

## Analysis of plant and soil water status indicators and its application to automatic deficit irrigation scheduling of fruit trees

## Estudio de indicadores de estrés hídrico de suelo y planta y su aplicabilidad a la programación automática del riego deficitario en frutales

P. J. Blaya-Ros<sup>1\*</sup>, R. Torres<sup>2</sup>, V. Blanco<sup>1</sup>, R. Domingo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento Producción Vegetal, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 48, 30203, Cartagena.

<sup>2</sup>Departamento Tecnología Electrónica, Universidad Politécnica de Cartagena, Campus Muralla del Mar, Doctor Fleming, s/n, 30202, Cartagena.

\* pedro.blaya@upct.es

### **Abstract**

**In arid and semiarid regions where water is the main limiting factor of production, the use of deficit irrigation strategies linked to the use of new technologies can contribute to improving the efficiency and sustainability of irrigated agriculture. The present PhD Thesis' proposal aims at analysis of the different soil and plant status indicators in different water regimes, establishing threshold values for the optimization and automatic and remote scheduling of irrigation in fruit trees, just as the relationship of indicators studied with the agronomic response of the crop.**

**Keywords:** TICs; *Prunus dulcis*; water relations.

### **Resumen**

**En regiones áridas y semiáridas donde el principal factor limitante de la producción es el agua, la utilización de estrategias de riego deficitario unido al uso de las nuevas tecnologías puede contribuir a la mejora de la eficiencia de uso y sostenibilidad de la agricultura de regadío. La presente propuesta de tesis doctoral pretende profundizar en el estudio de los diferentes indicadores del hídricos del suelo y planta a diferentes regímenes hídricos, establecimiento de valores umbrales para la optimización y programación automática y remota del riego en árboles frutales, así como la relación de los indicadores estudiados con la respuesta agronómica del cultivo.**

**Palabras clave:** TICs; *Prunus dulcis*; relaciones hídricas.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Murcia, situada en el sureste español, es una región con predominantes zonas áridas y semiáridas de clima mediterráneo. Esta característica unida al buen hacer de sus gentes le ha convertido en un área con agricultura de primor altamente competitiva y tecnológicamente preparada para la incorporación de innovaciones de índole tecnológica o de manejo de nuevas estrategias de cultivo [1]. Sin embargo, los fuertes déficits hídricos estacionales dificultan de sobremanera la sostenibilidad de los agrosistemas murcianos. De ahí, que uno de los principales objetivos a nivel político y de la sociedad agraria en general haya y siga siendo la búsqueda de

fuentes alternativas de agua y la aplicación exacta y cuidadosa de los requerimientos de riego para satisfacer un criterio de programación técnico-económico. El constante aumento de la escasez de agua en la región, en parte debido a su alta demanda evaporativa ( $1300 \text{ mm año}^{-1}$ ) y baja precipitación ( $250 \text{ mm año}^{-1}$ ) obliga a mejorar la productividad del agua (PA). En almendro y en un gran número de especies frutales PA es superior a la obtenida en hortalizas o cultivos herbáceos, debido a que los procesos que determinan la producción en muchas especies frutales no son sensibles a la reducción de agua en determinados estados de desarrollo, y al hecho de que una determinada reducción en los aportes hídricos se traduce en una reducción mayor de la transpiración que en cultivos herbáceos y en consecuencia en un ahorro de agua mayor. Además, el desarrollo de un cierto nivel de estrés puede mejorar la calidad y conservación de los frutos [2].

La agricultura de regadío es con mucho el principal destinatario de los recursos hídricos disponibles en la región (>70%). Por ello, en situaciones de emergencia por sequía, estos recursos destinados a la agricultura son percibidos por el resto de los sectores de nuestra sociedad como la principal fuente de agua [2]. Esta realidad, ha dado lugar a nivel de campo a diversas actuaciones tendentes a racionalizar el uso del agua mediante estrategias de conservación del agua, como es el caso del riego deficitario controlado (RDC). Este consiste en imponer un déficit hídrico controlado en determinados periodos en los que la producción se ve poco a nada afectada y la calidad de las cosechas incluso se ve mejorada.

Ahora bien, para un manejo eficiente del uso del agua es necesario contar con indicadores del estado hídrico del suelo y/o de la planta sensibles al déficit hídrico, que nos permitan un conocimiento del estado hídrico de la plantación en todo momento [3]. El método más aceptado para la determinación del estado hídrico de la planta es la medida del potencial hídrico de hoja,  $\Psi_{h,l}$ , o tallo,  $\Psi_t$ , a mediodía con cámara de presión Scholander [4]. Sin embargo, este método, además de costoso en tiempo y labores asociadas, es destructivo y de difícil automatización. Por ello, de forma alternativa se vienen utilizando sensores en suelo y planta que proporcionan a través del registro automático medidas continuas de variables relevantes del estado hídrico de los cultivos [5]. Entre estas variables destacan las microvariaciones del diámetro de tronco [6, 7] flujo de savia [8], temperatura del dosel [9] o emisiones acústicas por cavitación en el xilema [5]. El uso más habitual de los sensores en planta ha sido el de la supervisión del riego, aunque también existen trabajos en los que se han usado para la programación automática o remota del riego [3, 10].

El objetivo principal de este trabajo de tesis es profundizar en el estudio de indicadores del estado hídrico en el continuo suelo-planta-atmósfera (CSPA) sensibles al estrés hídrico y fácilmente automatizables para su empleo en la programación del riego de árboles frutales. Esto permitiría ajustar los coeficientes,  $K_{cb}$  y  $K_e$ , a las características del cultivo y condiciones de humedad del suelo.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevará a cabo en una parcela de almendros (*Prunus dulcis* (Mill.) D. A. Webb) cv. 'Marta' de 1 ha de superficie y perteneciente a la Estación Experimental Agroalimentaria 'Tomás Ferro' de la Universidad Politécnica de Cartagena ( $37^\circ 41' \text{ N}$ ,  $0^\circ 57' \text{ E}$ ). Los árboles de 17 años de edad al inicio del ensayo e injertados sobre 'Mayor' (*Prunus dulcis* vs *Prunus pérsica*) están dispuestos a un marco 7 m x 6 m. El sistema de riego por goteo constará de dos laterales por hilera de árboles y emisores autocompensantes de  $4 \text{ L h}^{-1}$  a un metro de separación (12 emisores árbol<sup>-1</sup>). El agua de riego que se utilizará es de buena calidad, presentando una conductividad eléctrica ( $CE_{25^\circ\text{C}}$ ) de  $1,07 \text{ dS m}^{-1}$ . Todos los tratamientos recibirán idénticos cuidados agrícolas.

El ensayo constará de 6 tratamientos de riego con una distribución de bloques al azar con 3 repeticiones y 12 árboles por repetición. Los tratamientos de riego planificado son: i) Control,

CTL, regado, durante todo el ciclo, al 110% de la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ), al objeto de asegurar condiciones no limitantes de agua en el suelo, ii) Secano, SCO, sin riego a excepción de algún riego de socorro al alcanzar un potencial de tallo,  $\Psi_t$ , inferior a -2,5 MPa, iii) dos tratamientos de riego deficitario sostenido, uno ligero, RDL con riego al 80%  $ET_c$  todo el año y otro moderado-severo (RDM) regado al 45%  $ET_c$  todo el año y iv) dos tratamientos de riego deficitario controlado, uno moderado (RDCM) y otro severo (RDSC) en los que el déficit hídrico controlado se aplicará durante la fase de llenado de grano (fase IV; junio – mediados de agosto). Por tanto, las estrategias RDC serán 100-45-100%  $ET_c$  y 100-30-100%  $ET_c$  para RDCM y RDSC, respectivamente. Todos los tratamientos estarán equipados con redes de sensores inalámbricas (WSN) con un nodo de comunicación por punto de medida. La dosis de riego se calculará semanalmente a partir de la estimación de  $ET_c$  propuesta por FAO:

$$ET_c = ET_0 \times K_c \times K_L.$$

donde,  $ET_0$  es la evapotranspiración de referencia [11];  $K_c$ , coeficiente de cultivo [12];  $K_L$ , un coeficiente corrector por localización dependiente de la superficie del suelo cubierta por las copas de los árboles [13].

Los parámetros a medir y las técnicas a utilizar serán: (a) Planta: MCD, máxima contracción diaria y TCD, tasa de crecimiento diario de rama principal (dendrómetro),  $g_s$  conductancia estomática,  $A_{ml}$  fotosíntesis neta y  $E$ , transpiración (CIRAS2),  $T_c$  temperatura foliar (termoradiómetro),  $\Psi_t$  potencial hídrico de tallo (hojas cubiertas) [14],  $\Psi_{h,l}$  potencial hídrico de hoja,  $\Psi_{o,l}$  potencial osmótico de hoja (osmómetro) y  $\Psi_{p,l}$  potencial de presión en hoja, clorofila (SPAD-502), parámetros de crecimiento vegetativo, del fruto, producción y calidad de la cosecha. (b) Suelo:  $\theta_v$  contenido volumétrico de agua de forma continua y discreta (10HS y Diviner 2000),  $\Psi_m$  potencial matricial,  $T_s$  temperatura del suelo (MPS-6) y  $CE_e$ , conductividad eléctrica del extracto saturado. (c) Atmósfera: Las variables meteorológicas ( $ET_0$ , DPV, temperatura, humedad, etc.) se obtendrán mediante la estación climática ubicada en ESEA-UPCT (CA12) y perteneciente a la red del Sistema de Información Agraria de Murcia, SIAM (<http://siam.imida.es>).

### 3. RESULTADOS ESPERABLES

Este proyecto de tesis profundizará sobre el funcionamiento hídrico de los frutales a través de la medida de diversos indicadores biológicos tradicionalmente empleados en el estudio de la respuesta de la planta a diferentes regímenes hídricos, y en particular el uso de la temperatura foliar (temperatura de superficie) en el manejo del riego. Para ello, se utilizarán plataformas de comunicación flexibles e inalámbricas las que proporcionarán el soporte necesario para el tratamiento de la información. De igual modo, este estudio busca establecer valores consigna de los indicadores estudiados para optimizar y automatizar la programación del riego en frutales y buscar modelos sencillos que permitan estimar un parámetro de interés en función de variables de fácil medida. Así como la relación de dichos indicadores con la respuesta agronómica del cultivo.

### 4. CONCLUSIONES

Con esta tesis de claro objetivo finalista, se pretende, a través del conocimiento del funcionamiento hídrico del árbol: i) establecer protocolos para la programación del riego deficitario en frutales en base a sensores en suelo y planta, ii) mejorar las eficiencias de uso del agua como vía para la sostenibilidad del regadío en zonas áridas y semiáridas, y iii) establecer relaciones entre diferentes parámetros de suelo, planta y clima como vía para poder predecir indicadores del estado hídrico en planta de laboriosa obtención a través de variables con mayor facilidad de obtención.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo será financiado por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad del Gobierno de España, MINECO (Ref. AGL2016-77282-C3-3-R) y la Fundación Séneca de la Región de Murcia (Grupo de excelencia 2016-2019 Ref. 19895/GERM/15).

## 6. REFERENCIAS

- [1] Domingo, R., Nortes, P.A., Egea, G., Torres, R., Pérez-Pastor, A. 2005. Utilización de sensores en planta para la programación del riego. *Vida Rural* 217: 42-46.
- [2] Fereres, E., Rabanales, M.A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *J. Exp. Bot.* 58: 147-159.
- [3] Puerto, P., Domingo, R., Torres, R., Pérez-Pastor, A., García-Riquelme, M. 2013. Remote management of deficit irrigation in almond trees based on maximum daily trunk shrinkage: Water relations and yield. *Agric. Water Manag.* 126: 33-45.
- [4] Shackel, K.A., Ahmadi, H., Biasi, W., Buchner, R., Goldhamer, D., Gurusinghe, S., Hasey, J., Kester, D., Krueger, B., Lampinen, B., McGourty, G., Micke, W., Mitcham, E., Olson, B., Pelletrau, K., Philips, H., Ramos, D., Schwankl, L., Sibbett, S., Snyder, R., Southwick, S., Stevenson, M., Thorpe, M., Weinbaum, S., Yeager, J. 1997. Plant water status as an index of irrigation need in deciduous fruit trees. *HortTechnology*. 7: 23-29.
- [5] Jones, H.G. 2006. Monitoring plant and soil water status: established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance. *J. Exp. Bot.* 58: 119-130.
- [6] Goldhamer, D.A., Fereres, E. 2001. Irrigation scheduling protocols using continuously recorded trunk diameter measurements. *Irrig. Sci.* 20: 115-125.
- [7] Ortuño, M.F., Conejero, W., Moreno, F., Moriana, A., Intrigliolo, D.S., Biel, C., Mellisho, C.D., Pérez-Pastor, A., Domingo, R., Ruiz-Sánchez, M.C., Casadesus, J., Bonany, J., Torrecillas, A. 2010. Could trunk diameter sensors be used in woody crops for irrigation scheduling? A review of current knowledge and future perspectives. *Agric. Water Manag.* 97: 1-11.
- [8] Espadafor, M., Orgaz, F., Testi, L., Lorite, I.J., González-Dugo, V., Fereres, E. 2017. Responses of transpiration and transpiration efficiency of almond trees to moderate water deficits. *Sci. Hortic.* 225: 6-14.
- [9] Stoll, M., Jones, H.G. 2007. Thermal imaging as a viable tool for monitoring plant stress. *J. Int. des Sci. la Vigne du Vin* 41: 77-84.
- [10] Conejero, W., Mellisho, C.D., Ortuño, M.F., Moriana, A., Moreno, F., Torrecillas, A. 2011. Using trunk diameter sensors for regulated deficit irrigation scheduling in early maturing peach trees. *Environ. Exp. Bot.* 71: 409-415.
- [11] Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. En: FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, (ed). FAO - irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, FAO. ed. Roma.
- [12] Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D. 2012. Crop yield response to water, FAO. ed. Roma.
- [13] Fereres, E., Castel, J.R. 1981. Drip Irrigation Management. Division of Agricultural Sciences, University of California (Leaflet 21259).
- [14] Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 24: 519-570.