

D-01-2023

Comunicación científico-técnica

Uso de las TIC's para implementar un riego de precisión en cultivos leñosos

Use of ICT to implement precision irrigation systems in woody crops

Autores: Flores-Cayuela, C.M*¹; González-Perea, R.¹; Camacho, E.¹; Montesinos, P.¹

¹ Universidad de Córdoba. Departamento de Agronomía, Campus de Rabanales, Edif. Leonardo da Vinci

*g02flicac@uco.es

Resumen:

Debido al crecimiento exponencial de la población mundial, la agricultura tendrá que asumir el reto de incrementar hasta un 50% la producción de alimentos para el año 2050 para abastecer a dicha población. En Andalucía, donde se prevé un escenario climático muy desfavorable, será especialmente necesario optimizar la gestión de los recursos hídricos, cuya escasez se ha convertido en uno de los problemas ambientales globales más relevantes y complejos. Desde este punto de vista, la digitalización del sector agrícola a través de la implantación de tecnologías de vanguardia permite optimizar el uso del agua. La información recogida en el campo a través de sensores y transmitida mediante tecnologías de la información y la comunicación (TICs) es clave para implantar sistemas de riego de precisión que permitan conocer con exactitud las necesidades de agua de los cultivos y aplicar la cantidad óptima de agua en el momento adecuado.

El objetivo de este trabajo es implementar un sistema de riego de precisión en cultivos leñosos mediante el análisis e integración de los datos de sensores instalados en campo y datos climáticos. Para ello se han establecido parcelas piloto en la que se han instalado distintos sensores que controlan la aplicación de agua al cultivo: sondas de contenido volumétrico de humedad de suelo y contadores de riego. Cada parcela piloto cuenta con un contador de pulsos instalado en el ramal de riego y dos sensores de humedad instalados a distintas profundidades, dependiente del tipo de suelo y las características del cultivo.

Se ha creado un modelo que analiza los datos que proporcionan sensores instalados en campo junto con información característica del cultivo (marco de plantación y diámetro de copa) e información climática, tanto histórica como predictiva (Red de Estaciones Agroclimáticas de la Junta de Andalucía, AEMET Open Data y el tiempo.es), para estimar la evapotranspiración del cultivo y la



XXXIX Congreso Nacional de Riegos ÚBEDA (JAÉN)

18, 19, 20 de octubre de 2023



evolución de humedad en el suelo en los próximos 7 días. Para la programación de riego, el modelo usa como base la metodología de la Organización de las Naciones Unidas para Agricultura y la Alimentación (FAO). Cuando el contenido de agua en el suelo es inferior al nivel de agotamiento permisible es necesario regar. Este balance de agua en el suelo se recalcula diariamente en función de los datos actualizados de las sondas de humedad de suelo y las predicciones climáticas. Estas predicciones, junto con información característica del sector y la red de riego (caudal nominal de los emisores, distancia entre emisores y superficie del sector de riego) y la información de dotación de agua de la campaña, servirán para proporcionar una programación de riego precisa para una semana.

Palabras clave: Uso eficiente del agua, TICs, sensores de humedad, sistema de apoyo a la toma de decisiones, naranjos



Abstract:

Due to the exponential growth of the world population, agriculture will have to take on the challenge of increasing food production by up to 50% by the year 2050 to feed this population. In Andalusia, where a very unfavorable climate scenario is expected, it will be especially necessary to optimize the management of water resources, whose scarcity has become one of the most relevant and complex global environmental problems. From this point of view, the digitization of the agricultural sector through the implementation of cutting-edge technologies makes it possible to optimize water use. The information collected in the field through sensors and transmitted by information and communication technologies (ICTs) is key to implement precision irrigation systems that allow to know exactly the water needs of crops and to apply the optimal amount of water at the right time.

The aim of this work is to implement a precision irrigation system in woody crops by analyzing from sensors installed in the field and climatic data. For this purpose, pilot plots have been established in which different sensors have been installed to control the application of water to the crop: volumetric soil moisture content probes and water meters. Each pilot plot has a pulse counter installed in the irrigation branch and two moisture sensors installed at different depths, depending on the depth of the irrigation branch.

A model has been created that analyses data from the sensors installed in the field together with information characteristic of the crop (planting frame and crown diameter) and historical and predictive climatic information (Network of Agroclimatic Stations of the Andalusian Regional Government, AEMET Open Data and eltiempo.es), to estimate the crop evapotranspiration and the evolution of soil moisture over the next 7 days. For irrigation scheduling, the model is based on the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) methodology. When the water content in the soil is below the allowable depletion level, irrigation is necessary. This soil water balance is recalculated daily based on updated data from soil moisture sensors and climate predictions. These predictions, together with characteristic information of the irrigation sector and network (nominal flow rate of the emitters, distance between emitters and surface area of the irrigation sector) and the water allocation information of the campaign, will serve to provide an accurate irrigation schedule for a week.

Keywords: Efficient water use, ICTs, moisture sensors, decision support system, orange trees.

1. Introducción

La digitalización del sector agrícola a través de la implantación de tecnologías de vanguardia permite optimizar el uso del agua, cuya escasez se ha convertido en uno de los problemas ambientales globales más relevantes y complejos. La información recogida en el campo a través de sensores y transmitida mediante tecnologías de la información y la comunicación (TICs) es clave para determinar con precisión las necesidades de agua de los cultivos y aplicar la cantidad óptima de agua en el momento adecuado [1–4].

El objetivo de este trabajo es crear un modelo que permita implementar un sistema de riego de precisión en cultivos leñosos mediante el uso de las TICs y el análisis e integración de los datos de sensores instalados en campo y datos climáticos. Además, la adquisición y análisis de información de riego mediante las TICs junto con el uso de indicadores como la huella de agua (HA) y el indicador de suministro relativo de riego (RIS, Relative Irrigation Supply) permitirán conocer la eficiencia en el uso de agua del cultivo y realizar un diagnóstico del riego realizado en la campaña [5,6]. El indicador de HA, en su fase de inventario, cuantifica el volumen de agua usada directa e indirectamente por los cultivos para producir una unidad de producto [7]. En los cultivos de regadío, este indicador puede emplearse para evaluar la eficiencia en el uso del agua ya que realmente es una relación entre la cantidad de agua usada y el rendimiento del cultivo. Sin embargo, la HA no proporciona información sobre la adecuación del riego aplicado, para dicho fin se suele utilizar el indicador de gestión del riego RIS [8].

2. Materiales y métodos

En este trabajo se ha desarrollado un sistema de apoyo a la toma de decisiones (DSS) para la gestión del riego de precisión (DSSPIM) que utiliza los datos registrados por los sensores instalados en el campo, información sobre las características de la explotación y datos climáticos, tanto históricos como predictivos, para realizar una programación óptima de riego para 7 días. Además, DSSPIM mide la cantidad de agua que utilizan los cultivos en tiempo real con el fin de obtener un inventario de HA preciso y verificable (de acuerdo con la norma ISO, 2014) y utiliza varios indicadores de gestión del riego para evaluar la eficiencia del agua de riego. Así, DSSPIM se compone de cuatro módulos principales: caracterización de la explotación, monitorización del clima y del riego, programación del riego y análisis/diagnóstico del uso del agua. Cada uno de los módulos se describe a continuación y sus interrelaciones se muestran en la Figura 1.

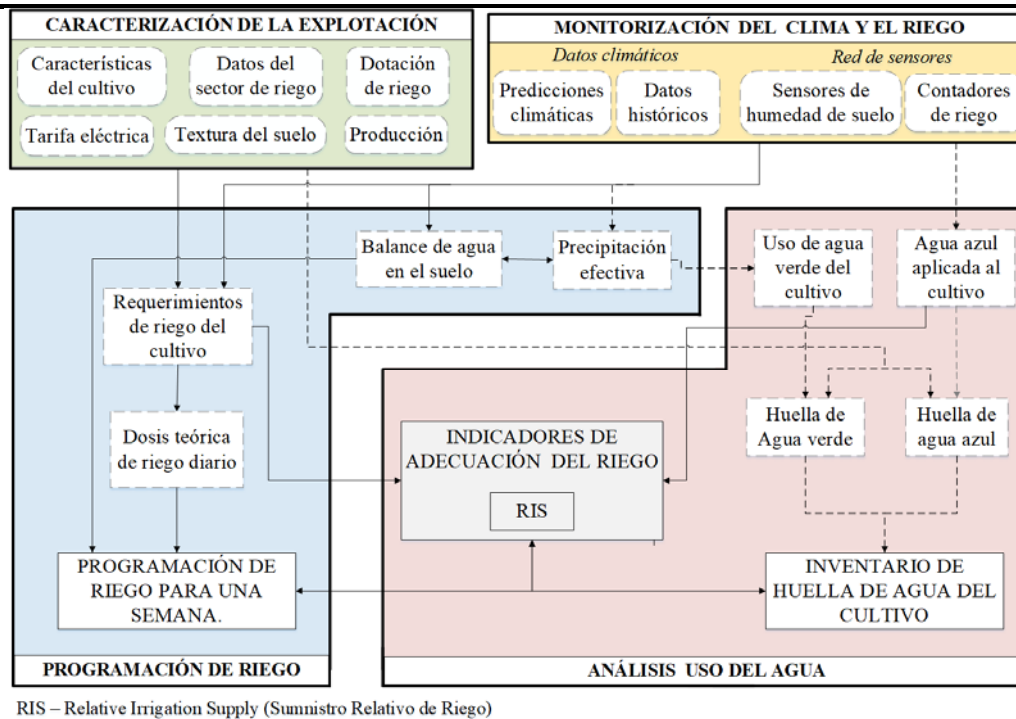


Figura 1: Esquema del modelo desarrollado.

Caracterización de la explotación

En este módulo el usuario introduce información de la finca necesaria para la programación de del riego. En el caso de cultivos leñosos, los datos requeridos son el marco de plantación (m x m) y el diámetro medio de la copa del árbol (m). Además, es necesario introducir información sobre la red de riego, que se caracteriza con el número de ramales de riego por la línea de cultivo, la distancia entre emisores (m), el caudal nominal de los emisores (l/h) y la superficie del sector (ha). También es necesario conocer la asignación de agua para el riego de la campaña (dotación en m³/ha.año), conductividad eléctrica del agua de riego, la textura del suelo, fechas de inicio y fin de campaña y la cosecha obtenida (t/ha).

Monitorización del clima y el riego

Los datos climáticos históricos y las previsiones meteorológicas se obtienen de los servicios meteorológicos públicos de España. Los datos históricos (precipitación y evapotranspiración de referencia) se toman de la red de estaciones agroclimáticas de la Junta de Andalucía mediante técnicas de "web scraping". Por otro lado, para determinar las necesidades diarias de riego para 7 días se hacen predicciones de ET₀ a partir de las previsiones meteorológicas de AEMET OpenData y la web www.eltiempo.es. Estos datos se usan para estimar la ET₀ de los próximos 7 días, utilizando la ecuación de Penman-Monteith. También se toma la información de precipitación para el cálculo de precipitación efectiva.

Para cada cultivo, se colocó un dispositivo de medición de humedad en el suelo, con tres sensores capacitivos ECHO20 10HS a diferentes profundidades, para registrar las variaciones

en la humedad del suelo. En cultivo elegido para poner a punto la metodología desarrollada fue un cultivo de naranjos ecológicos y la profundidad de instalación de los sensores fueron 15, 40 y 55 cm. A la entrada de cada sector de riego también se instalaron contadores de riego para registrar la cantidad de agua utilizada. Estos dispositivos estaban conectados a un datalogger con comunicación GPRS que registra y transmite los datos a una plataforma en la nube, accesible a través de una API (Application Programming Interface).

Programación de riego

El objetivo de este módulo es determinar de forma precisa cuándo y cuánto es necesario regar. En los cultivos al aire libre es necesario considerar la cantidad de agua almacenada en el suelo para determinar si es necesario regar o no en función de si dicha cantidad es suficiente para satisfacer las necesidades del cultivo (ETc). Para determinar el momento de riego se realiza un balance de agua en el suelo siguiendo la metodología de la FAO [9].

El total de agua del suelo disponible (ADT) para el cultivo está determinado por la profundidad radicular del cultivo y por el límite superior (capacidad de campo; CC) e inferior (punto de marchitez permanente; PMP) de almacenamiento, que depende de las características hidrofílicas del mismo. Pero no toda el agua del suelo está disponible para el cultivo, solo una fracción de ella es fácilmente asimilable (AFA), para cítricos esta fracción es el 0,5 del ATD [10], pero una vez que el déficit de humedad del suelo (D_r) alcanza el valor de AFA, la extracción de agua es más costosa para la planta y conlleva una reducción de ETc. Para evitar lo máximo posible llevar el suelo hasta dichos niveles se ha fijado en ambos cultivos el umbral del 20% del ATD como nivel de agotamiento permisible o umbral de riego (UR) en el suelo antes de comenzar a regar. Para determinar el D_{r_n} (mm) en el suelo cada día se calculan previamente el $D_{r_{teórico,n}}$ y $D_{r_{real,n}}$ usando respectivamente las ecuaciones 1 y 2.

$$D_{r_{teórico,n}} = D_{r_{n-1}} - PE_n - R_n + (ET'_{c_n} \cdot K_{s_n}) \quad (1)$$

Para la ecuación 1, de déficit de humedad teórico del suelo, $D_{r_{n-1}}$ representa el nivel de agotamiento de humedad en el suelo el día previo (mm), PE_n es la precipitación efectiva del día n (mm), R_n representa el riego real aplicado (mm) medido por el contador de riego. ET'_{c_n} es la evapotranspiración del cultivo (mm), calculada como producto de la evapotranspiración de referencia el día n (ET_{o_n}) y el coeficiente de cultivo (k_c). ET'_{c_n} se puede calcularse a partir de valores históricos de ET_o (registrados por la estación agroclimática más cercana, EAC) o de predicciones de ET_o (a partir de predicciones climáticas). Cuando el objetivo es determinar el valor de D_r del día actual, se utiliza el valor de ET_o registrado el día anterior por la estación agroclimática más cercana. Sin embargo, si el objetivo es estimar la D_{r_n} de los 7 días siguientes, se utilizan las predicciones de ET_o . K_c en el día n depende del tipo de cultivo y de la fase de desarrollo. En cítricos, K_c está relacionado con la superficie de suelo sombreada por los árboles [11]. K_s es un coeficiente adimensional de estrés hídrico [10] que cuantifica la reducción de la transpiración cuando el déficit hídrico del suelo supera el AFA. Si el agotamiento de agua en la zona radicular es menor que el RAW, el valor de este coeficiente es igual a 1.

La ecuación 2 calcula el agotamiento real de la humedad del suelo a partir del contenido volumétrico de humedad a capacidad de campo y del registrado in situ (θ_{real} , m^3/m^3). Este último valor es la media de los registros de humedad del suelo tomados al final del día anterior por sensores situados en las capas superior e intermedia del suelo.

$$Dr_{\text{real}, n} = 1000 \cdot (\theta_{\text{CC}} - \theta_{\text{real}, n-1}) \quad (2)$$

Tras el riego, el contenido de agua del suelo supera θ_{CC} durante un tiempo, tras el cual el suelo se drena y el contenido de agua se estabiliza. Al final del día anterior (22:00h), los sensores proporcionan información sobre el contenido de agua restante en el suelo tras el periodo de máxima evapotranspiración diario. Si el valor promedio de humedad supera el valor de θ_{CC} , el Dr_n tomará valor cero y se considera que el suelo está a capacidad de campo ($Dr_n=0$). Si θ_{real} es inferior a θ_{CC} , el valor de Dr_n será el mayor entre $Dr_{\text{real}, n}$ y $Dr_{\text{teórico}, n}$. De manera que se tome el valor más limitante para determinar el momento de riego (ecuación 3).

$$Dr_n = \begin{cases} 0 & \theta_{\text{real}} > \theta_{\text{CC}} \\ \max(Dr_{\text{teórico}}, Dr_{\text{real}}) & \theta_{\text{real}} < \theta_{\text{CC}} \end{cases} \quad (3)$$

Una vez se ha determinado el momento de riego mediante el Dr_n , se calculan las necesidades diarias de riego del cultivo según la ecuación 4:

$$CIR_n = ((ET_{c_n} \cdot K_{s_n}) - PE_n) \cdot f_{CE} \quad (4)$$

Donde ET_c es la evapotranspiración del cultivo en condiciones óptimas y bien regado y se calcula utilizando los valores predictivos de ET_o . Los coeficientes f_{CE} , es un factor de corrección que dependen de la conductividad eléctrica del agua de riego.

En regiones con escasez de agua, se suelen aplicar estrategias de riego deficitario en cultivos leñosos cuando las necesidades de riego superan los derechos de agua. Por lo tanto, la dosis diaria teórica de riego (IN_n) se calcula según la ecuación 5, donde CDR_n es el coeficiente de déficit de riego y oscila entre 0 y 1 en función de la estrategia de riego seleccionada.

$$IN_n = CIR_n \cdot CDR_n \quad (5)$$

La cantidad total de agua de riego que debe aplicarse en la temporada de riego no puede superar la dotación de agua de riego, independientemente de la estrategia de riego elegida. Por este motivo, el CDR se combina con la ET_c quincenal media (datos históricos) para distribuir la dotación de agua en función de las necesidades de riego del cultivo y se establece un límite de dotación para cada quincena de cada mes y posteriormente para cada día (LD_n). El volumen de agua a aplicar (IR_n) en cada evento de riego será igual al mínimo de IN_n e LD_n .

El objetivo de este modelo DSSPIM es proporcionar una programación de riego óptima diaria para una semana, por lo que se necesitan predicciones del agotamiento de la humedad del suelo para los 7 días siguientes. Para ello, se utiliza como valor de partida el último Dr_n calculado, R_n es la lámina de riego recomendada ($R_n = IR_n$) y la precipitación efectiva, PE_n , se obtiene con la ecuación 6 utilizando las predicciones de precipitación para el valor de P_n .

Se ha propuesto un procedimiento para calcular la PE_n diaria que considera la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, que depende del tipo de suelo y del contenido de humedad del suelo al inicio del evento de precipitación. La ecuación 6 estima la precipitación efectiva

utilizando la información de la capacidad del suelo de almacenar agua ($Dr_{n-1} + (ET'_{c_n} \cdot K_{s_n})$) y la precipitación bruta en el día n , P'_n (mm). Esta ecuación utiliza datos de predicciones de precipitación cuando se trata de predecir la precipitación efectiva de los 7 días siguientes y para calcular la precipitación efectiva del último día se usa la precipitación registrados por la EAC.

$$PE_n = \min (Dr_{n-1} + (ET'_{c_n} \cdot K_{s_n}); P'_n) \quad (6)$$

Si P_n es inferior a la capacidad de almacenamiento del suelo ($Dr_{n-1} + (ET'_{c_n} \cdot K_{s_n})$), la precipitación bruta total puede almacenarse, por lo que PE_n es igual a P_n . En caso de que la capacidad de almacenamiento sea la menor que la precipitación bruta; PE_n será equivalente dicha capacidad del suelo para almacenar agua.

Análisis de uso del agua

Para analizar el uso de agua se usan los indicadores de HA y RIS. La huella de agua de un cultivo (HA_c) es la suma de la huella de agua azul (agua de riego) (HA_{azul}) y huella de agua verde (agua de lluvia) (HA_{verde}). La HA_{azul} se calcula como el volumen total de agua de riego aplicado al cultivo (m^3/ha) durante la campaña de riego dividido entre la producción obtenida (Y) (ecuación 7).

$$HA_{azul} = \frac{\sum_{c=1}^{cont} \sum_{n=1}^{udc} (R_{n,i} \cdot A_i \cdot 10)}{\sum_{c=1}^{cont} A} \cdot Y \quad (7)$$

Donde A es el área de cada sector de riego que es monitorizada por un contador, c representa las medidas tomadas por los contadores instalados en campo entre las fechas de inicio (n) y fin de campaña (udc). La HA_{verde} es el volumen de agua de lluvia aprovechado por el cultivo entre el primer y el último día de campaña, dividido entre la producción (ecuación 8).

$$HA_{verde} = \frac{10 \cdot \sum_{n=1}^{udc} PE_n}{Y} \quad (8)$$

Para determinar el nivel de adecuación del riego aplicado, se utiliza el indicador RIS [8] (suministro relativo de riego), que se obtiene como cociente entre valor de agua aplicada al cultivo durante la campaña (dato que ha sido previamente recopilado para realizar el inventario de HA_{azul}) y las necesidades teóricas de riego del cultivo en esa misma campaña.

3. Resultados y discusión

El sistema se aplicó en una explotación de naranjos ecológicos en Fuente Palmera durante la campaña 2019-2020. La textura de suelo predominante en la finca era francoarenosa y la plantación tiene un marco de $5,5 \times 4$ m y el diámetro de copa medio es de 3,5 m. Existen dos ramales por cada línea de cultivo, la separación entre goteros es de 1 m, el caudal nominal de

los mismos es de 2,8 l/h, la superficie de cada sector de riego es de 2 ha y la dotación máxima disponible fue de 5.000 m³/ha·año. La producción obtenida en dicha campaña fue de 16,5 t/ha.

El modelo desarrollado permitió simular 3 escenarios diferentes definidos por distintas estrategias de riego que se muestran en la figura 2. En el escenario A se aplicó la estrategia de riego deficitario controlado, mientras que en el escenario B se aplicó la estrategia de cubrir necesidades completas y el escenario C muestra la gestión real del riego en la explotación durante la temporada de estudio.

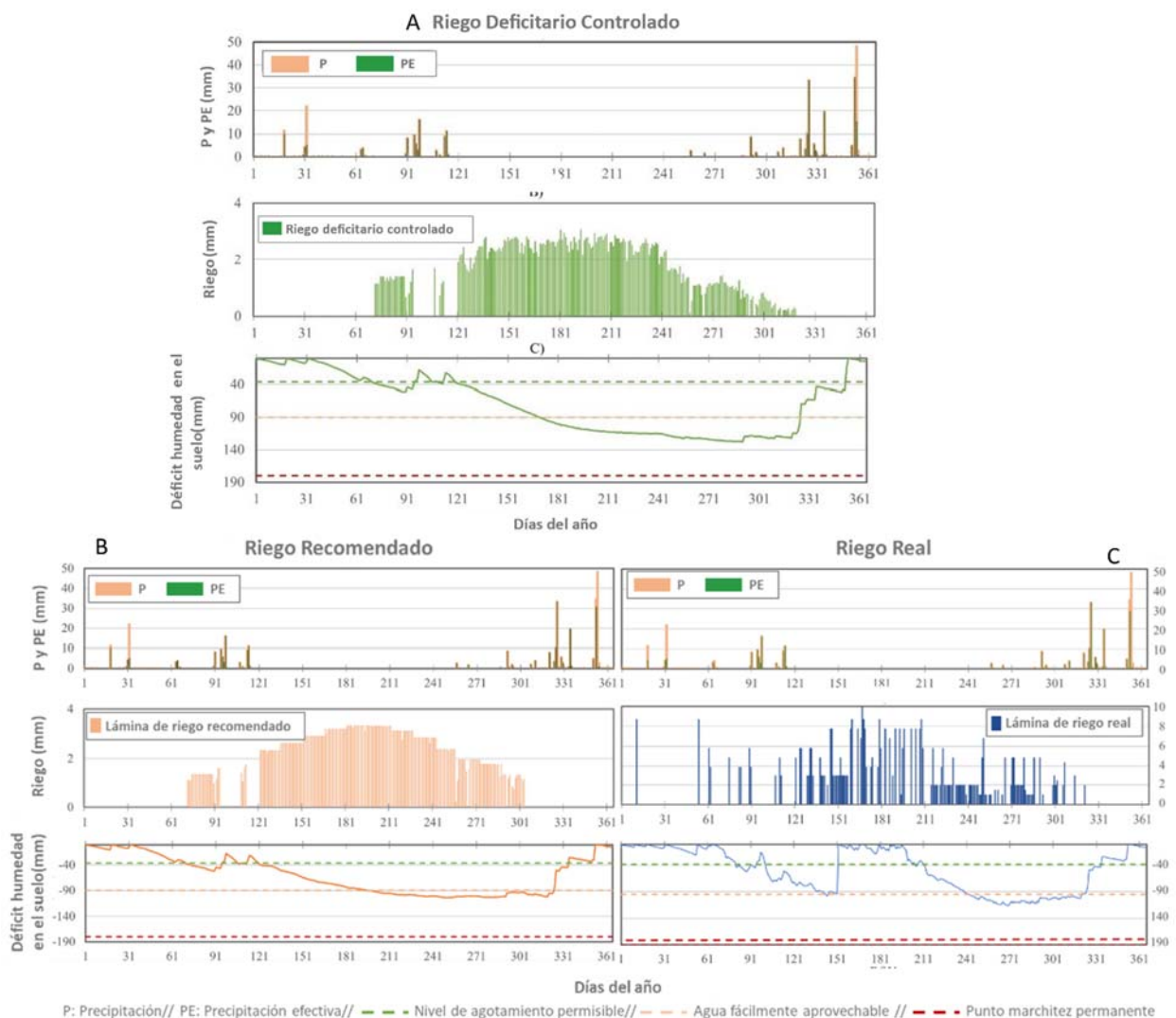


Figura 2. Escenarios de riego simulados.

En el escenario A, aplicando una estrategia de riego deficitario controlado, la lámina de agua total aplicada en la campaña fue de 403 mm. En el caso del escenario B, a pesar de ser una estrategia enfocada a cubrir completamente las necesidades de agua del cultivo, el modelo tiene en cuenta la dotación de agua disponible, por lo que el total de agua aplicada durante la campaña no debe superar dicha dotación. Siguiendo esta estrategia la lámina de agua total

aplicada al cultivo recomendado por el modelo fue de 495 mm. Esta estrategia fue la recomendada al agricultor ya que es la que permite optimizar el uso de la dotación disponible en la campaña. El escenario C muestra el riego real aplicado por el regante, que supuso un total de 497 mm de riego. A pesar de que el total de agua aplicada en los escenarios B y C es prácticamente el mismo, el manejo real del riego difirió del recomendando. El regante realizó riegos más largos y menos frecuentes, lo cual se refleja en un peor aprovechamiento de la humedad del suelo. El balance de agua en el suelo de cada escenario muestra las diferencias en cuanto a aprovechamiento de humedad de suelo, que en el caso del escenario A lleva a que la precipitación efectiva (cantidad de agua que es almacenada en el suelo y aprovechada por el cultivo) sea de 266 mm, en el escenario B de 247 mm y con el manejo del regante (escenario C) tan solo de 238 mm.

La comparación entre escenarios de diferentes estrategias de gestión del riego en naranjos muestra que la aplicación de estrategias de riego deficitario controlado permite reducir el uso de agua de riego en un 20%. Además, el modelo permitió ajustar el uso de agua durante la campaña a la asignación disponible y, los resultados muestran que, ante un mismo consumo de agua de riego, las diferencias en el manejo del riego (frecuencia y duración) dan lugar a un menor aprovechamiento del agua de lluvia almacenada en el suelo (Figura 2).

El contador de riego instalado en la parcela de ensayo registró un consumo de 4.966 m³/ha, en la que se obtuvo una producción de 16,5 t/ha, resultando una HA de 445 m³/t de naranja (de los cuales 144 m³/t proceden del agua de lluvia). El indicador RIS, con valores de 0,70 para naranja mostró que el agua aplicada al cultivo fue inferior a los requerimientos del cultivo durante la campaña a causa de que la dotación de agua para riego es inferior a las necesidades del cultivo.

4. Conclusiones

En este trabajo se ha desarrollado un modelo de apoyo a la toma de decisiones sobre la gestión del riego de precisión, DSSPIM, que realiza y evalúa la gestión óptima del riego en cultivo de cítricos, aunque también es aplicable a otros leñosos como el olivar. Mediante el uso de las TICs, DSSPIM realiza una programación óptima del riego semanal adaptada a las características de cada finca, usando datos reales tomados *in situ* mediante sensores y a partir de previsiones meteorológicas de datos abiertos. La utilización de indicadores que evalúan el uso de agua en la campaña facilita detectar ineficiencias en la gestión del riego y desviaciones en la programación de riego real en comparación con la programación DSSPIM recomendada, lo que permite tomar acciones de mejora dirigidas a aumentar la eficiencia en el uso del agua.

Referencias

1. Alcaide Zaragoza, C.; Fernández García, I.; González Perea, R.; Camacho Poyato, E.; Rodríguez Díaz, J.A. REUTIVAR: Model for precision fertigation scheduling for olive orchards using reclaimed Water. *Water (Switzerland)* **2019**, *11*, doi:10.3390/w11122632.
2. Flores Cayuela, C.M.; González Perea, R.; Camacho Poyato, E.; Montesinos, P. An ICT-based decision support system for precision irrigation management in outdoor orange and greenhouse tomato crops. *Agric. Water Manag.* **2022**, *269*, doi:10.1016/j.agwat.2022.107686.



XXXIX Congreso Nacional de Riegos ÚBEDA (JAÉN)

18, 19, 20 de octubre de 2023



3. González Perea, R.; Fernández García, I.; Martín Arroyo, M.; Rodríguez Díaz, J.A.; Camacho Poyato, E.; Montesinos, P. Multiplatform application for precision irrigation scheduling in strawberries. *Agric. Water Manag.* **2017**, *183*, 194–201, doi:10.1016/j.agwat.2016.07.017.
4. Puig, F.; Rodríguez Díaz, J.A.; Soriano, M.A. Development of a Low-Cost Open-Source Platform for Smart Irrigation Systems. *Agronomy* **2022**, *12*, doi:10.3390/agronomy12122909.
5. García Morillo, J.; Rodríguez Díaz, J.A.; Camacho, E.; Montesinos, P. Linking water footprint accounting with irrigation management in high value crops. *J. Clean. Prod.* **2015**, *87*, 594–602, doi:10.1016/j.jclepro.2014.09.043.
6. González Perea, R.; Camacho Poyato, E.; Montesinos, P.; García Morillo, J.; Rodríguez Díaz, J.A. Influence of spatio temporal scales in crop water footprinting and water use management: Evidences from sugar beet production in Northern Spain. *J. Clean. Prod.* **2016**, *139*, 1485–1495, doi:10.1016/j.jclepro.2016.09.017.
7. Hoekstra, A.Y. *Virtual water trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade; Value of W*; IHE Delft: The Netherlands, 2003;
8. Levine, G. *Relative Water Supply: an Explanatory Variable for Irrigation Systems*; 1982; Vol. N° 6;
9. Allen, R.G.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de agua de los cultivos. *Fao* **2006**, 297.
10. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)*; FAO: Rome, 1998; Vol. 300; ISBN 9251042195.
11. Castel Sánchez, J.R. Consumo de agua por plantaciones de cítricos en Valencia. *Vitic. Enol. Prof.* **2001**, 27-32 (in Spanish).