

## Uso de la espectroscopía NIR como herramienta de monitorización no invasiva del estado hídrico del viñedo

M.P. Diago<sup>1\*</sup>, J. Fernández-Navales<sup>1</sup>, S. Gutiérrez<sup>1</sup>, M. Marañón<sup>1</sup> y J. Tardáguila<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias de la Vid y del Vino (Universidad de La Rioja, CSIC, Gobierno de La Rioja). Finca La Grajera, Ctra. Burgos Km. 6 (26007), Logroño. Spain. E-mail: [mpaz.diago.santamaria@gmail.com](mailto:mpaz.diago.santamaria@gmail.com)

### Resumen

La espectroscopía NIR se utiliza ampliamente para caracterizar numerosos sistemas biológicos mediante el estudio de las principales bandas de absorción del agua. Este trabajo presenta y compara con métodos de referencia clásicos una nueva herramienta no invasiva, basada en la espectroscopía NIR, para determinar el estado hídrico de la vid de forma continua en el viñedo. Los datos experimentales se tomaron en cuatro fechas, entre envero y vendimia, en el año 2015, en un viñedo comercial de la variedad Tempranillo (orientación N-S) en Tudelilla (La Rioja). Con el fin de generar una variabilidad del estado hídrico de las cepas, se implantaron tres regímenes de riego distintos .. Las medidas espectrales se tomaron a 30 cm de distancia de la espaldera, en ambas caras de la misma, al mediodía solar con un espectrómetro NIR montado en un quad que circulaba a 5 km/h. De forma simultánea, se tomaron medidas de potencial hídrico del tallo ( $\psi_s$ ) y de conductancia estomática ( $g_s$ )

Los modelos de validación cruzada (CV) y predicción externa (P) obtenidos mediante regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS) mostraron los mejores resultados de coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y error típico (SE) cuando se midió en la cara este de la espaldera. Para el  $\psi_s$ , se obtuvieron valores de  $R^2_{cv}=0.88$  y  $SECV= 1.61$  MPa, y de  $R^2_p= 0.92$  y  $SEP=1.27$  MPa, mientras que para  $g_s$  los resultados obtenidos fueron  $R^2_{cv}=0.72$  y  $SECV= 81.7$  mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, y  $R^2_p= 0.75$ ,  $SEP=74.9$  mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

Estos resultados son prometedores y muestran el potencial de la espectroscopía NIR, no invasiva, para caracterizar y monitorizar de forma fiable el estado hídrico del viñedo y poder ayudar a la toma de decisiones de riego en viticultura.

**Palabras clave:** estrés hídrico, planificación del riego, potencial hídrico, conductancia estomática, “on-the-go”.

### INTRODUCCIÓN

En el contexto vitivinícola actual del cambio climático en el que se enmarcan fenómenos de calentamiento global y patrones de precipitaciones muy heterogéneos, se hace cada vez más necesaria una estrategia de riego optimizado. Esta estrategia debe ser ágil y flexible, basada en indicadores objetivos y representativos del estado hídrico del

viñedo. La mayoría de métodos utilizados para determinar el estado hídrico de la vid son invasivos, laboriosos o bien poco representativos de la variabilidad hídrica de una parcela, ya que en la mayor parte de los casos el número de plantas monitorizadas es muy pequeño.

La mayor parte de los métodos empleados para determinar el estado hídrico de la vid son invasivos, laboriosos o bien poco representativos de la variabilidad hídrica de una parcela, ya que el número de plantas monitorizadas suele ser limitado y pequeño.

La espectroscopía NIR es ampliamente utilizada para caracterizar diversos sistemas biológicos mediante el estudio de las principales bandas de absorción del agua, con sobretonos del enlace OH a 760, 970 y 1450 nm, y una banda de combinación a 1940 nm (Nicolaï et al. 2007). Esta especificidad junto a su carácter no destructivo la convierten en una técnica potencialmente útil para evaluar el estado hídrico de la vid.

El objetivo de este estudio fue evaluar y comparar con métodos de referencia clásicos, la capacidad de la espectroscopía NIR, capturada a distancia, desde un vehículo en movimiento para caracterizar el estado hídrico del viñedo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en cuatro fechas entre envero y vendimia, en el año 2015, en un viñedo comercial en espaldera de la variedad cv. Tempranillo (clon 776 sobre portainjerto R-110), plantado en 2002 (marco de plantación: 1.20 x 2.60 m) en orientación N-S, en Tudelilla (La Rioja). Con el fin de generar una variabilidad del estado hídrico de las cepas, se implantaron tres regímenes de riego, con cuatro repeticiones cada uno en bloques al azar, en función del  $\psi_s$  medido a mediodía: T0 (estrés nulo o leve;  $\psi_s > -0.8\text{MPa}$ ), T1 (estrés moderado;  $-1.0 > \psi_s > -1.2\text{MPa}$ ) y T2 (estrés severo;  $\psi_s < -1.4\text{MPa}$ ) (van Leeuwen et al. (2010). Las medidas espectrales se tomaron a 30 cm de distancia de la espaldera, en ambas caras de la misma, a mediodía solar (13:00-14:30hrs) con un espectrómetro NIR (PSS-X-212, Polytec GmbH, Waldbronn, Alemania), que opera en el rango de 1200-2100 nm, montado en un quad que circulaba a 5 Km/h (Figura 1). Simultáneamente, para cada repetición se tomaron tres medidas de  $\psi_s$  con cámara de Scholander y seis medidas de conductancia estomática ( $g_s$ ) (dos hojas por cepa en tres cepas) con un porómetro (SC-1, Decagon, Pullman, WA, EEUU).

La selección de muestras, para los colectivos de validación interna (115 muestras, 80% del total) y externa (28 muestras, 20 % del total) se realizó de forma estructurada atendiendo a los parámetros de referencia ( $\psi_s$  y  $g_s$ ) (Tabla 1).

Se utilizó la regresión por mínimos cuadrados parciales (PLS) para estimar la predicción de  $\psi_s$  y  $g_s$  en ambas caras de la espaldera. Para cada uno de los modelos PLS, se evaluaron diferentes pretratamientos matemáticos: reducción del efecto “scatter” (MSC y SNV), no corrección de la dispersión, y derivadas de primer y segundo orden aplicadas a diferentes tamaños de ventana. Los estadísticos utilizados para la selección de las mejores ecuaciones de validación interna fueron: el SECV y el  $R^2_{cv}$ , mientras que para el colectivo de validación externa se determinó el valor del SEP y de  $R^2_p$ . El tratamiento quimiométrico de los datos se llevó a cabo con la PLS Toolbox del software Matlab R2008a.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de  $\psi_s$  y  $g_s$  utilizados para la generación de los modelos de validación interna y predictivo, muestran la presencia de un amplísimo rango de variación de estado hídrico en las plantas medidas. Desde cepas sin síntomas de estrés hídrico con valores máximos de  $\psi_s$  y  $g_s$  de  $-0.55$  MPa y  $777.75$   $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  hasta cepas severamente estresadas con  $\psi_s$  y  $g_s$  de  $-2.25$  MPa y  $28.85$   $\text{mmol H}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  (Tabla 1). La gran amplitud del rango de estado hídrico de los indicadores utilizados ha favorecido la obtención de modelos de validación interna y predicción, con  $R^2$  superiores a 0.80 para  $\psi_s$  y a 0.70 para  $g_s$  (Tabla 2). En el caso de  $\psi_s$  el  $R^2_p$  superó 0.90 con independencia de la cara de la espaldera monitorizada, aunque el modelo obtenido a partir de los espectros adquiridos en la cara este (sombreada en el momento de la medición) mostraron un menor valor de SEP que el modelo construido a partir de los espectros tomados en la cara oeste (Tabla 2). De forma similar, se obtuvieron mejores modelos (mayor  $R^2$  y menor SE) de validación cruzada y predicción para  $g_s$  a partir de las medidas espectrales tomadas de la cara este de la espaldera (Tabla 2). Para esta cara, las rectas de regresión entre los valores predichos (a partir de los modelos espectrales) y medidos, de  $\psi_s$  y  $g_s$ , se muestran en las Figuras 2a y 2b, respectivamente.

Los resultados obtenidos son comparables a los descritos por otros autores basados en medidas con sensores NIR portátiles, en diferentes rangos de longitud de onda (Santos y Kaye, 2009; De Bei et al. 2011; Vila et al. 2011; Gutiérrez et al. 2016).

Este trabajo muestra la capacidad de la espectroscopía NIR, capturada a distancia desde un vehículo en movimiento, para estimar el estado hídrico de las cepas de forma no invasiva, rápida y fiable. Ello supone una gran oportunidad para tomar medidas del estado hídrico del viñedo con gran resolución temporal y espacial. Una vez implementada, esta técnica puede ayudar a la toma de decisiones para un riego optimizado, siempre y cuando se definan valores umbrales de referencia.

## Agradecimientos

Este trabajo ha recibido financiación de la Comisión Europea, a través del proyecto VineRobot (grant nº: 610953).

## Referencias

- De Bei, R., Cozzolino, D., Sullivan, W., Cynkar, W., Fuentes, S., Damberg, R., Pech, J. and Tyerman, S.D. 2011. Non-destructive measurement of grapevine water potential using near infrared spectroscopy. *Austr. J. Grape Wine Res.* 17:62-71.
- Gutiérrez, S., Tardaguila, J., Fernández-Navales, J. and Diago, M.P. 2016. Data mining and NIR spectroscopy in viticulture: applications for plant phenotyping under field conditions. *Sensors* 16:236.
- Nicolai, B.M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K.I. and Lammertyn, J. 2007. Non destructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharv. Biol. Technol.* 46:99-118.
- Santos, A.O. and Kaye, O. 2009. Grapevine leaf water potential based upon near infrared spectroscopy. *Sci. Agric.* 66:287-292.
- Van Leeuwen, C., Pieri, P. and Vivin, P. 2010. Comparison of three operational tools for

the assessment of vine water status: Stem water potential, carbon isotope discrimination measured on grape sugar and water balance. In: Methodologies and results in grapevine research. Editors: S. Delrot, H. Medrano, E. Or, L. Bavaresco and S. Grando. Springer, Dordrecht, Netherlands. pp. 87-106.

Vila, H., Hugalde, I. and Di Filippo, M. 2011. Estimation of leaf water potential by thermographic and spectral measurements in grapevine. RIA 37:46-52.

**Tablas**

**Tabla 1.** Estadísticos descriptivos de validación interna y predicción para potencial hídrico del tallo ( $\psi_s$ ) expresado en MPa) y conductancia estomática ( $g_s$ ) en  $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

Variable	Validación interna (n=115)				Predicción (n=28)			
	Mín.	Máx.	Media	DT	Mín.	Máx.	Media	DT
$\psi_s$	-2.25	-0.55	-1.28	0.47	-2.15	-0.65	-1.28	0.46
$g_s$	28.85	777.75	228.93	154.68	40.90	634.75	230.54	151.44

Mín: mínimo; Máx: máximo; DT: Desviación típica.

**Tabla 2.** Modelos de predicción PLS para potencial hídrico del tallo ( $\psi_s$ , expresado en MPa) y conductancia estomática ( $g_s$ , expresada en  $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Cara espaldera	Pre-tto. espectral	Validación interna					Validación externa	
		N	SEC	$R^2_C$	SECV	$R^2_{CV}$	SEP	$R^2_P$
<b><math>\psi_s</math></b>								
Este	SNV+D1v15	108	1.33	0.92	1.61	0.88	1.27	0.92
Oeste	SNV+D1v15	109	1.66	0.87	2.05	0.81	1.34	0.91
<b><math>g_s</math></b>								
Este	SNV+D1v7	114	63.23	0.83	81.71	0.72	74.98	0.75
Oeste	Suav.+D2v15	114	71.23	0.79	84.56	0.70	90.19	0.65

N: número muestras; SEC: Error típico de calibración;  $R^2_C$ : coeficiente de determinación de calibración; SECV: Error típico de validación cruzada;  $R^2_{CV}$ : coeficiente de determinación de validación cruzada; SEP: Error típico de predicción;  $R^2_P$ : coeficiente de determinación de predicción.



Fig. 1. Ilustración del equipo NIRs y sus componentes, para adquisición de espectros en continuo de la vegetación del viñedo desde un vehículo móvil.

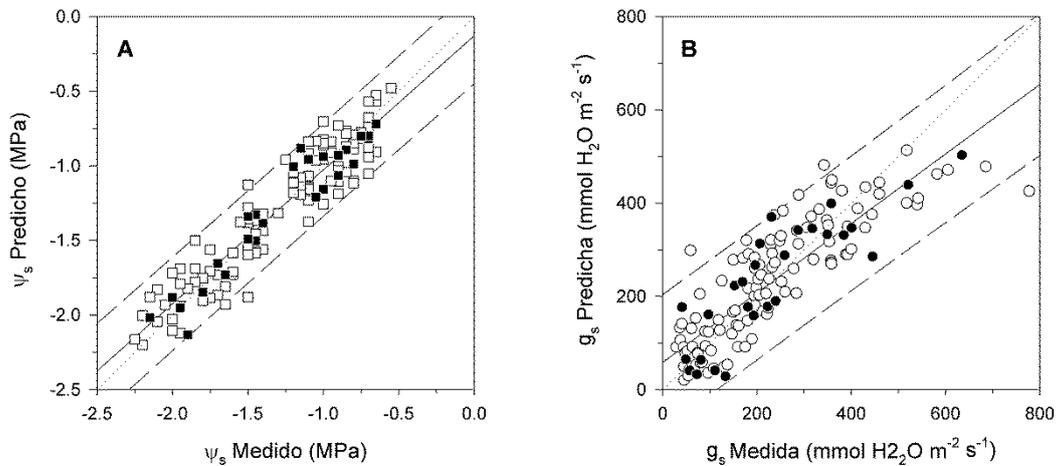


Fig. 2. Rectas de regresión PLS para (A) potencial hídrico del tallo con validación interna (□) y externa (■), y (B) conductancia estomática, con validación interna (○) y externa (●) correspondientes a los espectros tomados de la cara este de la espaldera. Intervalos de predicción al 95 % (líneas discontinuas). La línea continua representa la recta de regresión de validación cruzada mientras que la línea de puntos corresponde a la línea 1:1.