

EVALUACIÓN DE LA CONTINUIDAD DEL BULBO HÚMEDO EN SISTEMAS DE RIEGO SUBSUPERFICIAL

B.J. Rey, M. Fandiño, E.M. Martínez y J.J. Cancela*

GI-1716. Proyectos y Planificación. Departamento Ingeniería Agroforestal. Universidad de Santiago de Compostela. Escuela Politécnica Superior. Campus Universitario s/n, 27002, Lugo, España e-mail: javierjose.cancela@usc.es

RESUMEN. Los sistemas de riego subsuperficial han ganado importancia en los últimos años, como herramienta para la aplicación de nutrientes. El diseño de estos sistemas se encuentra condicionado por las características del suelo, si bien requiere conocer cuál es la profundidad adecuada de la conducción y la separación entre emisores. El uso del TDR ha sido ampliamente empleado como método para conocer el contenido de agua en el suelo, empleándose en este estudio para la determinación de la evolución temporal en un viñedo en el NO de Galicia, con sistema de riego subsuperficial a 30-40 cm de profundidad y separación de emisores de 1 m. Los resultados muestran que el contenido en la profundidad de 30 cm es menor a 1m de distancia, si bien a 45 y 60 cm se obtienen valores mayores que en el punto del emisor. Se considera por tanto correcta la separación y profundidad establecida.

ABSTRACT. Subsurface drip irrigation systems have grown in importance in recent years as a tool for nutrient application. The design of these systems is influenced by the soil characteristics, though it requires to know which is the correct depth of pipes and the distance between emitters. The use of TDR has been widely used as a method to determine the soil water content, so it is used in this research to determine the temporal evolution in a vineyard in NW Galicia, with subsurface drip irrigation system 30-40 cm deep and a distance between emitters of 1 m. The results show that the content in the depth of 30 cm is less than 1m distance, while a 45 to 60 cm is higher than values obtained at the initial point of reference (0 m). It is therefore considered correct the set by these soil characteristics.

1.- Introducción

La mayoría de los sistemas de riego por goteo se han instalado en plantaciones permanentes, i.e cultivos frutales y viñedo, siendo su aplicación limitada a cultivos hortícolas (Ayars et al., 1999), debido a su interferencia con las operaciones culturales. La necesidad de utilizar de forma eficiente el agua de riego (Thompson et al., 2009) ha provocado que los sistemas de riego localizado se hayan ido imponiendo. De forma general, destacar entre los sistemas de riego por goteo tanto el aéreo como el subsuperficial. El primero requiere de la instalación y retirada de la conducción al inicio y al final de cada campaña, mientras

que el riego subsuperficial precisa enterrar la conducción, lo que supone un coste añadido en la instalación. Diversos autores destacan las ventajas del uso del riego subsuperficial: la eliminación del stress hídrico, capacidad para aplicar agua y nutrientes en la parte más activa de la zona radicular, protección de las líneas de emisores al daño por labores culturales y de manejo, y la capacidad para regar empleando aguas tratadas sin contactar con el ser humano.

La ubicación de los laterales del riego subsuperficial, en relación a la profundidad y anchura de humectación del suelo, es uno de los factores clave para el diseño y manejo de los mismos (Singh et al., 2006), si bien no se han realizado estudios en relación a la distancia entre emisores. Otros autores se han centrado en el estudio de la variabilidad y uniformidad de distribución del agua mediante el sistema de riego subsuperficial y las propiedades del suelo (Gil et al., 2007 y 2008). El conocimiento del frente de avance del agua en el riego por goteo aéreo y subsuperficial, ha sido modelizado por diversos autores (Kandelous et al., 2011; Monjezi et al., 2013) empleando modelos como el HYDRUS 2-D y 3-D. Ben-Gal et al. (2004) han modelizado el comportamiento del riego subsuperficial frente a un sistema alternativo como la instalación del riego subsuperficial en zanjas, cubriendo la tubería con grava (GRAV), obteniendo una menor variabilidad en la distribución de agua en este último sistema, debido a las condiciones cambiantes en el suelo.

La caracterización del bulbo húmedo se puede realizar por diferentes métodos: medición de la humedad o tensión a distintas profundidades del emisor, toma muestras con barrena apreciando al tacto la presencia o ausencia de humedad, complementándose con la realización de zanjas con comprobación visual del bulbo (Pizarro, 1996). Recientemente diversos trabajos se centran en el estudio del tamaño del bulbo húmedo empleando la teoría de Philip (1992) (Palomo et al., 2002), fundamentándose en lecturas obtenidas con tensiómetros, TDR e infiltrómetros.

Desde la derogación de la prohibición de regar en los viñedos con destino a vinos de mesa en el año 1996 (Ley 8/1996), se ha regulado el riego en el viñedo en el Reglamento CE 1493/1999. La obtención de producciones homogéneas en sucesivas campañas se considera objetivo prioritario en viticultura, destacando la necesidad de una adecuada selección del sistema de riego, que permita la obtención de un bulbo húmedo adaptado a los sistemas de plantación y suelos existentes, consecuentemente, a una

gestión eficiente del agua en parcela.

En el caso del viñedo, la implantación de sistemas de riego por goteo subsuperficial presenta una serie de ventajas frente al riego por goteo clásico, principalmente una mejora en la eficiencia del uso del agua, provocado por la reducción de pérdidas por escorrentía, percolación y evaporación (Camp, 1998; Martínez y Reca, 2005), este último aspecto complementado por la elección de un marco de plantación adecuado (Barajas et al., 2006). Su escasa implantación, provoca que existan pocos estudios sobre la distribución del agua en el suelo con estos sistemas (Ben-Gal et al., 2004; Santos et al., 2007), en particular en viñedo (Rey et al., 2010; Fandiño et al., 2012; Dafonte et al., 2013), y para diferentes tipos de suelos.

El objetivo de este estudio es la determinación de la continuidad del bulbo húmedo en un sistema de riego subsuperficial con emisores interlínea distanciados un metro e instalado a 30-40 cm de profundidad en una parcela de *Vitis vinifera* var. Albariño, durante un periodo de cuatro campañas (2009-2012).

2.- Material y métodos

El estudio fue realizado en cuatro campañas: 2009 a 2012 en un viñedo comercial de la variedad Albariño localizado en Porto, Salvaterra do Miño, en el “Condado do Tea” en Pontevedra, NO de España (42°3,5’N, 8°32,2’W), subzona incluida en la Denominación de Origen Rías Baixas. El área de estudio presenta un microclima subhúmedo con influencia Atlántica, caracterizado por temperaturas moderadas y elevadas precipitaciones durante los meses de otoño y primavera, encuadrándose según la clasificación de Koppen en la clase Cfb (Peel et al., 2007).

Los datos climáticos han sido tomados de dos estaciones cercanas, Entenza y Meder, para la caracterización de las condiciones meteorológicas de la zona durante el periodo de estudio, de marzo a septiembre.

El viñedo seleccionado se ubica en terrazas en la margen derecha del río Miño, dispuestas las viñas en filas. La plantación se realizó sobre patrón ‘19617C’, separadas 1,5 m entre cepas y con una distancia entre filas de 3,0 m. La dirección predominante es Norte-Sur, si bien, dada la disposición de las terrazas siguiendo las curvas de nivel, algunas viñas se orientan en la dirección Noroeste-Sureste. El sistema de conducción empleado es un sistema elevado (1,5 m sobre el suelo), con podas largas y viñas vigorosas, las cuales se disponen en sistema de “semi-parra” inclinado (Hidalgo, 1993) con cuatro alambres y sistema de poda Guyot.

Los suelos de la parcela son arenoso-francos (Cambisoles) con un agua total disponible en los primeros 60 cm del suelo, de 112,8 mm., calculada como la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente medio (0,294 and 0,106 cm³ cm⁻³, respectivamente).

El viñedo cuenta con sistema de riego subsuperficial instalado a una profundidad de 30-40 cm, con goteros interlínea de 2 l h⁻¹, separados 1 m (Fandiño et al., 2009; Silva et al., 2013). La instalación tiene como objetivo

principal la aplicación de nutrientes a la viña, *i.e.* fertirrigación, aplicándose en el estudio dosis de riego anuales comprendidas entre 36 y 59 mm. El análisis de la información meteorológica, refleja una estabilidad en cuanto a temperaturas y humedad relativa, durante el periodo analizado, si bien para la precipitación se observa un evento extremo, mes de julio de 2009 (Fig. 1), afectando directamente a las mediciones del agua en el suelo, y por tanto al balance hídrico.

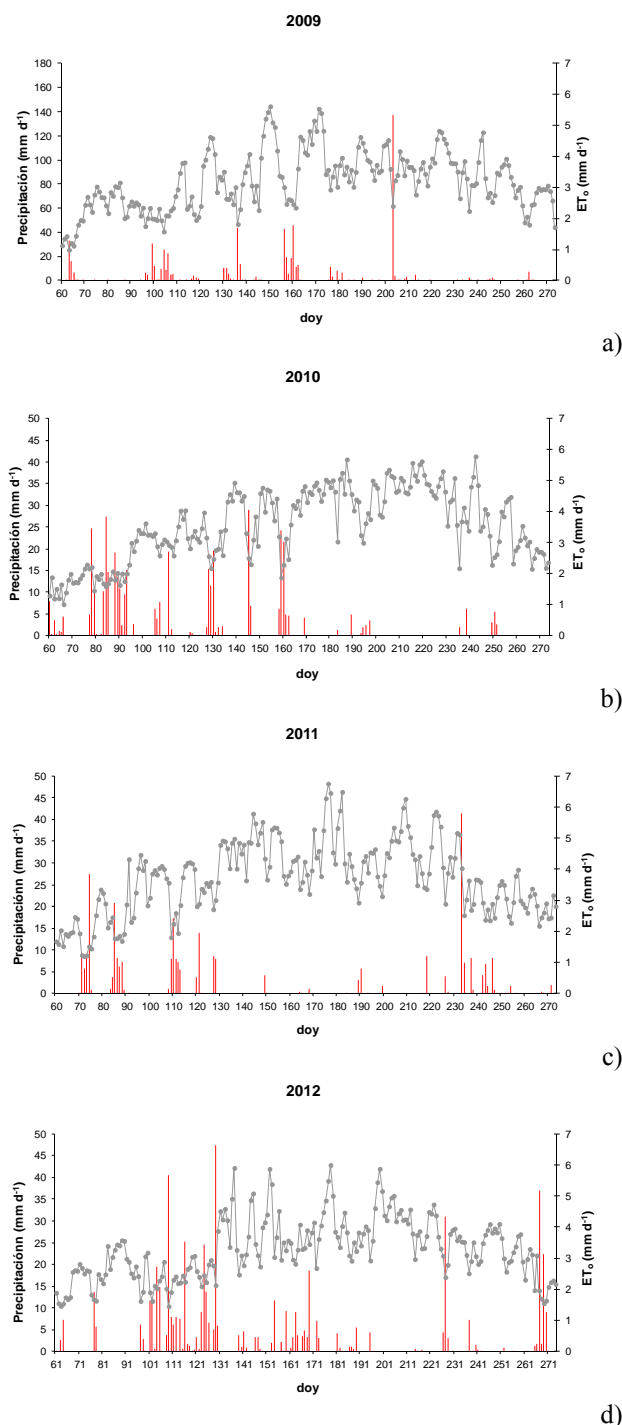


Fig. 1. Datos climáticos de la zona de estudio: a) 2009, b) 2010, c) 2011 y d) 2012. Precipitación (■) y Evapotranspiración de Referencia (ET₀) (—●—)

Para evaluar la continuidad del bulbo húmedo se han realizado mediciones con un equipo TDR100 (Campbell Scientific – Logan, Utah, USA), gestionado en campo mediante el empleo del software PCTDR, para obtener el contenido volumétrico de agua en el suelo. La ecuación de Topp et al. (1980) (Ec. 1)

$$\theta = -5,3 \times 10^{-2} + 2,92 \times 10^{-2} \epsilon_{\text{eff}} - 5,5 \times 10^{-4} \epsilon_{\text{eff}}^2 + 4,3 \times 10^{-6} \epsilon_{\text{eff}}^3 \quad (1)$$

, que relaciona el contenido volumétrico de agua en el suelo (θ) con la medida de la constante dieléctrica del suelo (ϵ_{eff}), fue empleada por tratarse de suelos mayoritariamente arenosos y/o franco-arenosos (Robinson et al., 2003).

El equipo fue empleado durante seis días por año entre los meses de mayo y septiembre, *i.e.*, una medida cada dos semanas aproximadamente.

La Figura 2 recoge el esquema de instalación de medida, con tres pares de varillas, a tres profundidades (30, 45 y 60 cm) y a seis distancias diferentes desde el tronco de la viña (0, 25, 50, 100, 125 y 150 cm), las cuales se conectan al TDR100 mediante un cabezal flexible (Souto et al., 2008). En total se han realizado mediciones en dos ubicaciones diferentes dentro de la misma terraza/bancal, en particular en las filas 1 y 3.

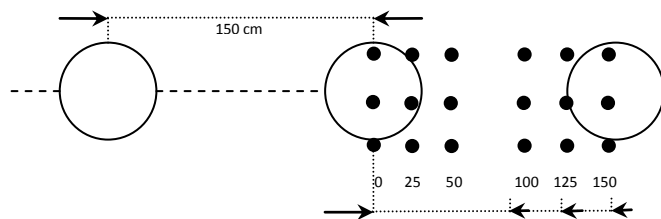


Fig. 2. Esquema de la disposición de los puntos de lectura con TDR. Línea de Riego (- - -); Puntos de medición (●) y cepas (○)

La ecuación empírica de Topp et al. (1980), resulta lo suficientemente general e independiente de la textura y estructura del suelo, salinidad y temperatura, por lo cual se la denomina ecuación “universal” del contenido volumétrico de agua en el suelo (θ), a partir de la constante dieléctrica del suelo (ϵ_{eff}). En particular la relación $\theta - \epsilon_{\text{eff}}$ propuesta por Topp et al. ha sido una de las claves del amplio uso del TDR para el estudio del suelo, dado que permite realizar determinaciones sin necesidad de una calibración previa del TDR.

3.- Resultados

El comportamiento de la evolución del porcentaje del contenido de agua en el suelo se mantiene constante a lo largo de los años de estudio, con la excepción del evento extremo del 2009 (Rey et al., 2010), y la mayor precipitación ocurrida durante el año 2012 (Fig. 3). Los valores mínimos se obtienen a las profundidades de 45 cm (y 30cm para los años 2009 y 2010), mientras que los

valores máximos se obtienen a la profundidad de 30 cm, esta situación es debida a la disposición de la conducción entre los 30-40 cm de profundidad, sólo alterada por la presencia de fuertes lluvias que afectan al balance hídrico del agua en el suelo.

Tabla 1. Variación media del contenido de agua en el suelo (%) respecto a las diferentes profundidades, tomando como base las distancias 0 y 100 cm. 2009-2012

Profundidad 30 cm				
Intervalo	2009	2010	2011	2012
0-25	-	32,6	30,4	21,6
0-50	-	39,4	34,6	18,2
0-100	-	34,1	27,4	23,2
0-125	-	31,7	23,7	13,6
0-150	-	18,3	8,6	4,0
100-125	-27,7	-0,4	-4,9	-0,9
100-150	-53,5	-25,6	-25,6	1,9
Profundidad 45 cm				
Intervalo	2009	2010	2011	2012
0-25	-	0,5	2,8	4,9
0-50	-	8,1	21,0	17,9
0-100	-	-7,4	-17,2	-14,3
0-125	-	-0,4	-14,8	-15,3
0-150	-	-6,5	-15,6	-12,0
100-125	7,8	6,5	2,1	-0,9
100-150	0,0	0,9	1,3	1,9
Profundidad 60 cm				
Intervalo	2009	2010	2011	2012
0-25	-	-2,4	-2,4	6,2
0-50	-	4,9	6,0	12,4
0-100	-	-2,6	-6,7	-2,3
0-125	-	6,0	-2,3	-2,5
0-150	-	-7,4	-16,9	-11,5
100-125	3,5	4,5	3,8	-0,5
100-150	-11,7	-9,7	-9,6	-8,7

Para la profundidad de 30 cm existen diferencias significativas a las distancias consideradas, determinándose el menor contenido para varillas situadas a 1 m del tronco, incrementándose un 28% para la distancia de 1,25 m y un 54% para 1,5 m, en el caso del 2009 (Tabla 1), minimizándose en los años 2010 a 2012. El mayor valor se ha obtenido en el origen, a la distancia de 0 cm. A la profundidad de 45 cm el patrón varía, hasta los 50 cm de distancia el contenido es mayor en origen, aumentando desde un 0,4% hasta un 17% para las distancias entre 100 a 150 cm.

La dinámica observada en las mediciones es similar a la obtenida por Kandelous et al. (2011), si bien estos se centraron en emisores situados a profundidades entre 20 y 30 cm, y distancia entre emisores de 30 a 45 cm en suelos franco arcillosos.

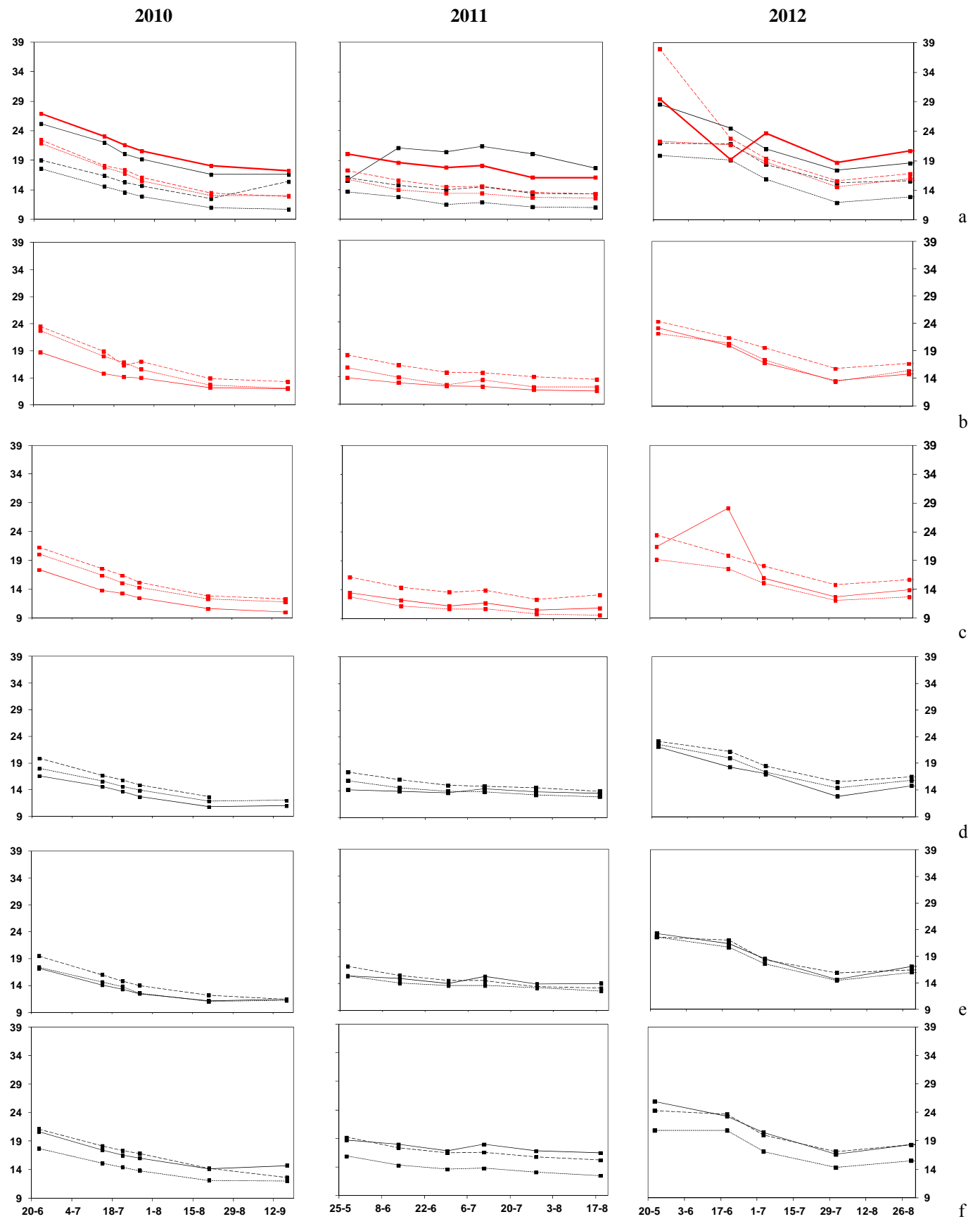


Fig. 3. Evolución del contenido de agua en el suelo (%) a 30 cm (—), 45 cm (- - -) y 60 cm (.....) de profundidad (2010-2012). Distancia a la cepa a) 0 cm, b) 25 cm, c) 50 cm, d) 100 cm, e) 125 cm, y f) 150 cm. Fila 1: negro y Fila 3: rojo.

Las variaciones producidas entre los contenidos de agua en el suelo tomando como referencia la distancia de 100 cm no son significativas ($< |7,8|$). Por último, para las profundidades de 60 cm existe una pequeña variación si tomamos como referencia el origen (0 cm) no superior al (13%) (Tabla 1).

4.- Conclusiones

La disposición de los laterales de riego entre 30-40 cm de profundidad es la razón de que desde los 25 cm a los 150 cm de distancia al tronco/emisor nos encontremos con una disponibilidad de agua inferior, reduciéndose el efecto a la distancia de 150 cm. Para los 45 cm de profundidad el emisor de riego interlínea tiene una clara influencia dado que el porcentaje de humedad de agua en el suelo es superior a 1 m frente a mayores distancias, por lo que se concluye que con goteros interlínea a 1 m en un sistema de riego subsuperficial se consigue mantener un bulbo húmedo hasta la distancia de 1 m, aumentando el agua disponible entre los 30 y 45 cm. El comportamiento del agua en la profundidad de 60 cm, hace pensar que el bulbo se extiende a medida que nos alejamos del origen del emisor en profundidad, debido a las características del suelo estudiado, arenoso-franco.

Cabe destacar que los datos expuestos son valores medios de la variación del contenido en el período estudiado, por lo que se debería tener presente la dinámica del agua en el suelo después de eventos de lluvia y riego.

Agradecimientos. Al personal técnico y administrativo de la "Bodega Pazo San Mauro", y al "Centro Tecnológico para el Desarrollo Industrial" – Ministerio de Ciencia e Innovación (España). Al Proyecto del Ministerio de Educación y Ciencia (AGL2003-09284-C02-02) por permitir el uso de equipamiento científico. Al programa de Investigación de la Xunta de Galicia, Isabel Barreto 2009.

5.- Bibliografía

- Ayars, J.E., C.J. Phene, R.B. Hutmacher, K.R. Davis, R.A. Schoneman, S.S. Vail y R.M. Mead, 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agric Water Manag.* 42(1), 1–27.
- Barajas, E., J.A. Rubio, C. Arranz y J. Yuste, 2006. Respuesta del potencial hídrico foliar a la variación de la distancia entre cepas. *Vida Rural.* 231, 12-15.
- Ben-Gal, A., N. Lazarovitch y U. Shani, 2004. Subsurface drip irrigation in gravel-filled cavities. *Vadose Zone J.* 3, 1407–1413.
- Camp, C.R., 1998. Subsurface drip irrigation: a review. *Trans ASAE.* 41, 1353–1367.
- Dafonte, J., J.R. Raposo, M. Valcárcel, M. Fandiño, E.M. Martínez, B.J. Rey y J.J. Cancela, 2013. Utilización de la tomografía eléctrica resistiva para estimar el contenido de agua en el suelo en viña bajo diferentes sistemas de riego, En: *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo, vol XI (XI Jornadas de Investigación en la Zona No Saturada del Suelo, Lugo)*. AGAIA (ed.). Lugo, España, 57-62.
- Fandiño, M., J.J. Cancela y B.J. Rey, 2009. Water management in vineyards. Using TDR. En: 12th Envirowater Conference, 9 a 11 Noviembre de 2009, Marrakech.
- Fandiño M., J.J. Cancela, B.J. Rey, E.M. Martínez, R.G. Rosa y L.S. Pereira, 2012. Using the dual-Kc approach to model evapotranspiration of Albariño vineyards (*Vitis vinifera* L. cv. Albariño) with consideration of active ground cover. *Agr. Water Manage.* 112, 75-87.
- Gil, M., L. Rodríguez-Sinobas, R. Sánchez, L. Juana y A. Losada, 2007. Efecto del suelo en el caudal del gotero en riego subsuperficial. Determinación de caudales máximos. XXV Congreso Nacional de Riegos, C-24. Pamplona.
- Gil, M., L. Rodríguez-Sinobas, R. Sánchez y A. Losada, 2008. Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: effect on water-application uniformity. *Irrig. Sci.* 26(6), 453-458.
- Hidalgo, L., 1993. *Tratado de viticultura general.* 983. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.
- Kandelous, M.M., J. Šimůnek, M.Th. van Genuchten y K. Malek, 2011. Soil water content distributions between two emitters of a subsurface drip irrigation system. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 75, 488–497.
- Ley 8/1996, de 15 de enero, por la que se adoptan medidas urgentes para reparar los efectos producidos por la sequía. BOE, 17 de enero de 1996.
- Martínez, J. y J. Reza, 2005. Situación actual y perspectivas del riego subterráneo. *Vida Rural.* 211, 38-42.
- Monjezi, M.S., H. Ebrahimian, A. Liaghat y M.A. Moradi, 2013. Soil-wetting front in surface and subsurface drip irrigation. *Proceedings of the ICE-Water Management*, 166 (5), 272-284.
- Palomo, M.J., F. Moreno, J.E. Fernández, A. Díaz-Espejo y I.F. Girón, 2002. Determining water consumption in olive orchards using the water balance approach. *Agric. Water Manag.* 55, 15-35.
- Peel, M.C., B.L. Finlayson y T.A. McMahon, 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11, 1633–1644.
- Philip, J.R., 1992. What happens near a quasi-linear point source?. *Water Resour. Res.* 28, 47–52.
- Pizarro, F., 1996. *Riegos localizados de alta frecuencia.* 3ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- Reglamento (CE) Nº 1493/1999 del Consejo de 17 de mayo de 1999, por el que se establece la organización común del mercado vitivinícola.
- Rey, B.J., M. Fandiño, E.M. Martínez y J.J. Cancela, 2010. Evaluación del Bulbo Húmedo en Riego Subsuperficial en Viñedo. XXVIII Congreso Nacional de Riegos, A-06. León.
- Robinson, D.A., S.B. Jones, J.M. Wraith, D. Or y S.P. Friedman, 2003. A review of advances in dielectric and electrical conductivity measurement in soils using time domain reflectometry. *Vadose Zone J.* 2, 444–475.
- Santos, F.L., P.C. Valverde, A.F. Ramos, J.L. Reis y N.L. Castanheira, 2007. Water use and response of a dry-farmed olive orchard recently converted to irrigation. *Biosyst. Eng.* 98, 102-114.
- Silva, N.R.F., R. Ramon, L.R. Modesto, D.B. Nogueira, E.M. Martínez, M. Fandiño, J.J. Cancela y B.J. Rey, 2013. Rango de presión en emisores de riego en ladera en viñedo. XXXI Congreso Nacional de Riegos, C-17. Orihuela.
- Singh, D.K., T.B.S. Rajput, D.K. Singh, H.S. Sikarwar, R.N. Sahoo y T. Ahmad, 2006. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. *Agric. Water Manage.* 83, 130–134.
- Souto, F.J., J. Dafonte y M. Escariz, 2008. Design and air-water calibration of a waveguide connector for TDR measurements of soil electric permittivity in stony soils. *Biosyst. Eng.* 101(4), 463-471.
- Thompson, T.L., P. Huan-Cheng y L. Yu-yi, 2009. The Potential Contribution of Subsurface Drip Irrigation to Water-Saving Agriculture in the Western USA. *Agr. Sci. China.* 8(7), 850-854.
- Topp, G.C., J.L. Davis y A.P. Annan, 1980. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. *Water Resour. Res.* 16(3), 574–582.