

A-18-2021

Comunicación científico-técnica

## Plataforma de supervisión y control de riego localizado en cultivos leñosos.

Domínguez-Niño, J.M.<sup>1</sup>, Munuera, M.T.<sup>2</sup>, Nortes, P.<sup>3</sup>, Masdemont, B.<sup>4</sup>, Buitrago, J.M.<sup>5</sup>, Ponce, L.<sup>6</sup>, Tornero, J.F.<sup>7</sup>, García, F.J.<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Sistema Azud, Alcantarilla, Murcia, (España); [jndominguez@azud.com](mailto:jndominguez@azud.com);

<sup>2</sup> Sistema Azud, Alcantarilla, Murcia, (España); [tmunuera@azud.com](mailto:tmunuera@azud.com)

<sup>3</sup> Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia (España); [panortes@cebas.csic.es](mailto:panortes@cebas.csic.es)

<sup>4</sup> Sistema Azud, Alcantarilla, Murcia, (España); [beatriz@azud.com](mailto:beatriz@azud.com)

<sup>5</sup> Sistema Azud, Alcantarilla, Murcia, (España); [jm.buitrago@azud.com](mailto:jm.buitrago@azud.com)

<sup>6</sup> Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia (España); [lponce@cebas.csic.es](mailto:lponce@cebas.csic.es)

<sup>7</sup> Nutricontrol, Cartagena, Murcia, (España); [jtornero@nutricontrol.com](mailto:jtornero@nutricontrol.com)

<sup>8</sup> Nutricontrol, Cartagena, Murcia, (España); [fgarcia@nutricontrol.com](mailto:fgarcia@nutricontrol.com)

**Resumen:** La interpretación de sensores de humedad y la automatización del riego permiten una gestión rápida del cultivo, manteniendo unas condiciones óptimas en la zona de las raíces garantizando un adecuado crecimiento del mismo. Este trabajo trata de exponer como poner en valor las herramientas de digitalización en un cultivo leñoso regado por goteo, tomando como ejemplo el mandarino. Para ello se ha diseñado una plataforma web que permite recoger, visualizar y tomar decisiones. En concreto, gracias a la plataforma web se puede ver el comportamiento de diferentes sondas de humedad de tipo capacitivo, así como hacer un seguimiento de las lecturas de riego aplicado. Los resultados muestran que a pesar de que las sondas muestren variabilidad entre ellas, debido a sus características inherentes o propiedades del terreno en que se instalan, lo interesante es su respuesta frente al riego o un evento meteorológico y su tendencia a largo plazo. Además, se observó que durante el periodo de tiempo evaluado el caudal apenas experimentó variaciones respecto al valor teórico (0.96% en riego superficial y 0.926% en riego subterráneo). Finalmente, gracias al conocimiento adquirido en esta instalación, se pondrá poner en práctica en otros cultivos.

**Palabras clave:** riego localizado; riego subterráneo; sonda de humedad, caudal; plataforma riego; monitorizar; cultivo leñoso

A-18-2021

*Scientific-technical communication*

## Platform for monitoring and control of localized irrigation in woody crops.

Domínguez-Niño, J.M.<sup>1</sup>, Munuera, M.T.<sup>2</sup>, Nortes, P.<sup>3</sup>, Masdemont, B.<sup>4</sup>, Buitrago, J.M.<sup>5</sup>, Ponce, L.<sup>6</sup>, Tornero, J.F.<sup>7</sup>, García, F.J.<sup>8</sup>

<sup>1</sup> Sistema Azud, Alcantarilla, Murcia, (España); [jndominguez@azud.com](mailto:jndominguez@azud.com);

<sup>2</sup> Sistema Azud, Alcantarilla, Murcia, (España); [tmunuera@azud.com](mailto:tmunuera@azud.com)

<sup>3</sup> Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia (España); [panortes@cebas.csic.es](mailto:panortes@cebas.csic.es)

<sup>4</sup> Sistema Azud, Alcantarilla, Murcia, (España); [beatriz@azud.com](mailto:beatriz@azud.com)

<sup>5</sup> Sistema Azud, Alcantarilla, Murcia, (España); [jm.buitrago@azud.com](mailto:jm.buitrago@azud.com)

<sup>6</sup> Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, Murcia (España); [lponce@cebas.csic.es](mailto:lponce@cebas.csic.es)

<sup>7</sup> Nutricontrol, Cartagena, Murcia, (España); [jtornero@nutricontrol.com](mailto:jtornero@nutricontrol.com)

<sup>8</sup> Nutricontrol, Cartagena, Murcia, (España); [fgarcia@nutricontrol.com](mailto:fgarcia@nutricontrol.com)

**Abstract:** The interpretation of moisture probes and automated irrigation allow a fast crop management, maintaining optimal conditions in the root zone and guaranteeing an adequate crop growth. This work tries to expose how to put in value the digitalization tools in a drip irrigated woody crop, taking as an example the mandarin tree. For this purpose, a web platform has been designed to collect, visualize and make decisions. In particular, thanks to the web platform it is possible to see the behavior of different capacitive moisture probes, as well as to monitor the applied irrigation. The results show that although the probes show variability among the different types of probes, due to their inherent characteristics or soil properties where they are installed, what is interesting is their response to irrigation or a meteorological event and their long-term trend. In addition, it was observed that during the period of time evaluated, the flow rate barely varied with respect to the theoretical value (0.96% in surface irrigation and 0.926% in subsurface irrigation). Finally, thanks to the knowledge acquired in this installation, it will be put into practice in other crops.

**Keywords:** localized irrigation; subsurface irrigation; moisture probe, flow rate; irrigation platform; monitoring; woody crops

## 1. Introducción

La agricultura es una de las actividades que más agua dulce consume en el mundo, aproximadamente el 70% [1]. A medida que la población aumenta, también lo hace la necesidad de alimentos y, como consecuencia, la demanda de agua. Por lo tanto, es necesario desarrollar métodos para mejorar la eficiencia de la gestión del agua.

Dentro de una parcela, la monitorización y el control del riego generan beneficios como el ahorro del agua, disminución del impacto ambiental, lo que repercute en el desarrollo de una agricultura sostenible [2]. En este sentido, el riego de precisión es interesante ya que proporciona a los regantes un mayor control sobre la cantidad de agua que emplean y ayuda a optimizar parámetros como la frecuencia y duración de riego, la tasa de descarga del emisor y la ubicación de laterales en función de la parcela, suelo y cultivo [3]. Además, ayuda a reducir las pérdidas de agua por evaporación, percolación profunda y escorrentía.

En el día a día, la programación del riego optimizada, requiere de gran dedicación, constancia y experiencia de los agricultores. Por ello, se precisa de herramientas digitales que permitan liberar al agricultor de estas exigencias, haciendo que en los cultivos se aplique un riego de precisión con un esfuerzo viable. Así pues, el empleo de sondas de humedad y la automatización del riego mediante el empleo de plataformas web se presentan como la alternativa idónea para este propósito.

Las sondas de humedad son dispositivos que permiten evaluar, de forma rápida y continua, el contenido de agua del suelo a diferentes profundidades. Entre ellas, las más populares son las de tipo capacitivo dada su robustez, bajo consumo energético y bajo mantenimiento. Además del empleo de este tipo de sondas para la supervisión de la dinámica del riego, la información que generan es de gran interés en los sistemas de apoyo a la decisión (DSS) ya que permiten determinar cuándo y cuánta agua aportar en una parcela [4].

Sin embargo, su instalación en campo muestra una gran variabilidad, sobre todo en instalaciones con riego por goteo, ya que genera bulbos húmedos cuya formación está afectada por las propiedades físicas del suelo (textura, densidad aparente, contenido inicial de agua...), sistema radicular del cultivo, tasa de riego, evaporación y percolación entre otros. A pesar de estas consideraciones, el empleo de sondas de humedad para la gestión de riego es apto y por ello conocer su comportamiento es de gran utilidad.

El conocimiento de los factores implicados en las mediciones con sensores permitirá optimizar su uso, en cuanto a aspectos como su número y ubicación en el suelo, así como su interpretación e integración en plataformas que permitan hacer un seguimiento, controlar y tomar decisiones.

El objetivo del presente estudio es evaluar como las herramientas de digitalización permiten controlar y realizar un seguimiento de un cultivo leñoso regado por goteo. Para ello, se toma como referencia el comportamiento de diferentes sondas capacitivas instaladas en posiciones equivalentes y la evolución de las dosis de riego y caudales.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Diseño experimental y tratamientos de riego

En ensayo se llevó a cabo en un cultivo de mandarinos (*Citrus reticulata*) con un marco de plantación de 6m x 2m y orientación este-oeste con riego localizado en superficie y subterráneo (0.40m de profundidad). El suelo era de textura franca y pedregoso con un 2.6% de materia orgánica y una conductividad eléctrica de 0.29mS/cm. El sistema de riego consistió en una doble línea de emisores

de tipo AZUD PREMIER PC AS 16 2.3L con goteros cada 0.50m. La distancia entre laterales y línea de cultivo fue de 1m.

Se ensayaron 4 tratamientos de riego, T1, riego en superficie regado al 100% de las necesidades del cultivo durante todo el año, T2, riego en superficie, donde se aplicó una estrategia de riego deficitario controlado, con reducción del riego al 50% de la  $ET_c$  en la fase II del crecimiento del fruto, idénticos tratamientos fueron manejados en riego subterráneo, T3 y T4, respectivamente (Figura 1). El diseño experimental fue de bloques al azar con 4 repeticiones por tratamiento, de tres filas de árboles, donde se seleccionaron árboles de la fila central para el seguimiento del estado hídrico del suelo.

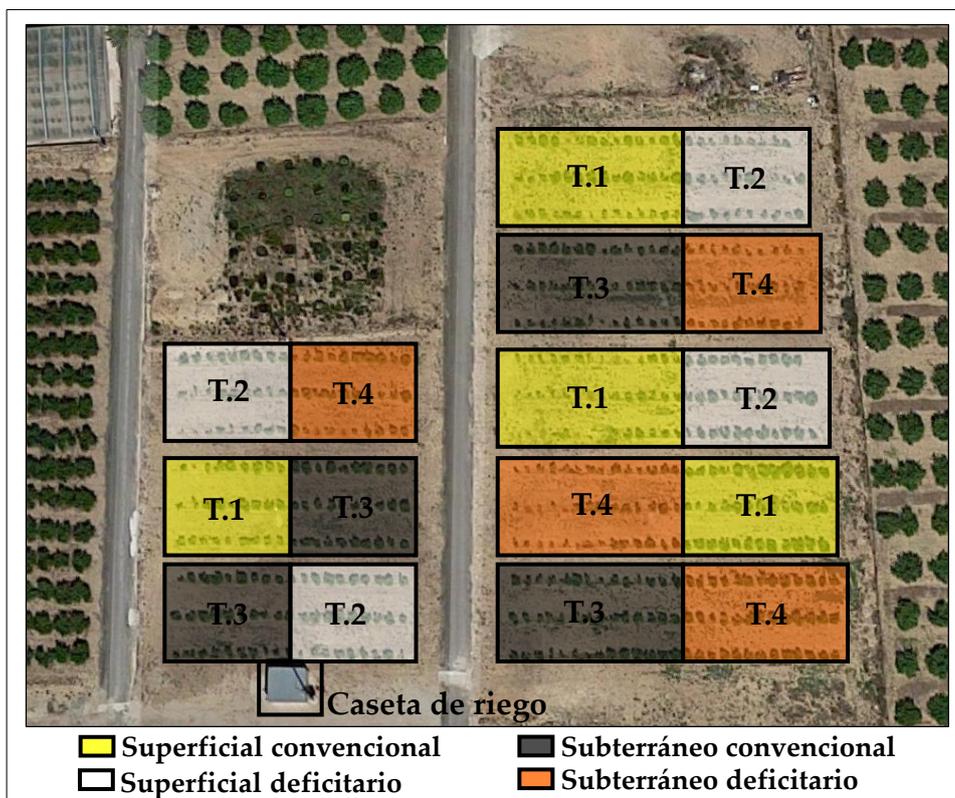


Figura 1. Esquema de la plataforma de supervisión y control de riego localizado

La programación del riego consistió en la aplicación del balance hídrico de la FAO, con periodicidad semanal, empleando la  $ET_o$  de la semana anterior registrada por una estación meteorológica situada en la finca y coeficientes de cultivo teóricos. Los sectores de riego estaban controlados mediante el programador Mastia 332 3K (Nutricontrol, Murcia, España).

## 2.2. Sondas de humedad empleadas y localización

Para realizar el seguimiento del contenido volumétrico del suelo, en el ensayo se seleccionaron 3 tipos de sondas de humedad de tipo capacitivo que fueron las siguientes:

- Sonda Drill & Drop (SENTEK Technologies): midió contenido de agua, conductividad eléctrica y temperatura entre 0 y 80cm de profundidad.
- Sonda HydraSCOUT (HSTI Soil Moisture Management): midió contenido de agua y temperatura entre 10 y 80cm de profundidad.

- Sonda TEROS-12 (METER GOUP): midió contenido de agua, conductividad eléctrica y temperatura a 30 y 60cm de profundidad.

Las sondas evaluadas estaban dispuestas en posiciones equivalentes respecto al gotero, concretamente en el punto medio entre dos goteros consecutivos, a 10cm del lateral, tanto en la configuración de riego superficial como riego subterráneo (Figura 2).

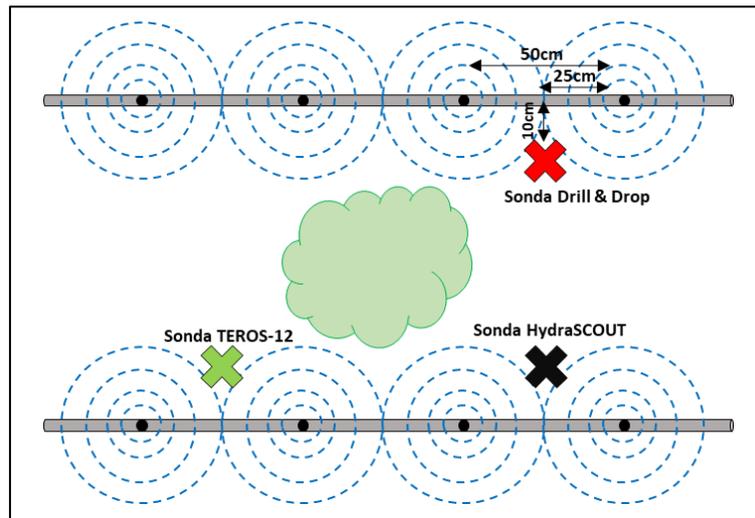


Figura 2. Disposición de las sondas de capacitancia (Drill&Drop, HYDRASCOUT y TEROS-12)

### 2.3. Sistema de control, ejecución y comunicación

En cada sector de riego había diferentes tipos de sondas conectadas a un sistema de comunicación inalámbrico (REDIN) que almacenaba y enviaba las lecturas de las sondas de humedad al programador de riego y éste a la plataforma web donde se podían controlar y visualizar las lecturas de la señal del evento de riego y de las sondas de humedad. En la Figura 3 se observa un esquema en el que se detallan los pasos que se siguieron desde que se tomaron los datos con las sondas de humedad y contadores hasta su visualización en la plataforma web de riego.

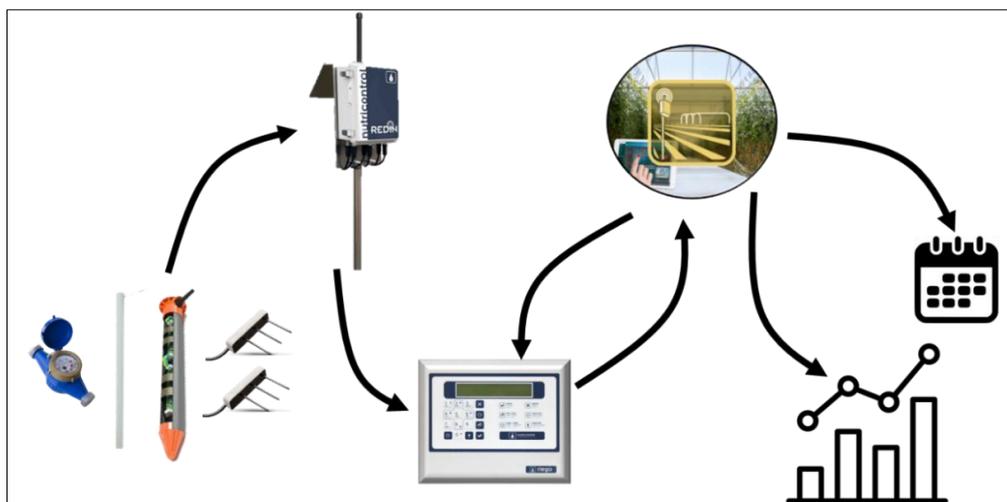


Figura 3. Esquema del sistema de control, ejecución y comunicación

### 2.3. Plataforma web para el control de riego

La plataforma web desarrollada por Nutricontrol y junto con la colaboración de AZUD y CEBAS-CSIC, permitió conocer el comportamiento hidráulico de los diferentes sectores de una parcela en cualquier momento. Básicamente, consistió en incorporar a un controlador que inicialmente estaba diseñado para programar el riego, sondas de humedad de tipo capacitivo, cuyas lecturas junto con las de contadores se recogieron telemáticamente en una la plataforma web de riego diseñada tanto para modificar la programación de riego telemáticamente, como para registrar información acerca el estado del suelo (contenido de humedad, conductividad eléctrica y temperatura) así como dosis y caudales aplicados.

Actualmente esta plataforma web está activa y se centra en recopilar información relativa al contenido de agua, conductividad eléctrica y temperatura del suelo de un cultivo de mandarinos. Al tratarse de una plantación localizada en suelo pedregoso, presenta dificultad para la instalación de sondas y por ende manejo del riego.

La plataforma de riego desarrollada tiene como particularidad y característica diferenciadora de otras plataformas que está recogiendo lecturas de diferentes tipos de sondas capacitivas (Drill&Drop, HydraSCOUT y TEROS-12), además de valores de caudales en cada momento del evento de riego.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Mediciones de contadores

Durante el periodo en el que la plataforma de control y seguimiento del riego empezó a estar operativa hasta la actualidad, se llevó a cabo la medición de las dosis aplicadas y los caudales. En lo referente a las dosis aplicadas, variaron semanalmente de acuerdo a la programación de riego, mientras que, según se muestra en la tabla 1, los caudales de mantuvieron prácticamente constantes con variaciones entre caudal teórico y caudal medio inferiores al 1.00%. Esto indicó que no hubo intrusión radicular o pérdidas de agua por fugas, salvo en momentos concretos cuando se realizaron labores de mantenimiento y limpieza de laterales.

**Tabla 1.** Variación de caudales respecto teórico en los tratamientos superficiales y los tratamientos subterráneos.

	SUPERFICIAL	SUBTERRÁNEO
CAUDAL TEORICO (m <sup>3</sup> /h)	0.205	0.106
CAUDAL PROMEDIO MEDIDO (m <sup>3</sup> /h)	0.198	0.100
DESVIACION CAUDAL LIMPIEZA (m <sup>3</sup> /h)	0.053	0.032
% VARIACION CAUDAL	0.960	0.926

### 3.2. Mediciones con sondas de humedad capacitivas

La respuesta de las sondas de humedad al riego y a los eventos meteorológicos variaron tanto en función del tipo sonda, como en función de la profundidad de los laterales de riego. En general, se vio que las sondas respondieron correctamente, pero con distinta intensidad en función del tipo de sonda (Figura 4).

A modo de síntesis, para comparar las sondas, se seleccionó la profundidad de 30-40cm que fue común a todas las sondas, era la profundidad donde se localizaban los laterales en el riego subterráneo y fue donde se localiza la mayor proporción de las raíces.

En el riego superficial las sondas HydraSCOUT y Drill & Drop, respondieron de manera definida y rápida tanto a los eventos de riego como a las precipitaciones, mientras que la sonda TEROS-12 respondió de manera menos intensa y sostenida en el tiempo al riego y de manera más definida a las precipitaciones.

En el caso del riego subterráneo la sondas HydraSCOUT y TEROS-12 responden al riego y a la precipitación, pero de modo menos intensa que en el superficial. Asimismo, la sonda Drill & Drop, mostró un comportamiento estacional, apenas mostró variaciones ante los ciclos de riego y precipitación, probablemente porque en esa profundidad está localizado el lateral y la zona se encuentra saturada.

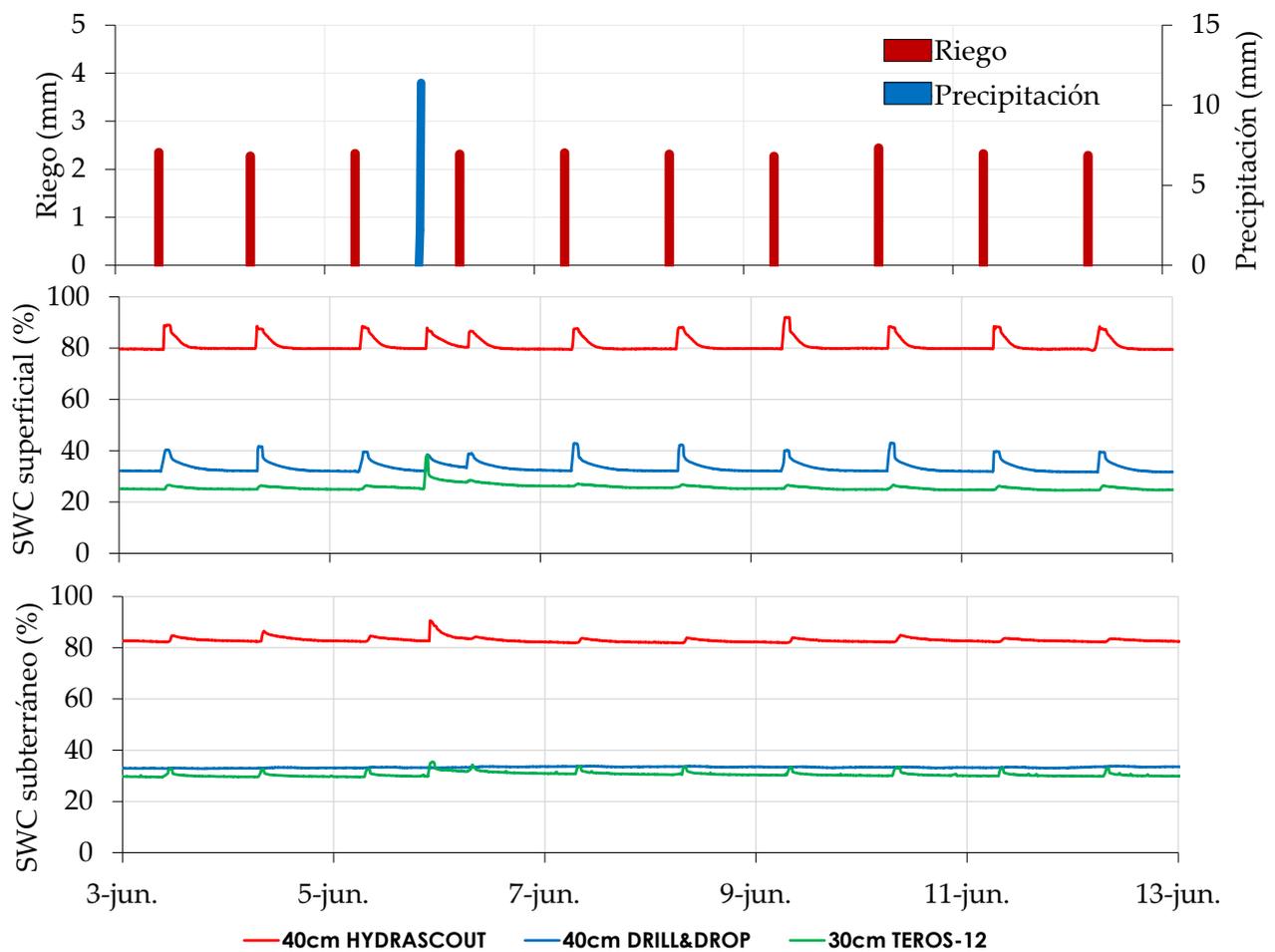


Figura 4. Dinámica del SWC de las sondas capacitivas Drill&Drop, HYDRASCOUT y TEROS-12 en riego superficial.

En general, aunque se trate de distintas sondas de humedad ubicadas en posiciones equivalentes, hay variabilidad entre lecturas, debido al diferente volumen de agua que perciben ( $V_{\text{HydraSCOUT}} \approx 1.3\text{L}$ ,  $V_{\text{Drill\&Drop}} \approx 0.6\text{L}$  y  $V_{\text{TEROS-12}} \approx 1\text{L}$ ) y por la heterogeneidad del suelo donde son instalados, debida principalmente a la presencia de gravas, la gran variabilidad de la densidad aparente, existencia de macroporos y la proximidad de las raíces del cultivo. Igualmente, la temperatura y la conductividad eléctrica pueden alterar esas mediciones.

## 4. Conclusiones

En el presente estudio se ha puesto en marcha una plataforma de control y monitorización del riego y de sensores de humedad en una parcela de mandarinos donde había distintas configuraciones del sistema de riego por goteo, diferentes manejos y distintos tipos de sondas.

Mediante la plataforma desarrollada se ha podido dotar a un programador de riego de diferentes sensores de humedad, pudiendo conocer exhaustivamente el contenido de agua y entender lo que está pasando en el suelo.

Los resultados obtenidos hasta la fecha sugieren que el medio sobre el que están instaladas las sondas, así como el sistema de riego tienen gran relevancia. Por un lado, el suelo se caracteriza por ser muy heterogéneo, altamente variable en distancias muy pequeñas, sobre todo por la abundante presencia de gravas, provocando que las sondas no estén exactamente en condiciones de terreno equivalentes. Por otro lado, debido a las características del terreno, los bulbos húmedos que se generan no son ideales y son muy variables en cuanto a tamaño, forma y alineación respecto al gotero, haciendo que todas las sondas de humedad no se vean afectadas por el mismo volumen de agua.

Además, otra posible explicación a la variabilidad en las mediciones es debida al pequeño volumen de suelo que perciben ( $V_{\text{HydraSCOUT}} \approx 1.3\text{L}$ ,  $V_{\text{Drill\&Drop}} \approx 0.6\text{L}$  y  $V_{\text{TEROS-12}} \approx 1\text{L}$ ), lo que hace que sean muy sensibles a las variaciones locales (textura, densidad aparente, contenido inicial de agua, sistema radicular del cultivo, tasa de riego, evaporación, percolación...). De igual manera, la temperatura y la conductividad eléctrica del suelo juegan un papel relevante.

En definitiva, dada la variabilidad del sistema, es conveniente ubicar los sensores en posiciones repetidas para que la interpretación sea más robusta. Observadas las diferentes respuestas de las sondas al riego y a los eventos meteorológicos, lo que interesa es conocer su comportamiento y dinámica en el tiempo. Además, en función de cada instalación y necesidades concretas se podrán emplear una u otra.

De acuerdo a la evolución del caudal, a diferencia de otras plataformas de riego, la plataforma desarrollada para este trabajo permitió conocer el caudal para cada evento de riego, el cual apenas sufrió variaciones a lo largo del tiempo, lo que permite al usuario a predecir operaciones de mantenimiento.

En base a todo lo indicado anteriormente, en un futuro cercano se prevé que el sistema funcione de manera desasistida de tal forma que en función de la respuesta de los sensores se active/desactive el riego y además en función de las variaciones de los caudales dé información acerca el mantenimiento de la instalación.

## 5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades – Agencia Estatal de Investigación y cofinanciado por la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER), dentro de la convocatoria RETOS-COLABORACIÓN 2017 que apoya proyectos en cooperación entre empresas y organismos de investigación, cuyo objetivo es promover el desarrollo tecnológico, la innovación y una investigación de calidad (Referencia: RTC-2017-6365-2).

## Referencias

1. AQUASTAT database. Available online: <http://www.fao.org/nr/aquastat> (accessed July 2021).
2. Smith, M.; Pereira, L.S.; Berengena, J.; Itier, B.; Goussard, J.; Ragab, R.; Tollefson, L.; Van Hoffwegen, P. (Eds.). Irrigation Scheduling: From Theory to Practice. FAO Water Report 8, FAO, Rome, 1996; pp 384.
3. Skaggs, T. H.; Trout, T. J.; Rothfuss, Y. Drip irrigation water distribution patterns: effects of emitter rate, pulsing, and antecedent water. Soil Sci. Soc. Am. J. 2010, 74, pp. 1886-1896.
4. Fares, A.; Alva, A. K. Evaluation of capacitance probes for optimal irrigation of citrus through soil moisture monitoring in an entisol profile. Irrig Sci. 2000, 19, pp. 57-64.