

## RELACIÓN ENTRE HUMEDAD DEL SUELO Y ESTADO HÍDRICO DE ALBARIÑO BAJO CONDICIONES DE RIEGO Y SECANO

J.M. Mirás Avalos\*, E. Trigo Córdoba, Y. Bouzas Cid, E. Díaz Losada y I. Orriols Fernández

Estación de Viticultura e Enología de Galicia (EVEGA-INGACAL), Ponte San Clodio s/n 32427, Leiro (Ourense). e-mail: [jose.manuel.miras.avalos@xunta.es](mailto:jose.manuel.miras.avalos@xunta.es), web: [http://www.medioruralemar.xunta.es/areas/investigacion\\_e\\_formacion/centros\\_de\\_investigacion/evega/](http://www.medioruralemar.xunta.es/areas/investigacion_e_formacion/centros_de_investigacion/evega/)

**RESUMEN.** El objetivo de este trabajo es comprobar la utilidad de la capacitancia como medida del contenido de agua en el suelo y su relación con el potencial hídrico foliar para la monitorización del riego en viñedo. Se aplicó un tratamiento de riego por goteo en un viñedo experimental de Albariño, localizado en O Ribeiro (Ourense, Galicia). Una parte del viñedo permaneció sin riego como control. La humedad del suelo se midió en continuo a tres profundidades (20, 40 y 60 cm) mediante dos sondas FDR. El estado hídrico del viñedo se determinó mediante los potenciales hídricos foliar y de tallo. En ambos tratamientos se observó una relación significativa entre estos potenciales y la humedad del suelo. Los coeficientes de correlación fueron más elevados para el potencial hídrico foliar que para el de tallo. Por tanto, el empleo de sensores de capacitancia puede ser útil para gestionar el riego.

**ABSTRACT.** The aim of this study was to assess the usefulness of the capacitance technique as a measurement of the soil water content and its relationship with leaf water potential in order to monitor vineyard irrigation. A drip irrigation strategy was applied to an Albariño experimental vineyard located in O Ribeiro (Ourense, Galicia). Part of the vineyard was left rainfed as a control. Soil water content was continuously measured at three depths (20, 40 and 60 cm), using two capacitance probes. Vineyard water status was determined by leaf and stem water potentials. A significant relationship was observed between soil water content and plant water status for both treatments. Correlation coefficients were greater for leaf than for stem water potential. Therefore, capacitance probes may be useful for irrigation management.

### 1.- Introducción

El estado hídrico del viñedo resulta el factor más limitante para la obtención de cosechas regulares ya que, la mayoría del viñedo español, se enfrenta a una alta demanda evapotranspirativa y a un escaso contenido de agua en el suelo durante su período vegetativo, lo que puede provocar estados de estrés hídrico severo. Por ejemplo, en Galicia, en concreto en la Denominación de Origen (D.O.) Rías Baixas, la producción en 2012 se redujo un 58% respecto a la del año anterior debido a unas condiciones climatológicas adversas durante la primavera (Martínez et al., 2013), lo que

ha causado un interés por conocer el estado hídrico de los viñedos gallegos (Mirás Avalos et al., 2013).

Este hecho ha inducido a la utilización de sistemas de riego en los viñedos. Sin embargo, el riego de la vid (*Vitis vinifera* L.) presenta múltiples efectos (Jackson y Lombard, 1993). Respecto al crecimiento vegetativo, Smart y Robinson (1991) señalan que una mejora en el estado hídrico produce un aumento del vigor de las cepas, lo que se ha observado en numerosas variedades como por ejemplo: Tempranillo (Intrigliolo y Castel, 2010), Merlot (van Leeuwen et al., 2009), Moscatel (dos Santos et al., 2007), Sangiovese (Poni et al., 2007), etc. Asimismo, el riego aumenta el rendimiento del viñedo (Ruiz Sánchez et al., 2010). Por el contrario, el riego puede ejercer efectos negativos sobre la calidad de la producción provocando retrasos en la maduración, una menor acumulación de azúcares, mayor acidez y menor pH del mosto (Jackson y Lombard, 1993; Ojeda et al., 2001).

En efecto, una estrategia de riego mal gestionada puede conducir a un exceso de rendimiento y a una merma de la calidad de la uva. Por lo tanto, el manejo y la monitorización del riego constituye la técnica más efectiva para obtener cosechas ajustadas, tanto en cantidad como en calidad, a los requerimientos del mercado (Ojeda, 2007).

La monitorización del riego en el viñedo puede basarse en la estimación de la evapotranspiración, en el control de la humedad del suelo y en el seguimiento del estado hídrico de la planta (Myburgh, 1996; McCarthy, 1998).

Uno de los métodos más utilizados actualmente para medir el contenido de humedad del suelo es el de la capacitancia. Se trata de sensores de capacitancia basados en la medida de la constante dieléctrica del suelo. Estos sensores transmiten a través del suelo una onda electromagnética que tiene una frecuencia, usando dos antenas en forma de bandas de cobre y se determina el cambio en la frecuencia de la señal transmitida entre las antenas. Este grado de variación de la señal se relaciona con el contenido hídrico del suelo (Sentek, 2000). Se ha probado la adecuación del uso de las sondas de capacitancia para estimar el consumo de agua por el maíz (Mestas Valero et al., 2012).

La medida del contenido de agua y del potencial matricial del suelo son técnicas ampliamente utilizadas para monitorizar el riego en el viñedo (Asenjo y Yuste, 2003). Sin embargo, desde el desarrollo de la cámara de presión (Scholander et al., 1965), el estado hídrico de las viñas se ha venido realizando mediante medidas del

potencial hídrico en planta, ya que se considera un indicador fiable del estado hídrico de la planta (Choné et al., 2001).

Sin embargo, estas medidas son destructivas (ya que provocan un defoliación de la cepa), puntuales, laboriosas y difíciles de automatizar, lo que ha ocasionado un interés por encontrar un parámetro que esté relacionado con el potencial hídrico de la planta y que, al mismo tiempo, sea fácil de automatizar, como podría ser el contenido de agua en el suelo (Asenjo y Yuste, 2003; Martínez et al., 2012).

En este contexto, el objetivo de este estudio es evaluar la utilidad de la técnica de capacitancia para la monitorización del riego en el viñedo así como la relación entre la medida del contenido de agua en el suelo (medido con sondas de capacitancia) y el estado hídrico de la vid, representado por los potenciales hídricos foliar y de tallo al mediodía en un viñedo de ‘Albariño’ bajo las condiciones edafoclimáticas de la zona del Ribeiro en Galicia (noroeste de España).

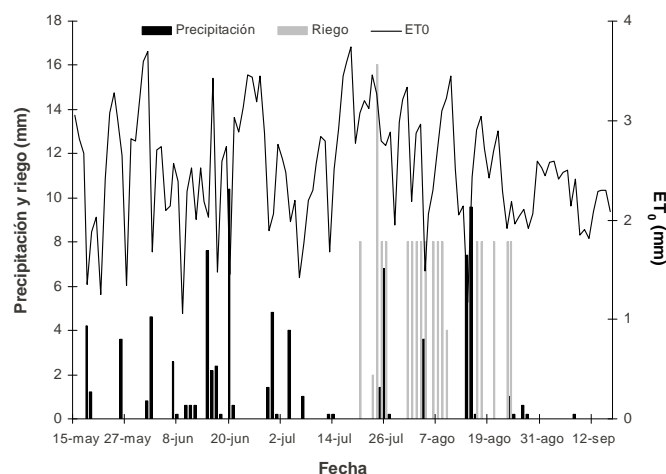
## 2.- Material y métodos

### 2.1.- Descripción del área experimental

El ensayo se ha llevado a cabo durante el año 2012 en la finca experimental de la Estación de Viticultura e Enología de Galicia (EVEGA) situada en Leiro, Ourense, en plena comarca de O Ribeiro (latitud: 42° 21,62' N, longitud: 8° 7,02' O, 110 m sobre el nivel del mar). El clima es templado y de carácter Atlántico, si bien se observa un déficit hídrico durante los meses de verano (de junio a septiembre). Se han recogido datos meteorológicos por medio de una estación situada en la propia parcela experimental. De abril a septiembre de 2012, la temperatura media fue de 17,1 °C y la precipitación total de este periodo fue de 352,8 mm. En la Fig. 1 se muestra la evolución de la evapotranspiración potencial del cultivo de referencia ( $ET_0$ ) y de la precipitación y de las dosis de riego desde el inicio de las medidas de campo hasta el final de la campaña.

Las plantas del viñedo experimental, de 0,2 ha, son de la variedad ‘Albariño’ injertadas sobre patrón 196-17C, con una edad de 13 años y espaciadas 2,5 m entre filas y 1,2 m entre plantas (3333 cepas ha<sup>-1</sup>). Las cepas se encuentran conducidas en cordón unilateral. La orientación de las filas es Este-Oeste.

El suelo de la parcela experimental es un inceptisol (Soil Survey Staff, 2010) de textura arenosa: 69% arena, 14% limo, 17% arcilla. Presenta una pedregosidad media y un contenido en materia orgánica medio (2,8%). Asimismo, no presenta limitaciones físicas ni químicas en profundidad, lo que le confiere un buen drenaje y una velocidad de infiltración media-alta. La profundidad del suelo varía entre 90 y 150 cm dependiendo de la zona de la parcela.



**Fig. 1.** Evolución de la evapotranspiración potencial ( $ET_0$ ), la precipitación y las aplicaciones de riego durante el periodo considerado en este trabajo

### 2.2.- Dispositivo experimental

El experimento de riego se dispuso siguiendo un diseño experimental en bloques al azar con tres repeticiones, y una parcela elemental de 7 cepas. Se aplicaron dos regímenes hídricos para generar variabilidad tanto en el contenido de agua en el suelo como en el estado hídrico de las plantas. Los tratamientos aplicados fueron secano y regadío al 70% de la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ), calculada según Allen et al. (1998). La  $ET_c$  se ha calculado utilizando un coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) de 0,8. El riego se efectuó mediante dos goteros autocompensantes por planta, con un caudal de 4 L h<sup>-1</sup> y situados a 25 cm a cada lado del tronco de la cepa. El periodo de riego transcurrió desde mediados de junio a finales de agosto, que es la época de mayor demanda evapotranspirativa, y la cantidad de agua aportada al cultivo fue de 50 mm por planta. Los riegos se aplicaron de madrugada para evitar en lo posible las pérdidas por evaporación.

### 2.3.- Medidas

El contenido volumétrico de agua en el perfil del suelo se monitorizó en dos zonas del viñedo experimental utilizando dos sondas (una en el tratamiento de secano y otra en el riego) basadas en la técnica de capacitancia (EnviroSCAN Solo, Sentek, Australia). Cada sonda consta de tres sensores instalados dentro de un tubo de acceso a 20, 40 y 60 cm, y estaba conectada a un data logger que registraba datos automáticamente a intervalos de 30 minutos durante todo el periodo de estudio. Estas sondas se colocaron entre dos viñas de cada uno de los tratamientos, evitando que estuviesen próximas a los goteros (aproximadamente a 25 cm del gotero y a 50 cm del tronco de las plantas).

El potencial hídrico foliar se midió periódicamente (cada dos semanas) a mediodía utilizando la técnica de la cámara de presión (Scholander et al., 1965). Además, se

determinó el potencial de tallo, tras envolver una hoja en una bolsa plástica cubierta con papel de aluminio al menos una hora antes de proceder a la medida de potencial (Choné et al., 2001). Ambas medidas se llevaron a cabo en hojas adultas, sanas, situadas en el tercio medio del pámpano y expuestas a la radiación solar directa. Se realizaron tres medidas por tratamiento en cada fecha de muestreo en las plantas próximas a las sondas.

#### 2.4.- Análisis estadístico

Para evaluar la relación entre el potencial hídrico de la planta y el contenido en agua del suelo se promediaron los datos recogidos por las sondas para los días en los que se llevaron a cabo las medidas en planta. Se ha utilizado el promedio diario porque los datos de humedad de suelo durante los días de medida de potencial hídrico foliar apenas variaron a lo largo del día (48 lecturas diarias).

La independencia de los datos se ha verificado mediante un test  $\chi^2$ .

Los datos se analizaron utilizando métodos de regresión y correlación lineal mediante el software R versión 2.11.1 (R Development Core Team, 2010).

### 3.- Resultados y discusión

#### 3.1.- Evolución temporal del contenido de agua en el suelo

Como se puede observar en la Fig. 2, el contenido de humedad del suelo sufrió un descenso a lo largo del período de estudio para las tres profundidades consideradas. En el caso del tratamiento de riego, este contenido de agua del suelo se llegó a estabilizar a partir de finales de julio, gracias al aporte suplementario de agua, lo que sugiere que este ha sido suficiente para cubrir las necesidades del cultivo.

El rápido descenso del contenido de agua del suelo se hace patente sobre todo en el tratamiento de secano donde, al final de la campaña, los contenidos registrados a las tres profundidades analizadas son muy similares (Fig. 2a). Sin embargo, a lo largo de la campaña, parece que la vid toma agua preferentemente de las capas del suelo situadas a 20 y 40 cm y, en menor medida, de la de 60 cm. En el caso del tratamiento de riego, los contenidos hídricos de las tres profundidades consideradas resultaron muy diferentes durante toda la campaña (Fig. 2b), siendo siempre mayor el correspondiente a 60 cm de profundidad.

Estos resultados indican que el sistema radicular de las viñas estudiadas es capaz de extraer agua del suelo a profundidades de hasta 60 cm, sugiriendo que podrían alcanzar una mayor profundidad, como han observado otros autores (Smart et al., 2006).

Sin embargo, en caso de que la vid disponga de agua suficiente en capas más superficiales del suelo, la planta extraerá el agua que necesite de estas capas (Bravdo y Proebsting, 1993), como se puede intuir de los resultados para el tratamiento de regadío (Fig. 2b).

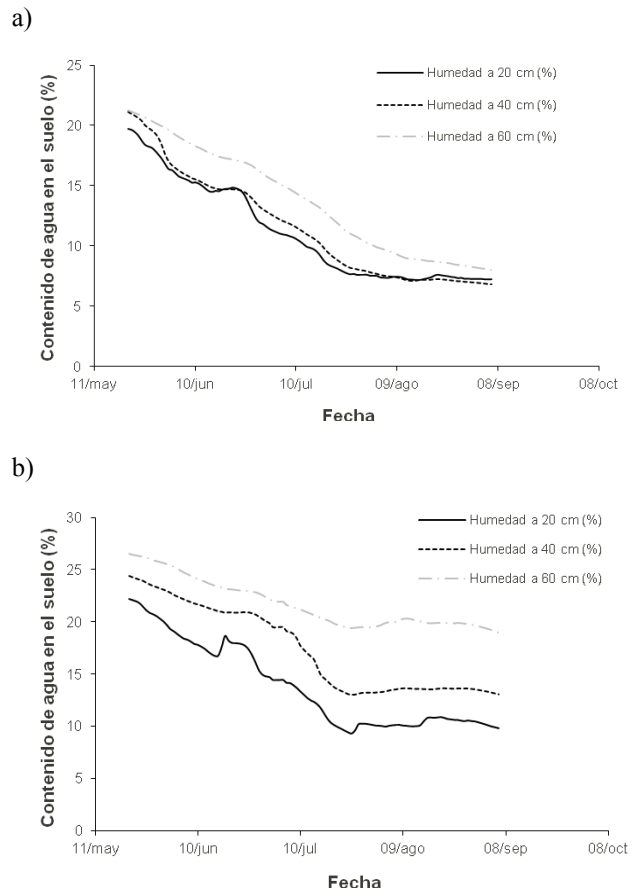
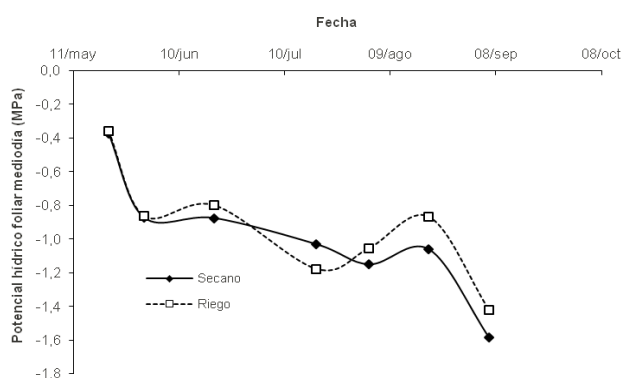


Fig. 2. Evolución del contenido de agua del suelo a tres profundidades (20, 40 y 60 cm) para los dos tratamientos considerados: a) tratamiento secano y b) tratamiento riego

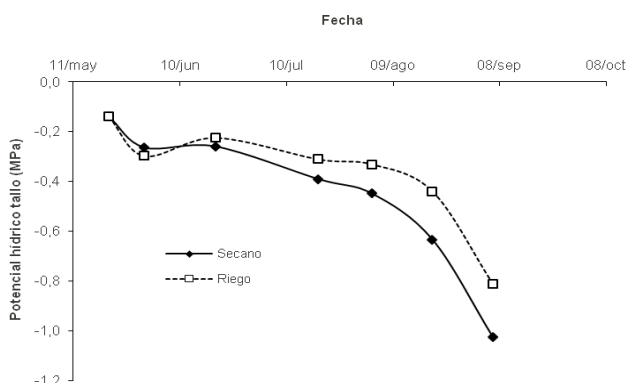
#### 3.2.- Evolución temporal del potencial hídrico en planta

El potencial hídrico foliar al mediodía mostró una tendencia descendente a lo largo de la campaña, siendo los valores de este parámetro muy similares entre ambos tratamientos a lo largo de la campaña (Fig. 3). Hacia el final del período de estudio, y debido al efecto del riego, los potenciales observados en el tratamiento de riego fueron menos negativos que los medidos en el tratamiento de secano. Esta ausencia de diferencias estadísticamente significativas puede deberse a que este potencial se encuentra muy influido por las características climáticas del momento en que se realice la medida (Naor, 1998; Williams y Araujo, 2002)



**Fig. 3.** Evolución del potencial hídrico foliar al mediodía para los dos tratamientos considerados

En cuanto al potencial de tallo, más estable que el foliar (Choné et al., 2001), este ha seguido una evolución descendente a lo largo del período de estudio (Fig. 4). En este caso, a partir del inicio del tratamiento de riego, los valores de este parámetro fueron más negativos en el tratamiento de secano. Las diferencias entre tratamientos han resultado significativas ( $P < 0,05$ ) para las tres últimas fechas de la campaña.



**Fig. 4.** Evolución del potencial hídrico de tallo al mediodía para los dos tratamientos considerados

Bajo las condiciones estudiadas, el ‘Albariño’ no ha sufrido un estrés hídrico excesivo y solo al final de la campaña se han detectado valores de potencial hídrico de tallo próximos a  $-1$  MPa en el tratamiento de secano, lo que sugiere un estrés moderado que puede ser beneficioso para la calidad del fruto (Ojeda, 2007). El hecho de haber medido el potencial hídrico una vez cada dos semanas puede presentar una limitación en cuanto a la descripción de la dinámica de esta variable a lo largo de la campaña. Sin embargo, la práctica totalidad de las bodegas realiza estas medidas cada 10-15 días por lo que el diseño experimental propuesto se ajusta a las condiciones habituales de medida de los productores.

### 3.3.- Relación entre contenido de agua en el suelo y potencial hídrico medido en planta.

El contenido de humedad del suelo medido a través de la técnica de la capacitancia presentó una correlación significativa ( $P < 0.05$ ) con el potencial hídrico foliar a mediodía en ambos tratamientos de riego considerados (Tabla 1).

Los valores de los coeficientes de correlación ( $r$ ) fueron más altos en el caso del tratamiento de secano donde, para el contenido de humedad medio en el perfil de profundidades estudiado (de 20 a 60 cm) se observó un valor de  $r$  de 0,85 (Tabla 1). En el caso del tratamiento de riego, los coeficientes de correlación fueron ligeramente menores.

**Tabla 1.** Coeficientes de correlación entre el potencial hídrico foliar al mediodía y el contenido de humedad del suelo a las distintas profundidades consideradas en este estudio

Tratamiento	Profundidad			
	20 cm	40 cm	60 cm	20 a 60 cm
Secano	0,84**	0,86**	0,85**	0,85**
Riego	0,82**	0,79**	0,82**	0,81**

\*\* significativo a  $P < 0,05$

El potencial de tallo, sin embargo, resultó menos correlacionado que el de hoja con el contenido hídrico del suelo medido a través de las sondas de capacitancia (Tabla 2). De hecho, en el caso del tratamiento de riego, no se han observado correlaciones significativas para ninguna de las profundidades consideradas en este trabajo. Por el contrario, en el tratamiento en secano, se detectaron correlaciones significativas ( $P < 0,05$ ) para todas las profundidades estudiadas, si bien estas correlaciones fueron más débiles que en el caso del potencial hídrico foliar al mediodía. Este hecho parece limitar la utilidad de las sondas de capacitancia como herramienta de gestión del riego en viñedos ya que el potencial hídrico de tallo es un parámetro de gestión del estado hídrico de la planta ampliamente utilizado (Choné et al., 2001; Intrigliolo y Castel, 2010; Williams y Araujo, 2002). Otros autores observaron una falta de correlación entre el potencial hídrico en planta y el contenido de agua en el suelo (Asenjo y Yuste, 2003).

**Tabla 2.** Coeficientes de correlación entre el potencial de tallo al mediodía y el contenido de humedad del suelo a las distintas profundidades consideradas en este estudio

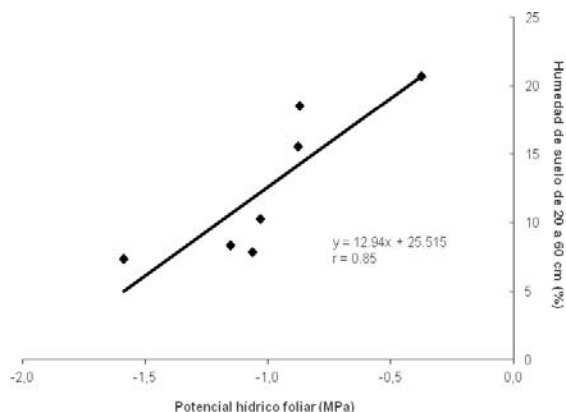
Tratamiento	Profundidad			
	20 cm	40 cm	60 cm	20 a 60 cm
Secano	0,74**	0,76**	0,78**	0,76**
Riego	0,65n.s.	0,66n.s.	0,68n.s.	0,66n.s.

n.s. No significativo; \*\* significativo a  $P < 0,05$

Como ejemplo, se presenta la relación obtenida para el potencial hídrico foliar y el contenido de agua en el suelo para el perfil de 20 a 60 cm en el tratamiento de secano (Fig. 5). Esta relación debe tomarse con precaución



debido a la escasez de datos a partir de los que se ha estimado.



**Fig. 5.** Relación entre el potencial hídrico foliar a mediodía y el contenido de humedad del suelo en la totalidad del perfil (de 20 a 60 cm). Cada punto representa el valor medio de potencial hídrico foliar de 3 plantas

Otros autores han observado también relaciones lineales, o de otro tipo, entre el contenido de agua del suelo y el potencial hídrico de distintas variedades de vid como 'Albariño' (Martínez et al., 2013), 'Chardonnay' (van Zyl, 1987; Williams y Araujo, 2002) o 'Mencia' (Martínez et al., 2012). Sin embargo, existen discrepancias puesto que estas relaciones no son siempre detectadas en todas las variedades como puede ser el caso de 'Tempranillo' (Asenjo y Yuste, 2003). Estas contradicciones pueden estar debidas a numerosos factores como por ejemplo que el potencial hídrico foliar no se ha medido en las mismas condiciones o empleando la misma metodología que en el presente estudio o que el sistema de medida de humedad del suelo no es el mismo en todos estos trabajos. También se puede hipotetizar que no todas las variedades de vid se comporten de la misma manera en relación a su potencial hídrico con respecto al contenido de agua en el suelo.

Los resultados de este trabajo para el tratamiento de riego parecen confirmar lo apuntado por Asenjo y Yuste (2003) cuando afirman que el contenido de agua de una parte del perfil del suelo es responsable de la influencia sobre el potencial hídrico de la planta y no la media de este contenido en los primeros 60 cm del suelo.

Por último, Bravdo y Proebsting (1993) han apuntado que las medias del contenido de humedad del perfil en sistemas de riego localizado son poco representativas ya que el consumo de agua es más rápido en las capas superiores del suelo y la utilización de agua presente en capas más profundas se incrementa cuando se agotan las superiores. Asimismo, estos autores previenen de que basarse en estas medidas para gestionar el riego podría llevar a aumentar la humedad de capas profundas cuando todavía no se encuentran agotadas y producir percolaciones fuera del perfil y lavado de nutrientes.

#### 4.- Conclusiones

El presente estudio muestra que, en las condiciones de este ensayo, existe una cierta relación entre los valores de potencial hídrico foliar al mediodía y el contenido en agua del suelo en sus primeros 60 cm. Esta relación podría permitir el empleo de la técnica de la capacitancia como instrumento para la gestión y monitorización del riego en viñedos. Asimismo, ha quedado patente el hecho de que la vid puede extraer agua del suelo a profundidades mayores a la considerada en este trabajo (60 cm).

Sin embargo, debido a que el número de datos utilizados en este trabajo es bastante limitado y de que se refieren solo a una variedad de vid y a una campaña de medidas, las conclusiones obtenidas debe confirmarse con más medidas.

*Agradecimientos.* Este trabajo ha sido financiado mediante el proyecto INIA de referencia RTA2011-00041-C02-01, con 80% fondos FEDER. J.M. Mirás Avalos agradece a la Xunta de Galicia su contrato dentro del programa Isidro Parga Pondal. E. Trigo Córdoba y Y. Bouzas Cid agradecen al INIA sus respectivas becas FPI-INIA.

#### 5.- Bibliografía

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes y M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 56. Roma, Italia, 15-27.
- Asenjo, J.L. y J. Yuste, 2003. Estimación del estado hídrico del suelo por tensiometría y volumetría y su relación con el estado hídrico del viñedo. En: Estudios de la Zona No Saturada del Suelo Vol. VII, ed. J. Álvarez-Benedi y P. Marinero. Valladolid, 177-180.
- Bravdo, B., y E.I. Proebsting, 1993. Use of drip irrigation in orchards. *HortTechnology*. 3(1), 44-49.
- Choné X., C. van Leeuwen, D. Dubordieu y J.P. Gaudillère, 2001. Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. *Ann. Bot.* 87, 447-483.
- dos Santos, T.P., C.M. Lopes, M.L. Rodrigues, C.R. de Souza, J.M. Ricardo-da-Silva, J.P. Maroco, J.S. Pereira y M.M. Chaves, 2007. Effects of deficit irrigation strategies on cluster microclimate for improving fruit composition of Moscatel field-grown vines. *Sci. Hortic.* 112, 321-330.
- Jackson, D.I. y P.B. Lombard, 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality: A review. *Amer. J. Enol. Vitic.* 44, 409-430.
- Intrigliolo, D.S. y J. R. Castel, 2010. Response of grapevine cv. 'Tempranillo' to timing and amount of irrigation: water relations, vine growth, yield and berry and wine composition. *Irrig. Sci.* 28, 113-125.
- Martínez, E.M., M. Fandiño, B.J. Rey, J.J. Cancela, 2012. Las Denominaciones de Origen a examen: Evaluación del estado hídrico de los viñedos en el Noroeste de España. *Interempresas Industria Vitivinícola*. 10, 50-58.
- Martínez, E.M., M. Fandiño, J.J. Cancela y B.J. Rey, 2013. Evaluación del estrés del cv. Albariño en la DO Rías Baixas. *Revista Digital Interempresas Industria Vitivinícola*. [www.interempresas.net/Vitivinicola/Articulos/103889-Evaluacion-del-estrés-del-cv-Albarino-en-la-DO-Rias-Baixas.html](http://www.interempresas.net/Vitivinicola/Articulos/103889-Evaluacion-del-estrés-del-cv-Albarino-en-la-DO-Rias-Baixas.html). [consulta: 12 febrero 2013]
- McCarthy, M.G., 1998. Irrigation management to improve winegrape quality – nearly 10 years on. *The Australian Grapegrower and Winemaker*, Annual Technical Issue, 65-71.
- Mestas Valero R.M., J.M. Mirás Avalos y E. Vidal Vázquez, 2012. Estimation of the daily water consumption by maize under Atlantic climatic conditions (A Coruña, NW Spain) using Frequency Domain Reflectometry. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12, 709-714.
- Mirás Avalos, J.M., E. Trigo, Y. Bouzas, E. Díaz, I. Orriols, B.J. Rey, M. Fandiño, E.M. Martínez y J.J. Cancela., 2013. Estado hídrico de

- viñedos del noroeste de España: valoración agronómica y económica. *Revista digital Industria Vitivinícola*. <http://www.interempresas.net/Vitivinicola/Articulos/107182-Estado-hidrico-de-vinedos-del-noroeste-de-Espana-valoracion-agronomica-y-economica.html> . [consulta: 25 marzo 2013]
- Myburgh, P.A., 1996. Response of *Vitis vinifera* L. cv. Barlinka/Ramsey to soil water depletion levels with particular reference to trunk growth parameters. *South Afri. J. Enol. Viticult.* 17(1), 3-14.
- Naor, A., 1998. Relations between leaf and stem water potentials and stomatal conductance in three field-grown woody species. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 73, 431-436.
- Ojeda, H., A. Deloire y A. Carbonneau, 2001. Influence of water deficits on berry growth. *Vitis*. 40(3), 141-145.
- Ojeda, H., 2007. Irrigation qualitative de précision de la vigne. *Le Progrès Agricole et Viticole*. 124(7), 133-141.
- Poni, S., F. Bernizzoni y S. Civardi, 2007. Response of “Sangiovese” grapevines to partial root-zone drying: Gas-exchange, growth and grape composition. *Sci. Hortic.* 114, 96-103.
- R Development Core Team, 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Ruiz Sánchez, M.C., R. Domingo y J.R. Castel, 2010. Review. Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. *Span. J. Agric. Res.* 8 (S2), S5-S20.
- Scholander, P.F., H.J. Hammel, A. Bradstreet y E.A. Hemmingsen, 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*. 148, 339-346.
- Sentek, 2000. EnviroSCAN manual. 1999-2000 Sentek Pty Ltd.; EnviroScan Version 4.1. [www.sentek.com.au](http://www.sentek.com.au). [consulta: 18 marzo 2013]
- Smart, R. y M. Robinson, 1991. *Sunlight into Wine. A handbook for winegrape canopy management*. Winetitles, Adelaide.
- Smart, D., E. Schwass, A. Lakso y L. Morano, 2006. Grapevine rooting patterns: a comprehensive analysis and a review. *Amer. J. Enol. Vitic.* 57(1), 89-104.
- Soil Survey Staff, 2010. *Keys to Soil Taxonomy*. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. 346 pp.
- van Leeuwen, C., O. Trégoat, X. Choné, B. Bois, D. Pernet y J.-P. Gaudillière, 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *J. Int. Sci. Vigne Vin* 43 (3), 121-134.
- van Zyl, J.L., 1987. Diurnal variation in grapevine water stress as a function of changing soil water status and meteorological conditions. *Sout Afr. J. Enol. Viticult.* 8, 45-52.
- Williams L.E. y F.J. Araujo, 2002. Correlations among predawn leaf, midday leaf, and midday stem water potential and their correlations with other measures of soil and plant water status in *Vitis vinifera*. *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 127 (3), 448-454.