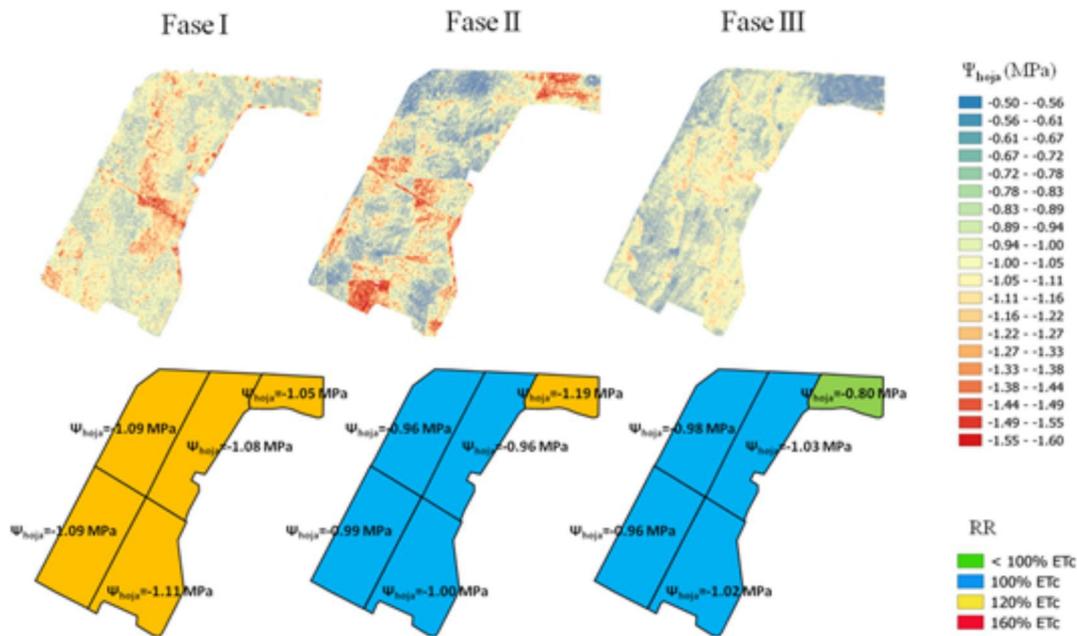


Figura 5: Ejemplos de mapas estimados de potencial hídrico de hoja (Ψ_{hoja}) de un viñedo a partir de imágenes térmicas aéreas en distintas fases fenológicas (fase I, II y III). Ψ_{hoja} se corresponde con el valor promedio de cada sector de riego; RR se corresponde con las recomendaciones de riego siendo el potencial hídrico de hoja óptimo para los tres vuelos de $-0,95$ MPa.

En el marco de un proyecto INNPACTO (Ministerio de Economía y Competitividad), en el que participan los centros de investigación IRTA y IAS-CSIC y las empresas Codorniu, S.A. y Sorigué S.A., se ha demostrado la viabilidad de realizar un manejo eficiente del riego en viñedos durante todo un ciclo vegetativo en base a mapas de Ψ_{hoja} , obtenidos a partir de imágenes térmicas de alta resolución. En la actualidad ya es posible sobrevolar alrededor de 1500 hectáreas por día. Aunque esta tecnología está aún en sus inicios, se prevé que en los próximos años, con el uso de sensores de mayor resolución, pueda volarse a una mayor altitud y caracterizar mayores superficies con el mismo o menor tiempo.

Bibliografía

Allen RW, Pereira L., Raes D, Smith M (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56*, 300.

Basile B, Marsal J, Mata M, Vallverdú X, Bellvert J, Girona J (2011). Phenological sensitivity of Cabernet Sauvignon to water stress: vine physiology and berry composition. *American Journal of Enology and Viticulture* 62: 452-461.

Bellvert J, Marsal J, Mata M, Girona J (2012). Identifying irrigation zones based on the variability of vine water status and multispectral images across a 7.5-ha 'Pinot noir' vineyard. *Irrigation Science* 30:499-509.

Bellvert J, Zarco-Tejada PJ, Gonzalez-Dugo V, Girona J, Fereres E (2013). Scheduling vineyard irrigation based

on mapping leaf water potential from airborne thermal images. *Advances in precision irrigation. Precision agriculture'13*. J.V. Stafford, ed. Wageningen, The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, p. 699-704.

Bellvert J, Zarco-Tejada PJ, Fereres E, Girona J (2014). Mapping crop water stress index in a 'Pinot-noir' vineyard: comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle. *Precision Agriculture Journal* 15 (4): 361-376.

Bramley RGV, Lamb DW (2003). Making sense of vineyard variability in Australia. En: Precision viticulture. Proceedings of the IX Congreso Latinoamericano de Viticultura y Enología, Santiago, Chile, pp. 35-44.

Girona J, Mata M, del Campo J, Arbonés A, Bartra E, Marsal J (2006). The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards. *Irrigation Science* 24: 115-127.

Idso SB, Jackson RD, Pinter PJ, Reginato RJ, Hatfield JL (1981). Normalizing the stress-degree day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology* 24: 45-55.

Martinez-Casasnovas JA, Vallés Bigorda D, Ramos MC (2009). Irrigation management zones for precision viticulture according to intra-field variability. En A. Breft, S. Wolfert, J. E. Wien, & C. Lokhorst (Eds.), EFITA conference'09. Proceedings of the 7th EFITA Conference (pp. 523-529). Wageningen: Wageningen Academic Publishers.

Möller M, Alchanatis V, Cohen Y, Meron M, Tsipris J, Naor A, Ostrovsky V, Sprintsin, M, Cohen S (2007). Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. *J Exp Bot* 58: 827-838.

Reynolds AG, Naylor AP (1994). "Pinot noir" and "Riesling" grapevines respond to water stress duration and soil water-holding capacity. *Hort Sci* 29 (12):c1505-1510.

Schultz HR (2003). Differences in hydraulic architecture account for near-isohydric and anisohydric behavior of two field-grown *Vitis vinifera* L. cultivars during drought. *Plant, Cell & Environment* 26 (8): 1393-1405.

Tanner CB (1963). Plant temperatures. *Agron J* 55: 210-211.