

B-03-2023

Comunicación científico-técnica

Herramienta de programación de riego deficitario controlado para la sostenibilidad de cultivos leñosos en regiones semiáridas

Regulated deficit irrigation scheduling tool for the sustainability of woody crops in semi-arid regions

Autores: J.A. Martínez-López ^{1*}, F. Montoya ², H. Martínez-López ¹, A. Martínez-Romero ¹, J.J. Pardo¹, R. López – Urrea, A. Domínguez¹

¹ Centro Regional de Estudios del Agua, Universidad de Castilla – La Mancha, Ctra. De las Peñas Km 3.2, Albacete, España (josea.martinez@uclm.es).

² Instituto Técnico Agronómico Provincial de Albacete (ITAP), Parque empresarial Campollano, 2^º Avenida, 61, Albacete, España (fms.itap@dipualba.es)

Resumen: Actualmente, el grado de intensificación agrícola que están sufriendo determinadas regiones de clima semiárido, como es el sur y sureste de Castilla-La Mancha (CLM), provoca una presión cada vez mayor sobre los recursos hídricos. En este contexto, no sólo la mejora en la eficiencia en el uso del agua por parte de los usuarios es un requisito indispensable para la sostenibilidad del recurso, sino que los recortes en la disponibilidad de agua para riego en las explotaciones agrarias comerciales son ya una realidad. En CLM, el cultivo en regadío de especies leñosas representa un 63% del total de la superficie en regadío de la región. Almendro (10%) y sobre todo vid (63%) son los cultivos mayoritarios. Pese a que ambos cultivos son muy tolerantes al déficit hídrico, el riego se considera el factor limitante principal en el rendimiento y la calidad de estos. En este contexto de escasez de agua, el riego deficitario controlado (RDC) puede mejorar la eficiencia en el uso del agua minimizando los efectos negativos del déficit hídrico sobre el rendimiento y calidad de estos cultivos. Por ello, es crucial desarrollar herramientas de programación de riegos que consideren el empleo de técnicas de RDC para asegurar la rentabilidad y sostenibilidad de las explotaciones en zonas áridas y semiáridas con recursos hídricos limitados. En este contexto, se presenta el modelo de programación de RDC, SIAR-PR (Servicio Integral de Asesoramiento al Regante, Programador de Riegos), aplicado a los principales cultivos de CLM tanto herbáceos como leñosos incluyendo en estos últimos la posibilidad de RDC. Esta herramienta permite establecer programaciones de riego basadas en la dotación hídrica disponible y la sensibilidad al estrés hídrico en diferentes etapas fenológicas del cultivo. El programa realiza un balance diario de agua en el suelo, utiliza datos climáticos y considera las características del suelo, el sistema de riego y el cultivo para generar una programación de riegos simplificada y adaptada al cultivo. La aplicación SIAR-PR ofrece una forma sencilla e intuitiva de establecer programaciones de riego deficitario controlado tanto para agricultores como para el ámbito de la investigación. El agricultor puede obtener información adaptada a sus parcelas y cultivos, lo que contribuye a mejorar la eficiencia en el uso del agua y a reducir los impactos negativos en el rendimiento. El investigador puede simular multitud de calendarios de riego diferentes

considerando aspectos complejos de una forma muy sencilla. El objetivo de este trabajo es presentar esta herramienta a través de algunos ejemplos en ambos cultivos desarrollados bajo el ámbito de la investigación en parcelas comerciales de vid y almendro con dotaciones limitadas de riego. Para el caso de la vid se obtuvo una mejora del 13% en cuanto a rendimiento cumpliendo con los parámetros de calidad, lo que mejor la rentabilidad en un 20% respecto al manejo tradicional. Para el caso del almendro no se han obtenido diferencias significativas entre el uso de SIARPR y otras herramientas de programación de riegos empleadas en el ámbito de la investigación, siendo estas últimas mucho más complejas.

Palabras clave: Escasez de agua, vid, almendro, asesoramiento en riegos, cálculo necesidades hídricas.

Abstract: Nowadays, agricultural intensification that certain regions with a semi-arid climate, such as the south and southeast of Castilla-La Mancha (CLM), are suffering, causes an increasing pressure on water resources. In this context, not only the improvement in water use efficiency is enough for the sustainability of the resource, because the cuts in the availability of water for irrigation in commercial farms are already a reality. In CLM, irrigated cultivation of tree crops represents 63% of the total irrigated area in the region. Almond (10%) and especially vine (63%) are the most common crops. Although both crops are very tolerant of water deficit, irrigation is considered the main limiting factor in their yield and quality. In this context of water scarcity, Regulated Deficit Irrigation (RDI) can improve water use efficiency by minimizing the negative effects of water deficit on the yield and quality of these crops. Therefore, it is crucial to develop irrigation scheduling tools that consider the use of RDI techniques to ensure the profitability and sustainability of farms in arid and semi-arid areas with limited water resources. In this context, the RDI tool, SIAR-PR (Integral Advisory Service to Irrigator, Irrigation Scheduling), applied to the main CLM crops, both herbaceous and woody, including the possibility of RDI in the last one, is presented. This tool allows to establish irrigation schedules based on the available water endowments and the sensitivity to water stress in different phenological stages of the crop. The program performs a daily balance of water in the soil, using climatic data and considering the characteristics of the soil, the irrigation system and the crop to generate a simplified irrigation schedule adapted to the crop. The SIAR-PR application offers a simple and intuitive way to establish regulated deficit irrigation schedules for both farmers and research. The farmer can obtain information adapted to their plots and crops, which contributes to improving water use efficiency and reducing negative impacts on yield. The researcher can simulate a multitude of different irrigation schedules considering complex aspects in a very simple way. The objective of this work is to present this tool through some examples in both crops developed under the scope of research in commercial plots of vine and almond with limited irrigation endowments. In the case of the vine, an improvement of 13% was obtained in terms of yield, complying with quality parameters, which improves profitability by 20% compared to traditional management. In the case of the almond tree, no significant differences have been obtained between the use of SIARPR and other irrigation programming tools used in the field of research, the latter being much more complex.

Keywords: Water scarcity, vineyard, almond tree, irrigation advisory service, calculation of crop water needs.

1. Introducción

Uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la agricultura global y concretamente la agricultura del mediterráneo es la falta de recursos hídricos para el regadío [1]. Esta situación está empeorando debido al calentamiento global, donde los periodos de sequía y una distribución cada vez más irregular de lluvias se están convirtiendo en fenómenos cada vez más frecuentes [2]. Por ello, la mejora en el uso del agua por parte de la agricultura es un requisito indispensable para garantizar la sostenibilidad de una agricultura cada vez más intensificada. En este sentido, el avance de la ciencia y la tecnología han permitido determinar con gran precisión tanto las necesidades de riego de los cultivos como su distinta sensibilidad al déficit hídrico, así como la aplicación del agua de manera precisa. Basado en todo este conocimiento, se han desarrollado muchos modelos de simulación y herramientas de programación de riegos sobre todo para cultivos herbáceos [3–6] siendo casi inexistentes para cultivos leñosos. Estos normalmente requieren un gran número de variables y parámetros de los cuales muchos no están disponibles para la mayoría de los usuarios [7] ya que requieren una costosa formación y entrenamiento inaccesible para ello, lo que hace que mucha inversión en el sector del regadío no sea tan efectiva como cabría esperarse.

En este ámbito de transferencia de información de la programación de riegos a los usuarios finales, los Sistemas de Asesoramiento al Regante (SAR) basado en las estaciones de la red del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR) cobran mucha importancia al ofrecer a los agricultores una estimación de los consumos de los principales cultivos de cada área, siendo la información web ofrecida por estos, el método más rápido eficaz y económico para transmitir la información a los usuarios. En ese momento se constata una demanda cada vez mayor de información actualizada de los consumos de los cultivos casi en tiempo real, y de previsiones de consumos a futuro en la medida de lo posible. Además, se demanda información específica para la parcela del usuario, adaptada a sus medios de producción, como, por ejemplo, las características del sistema de riego, y de rápido y fácil uso, por lo que ha aumentado la demanda a través de los teléfonos móviles, convirtiéndose las aplicaciones para móvil (Apps) en el método más demandado.

Un claro ejemplo es la región de Castilla -La Mancha (CLM) donde el aumento de la intensificación agrícola está provocando una presión cada vez mayor sobre los recursos hídricos y en la que los recortes en la disponibilidad del agua para riego en las explotaciones agrarias son ya una realidad [8,9]. En CLM los cultivos leñosos en regadío representan un 63% del total de la superficie en regadío de la región [10]. Entre ellos, destaca el viñedo con un 70% [10], donde el viñedo en espaldera ha sufrido un gran incremento [11]. El riego en la vid es complejo dada la interrelación entre agua aplicada/rendimiento/calidad [12] y donde las dotaciones hídricas para este cultivo oscilan entre 1000 y 2500 m³ ha⁻¹. En segundo lugar, se encuentra el almendro que representa un 10% de la superficie de leñosos en regadío [10], el cual ha experimentado un aumento del 137% respecto del 2010, debido a que es un sector que se encuentra en una situación que genera un gran interés entre los agricultores. También

destaca el cultivo de pistacho y olivo. Pese a que estos cultivos son muy tolerantes al déficit hídrico, el riego se considera el factor limitante principal en el rendimiento y la calidad de estos. En este contexto de escasez de agua, técnicas de riego como el riego deficitario controlado (RDC) puede mejorar la eficiencia en el uso del agua minimizando los efectos negativos del déficit hídrico sobre el rendimiento y calidad de estos cultivos, contribuyendo a su sostenibilidad, por ello hay que tenerlo en cuenta a la hora de realizar una adecuada programación de riego en muchas de estas zonas.

CLM cuenta con un SAR (SIAR^{CLM}) que comenzó a prestar servicio en la campaña del año 1999. Durante los primeros años, aunque se publicaba la información en la página web (<http://crea.uclm.es/siar>), el principal medio para llegar a los usuarios fue mediante fax o entrega en papel de un informe semanal de los consumos a agricultores colaboradores y las asociaciones agrarias donde lo pudiesen consultar para ir progresivamente sustituyéndose por envíos de SMS y emails, optando a partir del año 2013 por publicarlos únicamente online (<http://crea.uclm.es/siar>), incorporando la previsión de consumo hídrico para la semana siguiente [13].

En el año 2004 se puso en funcionamiento el primer programa de cálculo de necesidades hídricas online de los cultivos (<http://crea.uclm.es/siar>), donde se podía consultar el consumo hídrico de los últimos siete días para los cultivos de referencia en las zonas de seguimiento.

A partir del año 2018 se plantea potenciar el servicio online respondiendo a la demanda de los usuarios, de una información que, actualizada diariamente, ofrezca previsiones de riego a corto plazo para los cultivos de una ubicación específica en una parcela y se desarrolla un programa que permite establecer la programación de riegos en los principales cultivos herbáceos de la región de CLM [14], el cual ya ha sido validado para estos cultivos [15,16]. Sin embargo, aún no se incluían los cultivos leñosos, de gran importancia en CLM. Debido a que en la mayoría de los casos las dotaciones disponibles de agua de riego son inferiores a las necesidades hídricas de los cultivos, se hace necesaria la incorporación de técnicas de RDC. El programa, para poder ser transferido de forma efectiva, tiene que ser fiable, versátil y fácil de utilizar.

Por ello, el objetivo de este trabajo es presentar el módulo de programación de riego para cultivos leñosos y su aplicación a través de ejemplos reales en parcelas comerciales de vid y almendro llevados a cabo en el ámbito de la investigación.

2. Materiales y métodos

2.1. Fundamentos del módulo de programación de riegos en cultivos leñosos

Las estimaciones de los consumos de los cultivos se actualizan diariamente, aplicando la metodología FAO [17], a partir de los valores de ET_o y de K_c diarios ($Ec.1$):

$$ET_m = ET_o \times K_c \times K_l \times K_{r_{RDC}}$$

donde: ET_m , evapotranspiración máxima del cultivo ($mm\ día^{-1}$); ET_o , evapotranspiración de referencia ($mm\ día^{-1}$); K_c , coeficiente de cultivo; K_l , coeficiente de localización en función del marco y diámetro de copa; K_r : coeficiente de reducción de acuerdo a la dotación disponible.

La ET_0 se estima diariamente mediante la ecuación de Penman-Monteith [17], cuando se dispone de datos climáticos de la estación de la red SIAR más cercana, y mediante la ecuación de Hargreaves [18], para datos futuros. Los valores de las temperaturas requeridos por esta última ecuación son los ofrecidos por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para la localidad más próxima a la estación de referencia SIAR, y están disponibles con una semana de antelación.

Los valores de K_c son los recomendados por [17,19] adaptados a la zona por el SIAR^{CLM} a partir de ensayos propios y consultas bibliográficas. Las fechas de cambio de etapa de los cultivos se determinan mediante la metodología de los grados día acumulados (GDD) con el método del triángulo doble [20], que requiere de datos diarios de temperaturas máximas y mínimas. La duración en GDD para cada cultivo se ha determinado a partir del seguimiento fenológico de los cultivos realizado por el SIAR^{CLM} entre los años 2000 y 2010 y 2019 - 2022. De este modo se validaron las temperaturas umbral mínima y máxima, y los GDD acumulados por etapas. Tanto para la estimación de la ET_0 , como del estado fenológico del cultivo a partir de los GDD, los datos climáticos utilizados provienen de tres fuentes distintas: estaciones de la red SIAR (para estimaciones anteriores a la fecha de consulta), previsiones de la AEMET (previsión en los siete días posteriores a la fecha de consulta, datos del Año meteorológico Típico (TMY) [21] (previsión a partir de los siete días posteriores a la fecha de consulta).

El coeficiente de localización o K_i de acuerdo con la metodología usado por [22]

Y finalmente un coeficiente de reducción adaptado desde FAO 66 [23] a las condiciones y dotaciones de CLM, para poder adaptar la programación de riegos a la dotación de agua de riego disponible.

El balance de agua en el suelo está basado en FAO-56 [17], el cual se calcula como la diferencia entre las entradas (precipitaciones y riego, no considerándose ascensión capilar) y salidas (ET_m y percolación profunda).

2.2. Uso del programa

La aplicación ofrece para una ubicación específica, de forma gráfica la evolución del agua en el suelo, el límite de agua en el suelo que provocaría estrés en el cultivo, los riegos aplicados y la lluvia, y los riegos recomendados para la siguiente semana. El programa necesita únicamente los siguientes datos:

- Localización de la parcela: a través de un visor GIS. Una vez seleccionada la parcela la ubicación permite seleccionar de forma automática los datos climáticos de acuerdo con la estación climática más cercana.
- Información de suelo: Textura, profundidad y % de pedregosidad. Obtenidos fácilmente a través de un análisis de suelo.
- Selección del cultivo e introducción de sus datos fecha de siembra, % de necesidades de agua a aplicar, marco y diámetro de copa
- Ciclo de cultivo: a partir de la selección del cultivo y la introducción de la fecha de brotación el programa realiza automáticamente el cálculo de la duración del ciclo de cultivo y los cambios de etapa teniendo en cuenta los datos climáticos reales y también ofrece una estimación de estos hasta fin de ciclo según lo expuesto en el epígrafe 2.1.

- Datos del sistema de riego: intervalo máximo y mínimo entre riegos, dosis máximas y mínimas de manejo deseado, humedad inicial, eficiencia del sistema de riego, para lo cual es necesario hacer una evaluación del sistema de riego y nivel de agotamiento y llenado máximo del agua del suelo.

2.2. Validación del programa

La puesta en campo del programa se ha llevado a cabo en dos plantaciones comerciales de vid y almendro. El viñedo se encuentra en la localidad de Ontur (Albacete) de variedad Monastrell con marco de plantación es 3 m x 1.5 m y riego por goteo superficial. La dotación disponible es de 1200 m³ ha⁻¹. El suelo presenta textura franco – arenosa, con una profundidad de 50 cm. Aquí se trató de comparar los resultados obtenidos por el manejo de la herramienta respecto al manejo tradicional del agricultor medio en la zona durante los años 2020 y 2021. El almendro se encuentra en la localidad de La Roda de variedad Lauranne con un marco de 7 m x 6 m. El cultivo se riega mediante un sistema de riego por goteo superficial, con dos ramales porta goteros por fila de plantas. La dotación es de 2500 m³ ha⁻¹. En este ensayo se trató de comparar la metodología SIAR-PR con la metodología dual [17,24] durante la campaña 2021, realizando medidas fisiológicas para comparar ambos manejos. Para controlar la cantidad de agua real aplicada por el sistema de riego, además de una evaluación inicial del sistema de riego se instalaron transductores de presión en la tubería del emisor medio de cada subunidad de riego. Para conocer el contenido de humedad del suelo y compararlo con las estimaciones de SIAR-PR se utilizaron sondas de contenido volumétrico de agua en el suelo (Drill & Drop, Sentek, Stepney South Australia) con seis sensores de capacitancia espaciados cada 10 cm.

3. Resultados y discusión

3.1. SIAR-PR en viñedo

En 2020 SIAR-PR aplicó un 39% más de agua que el agricultor (agotando la dotación disponible). La precipitación efectiva fue de 133 mm durante el ciclo de cultivo, concentrada en los meses de marzo y abril. El rendimiento y margen bruto obtenido con el uso de SIAR-PR fue un 9 % y un 11% superior, respectivamente a los obtenidos por el agricultor, aunque la productividad agronómica del agua de riego disminuyó un 21% con SIAR-PR.

En 2021, la precipitación efectiva del ciclo fue 142 mm (un 6% superior a 2020), y la cantidad de agua de riego aplicada por el agricultor fue ligeramente superior a SIAR-PR consumiendo solo un 81% y un 70% de la dotación disponible respectivamente. Con este manejo, SIAR-PR obtuvo un 17% más de rendimiento (12.118 kg ha⁻¹). Esto puede estar principalmente motivado por el manejo realizado durante 2020, al influir en el rendimiento del año siguiente.

Los rendimientos en la zona fueron generalmente menores que en 2020, con una reducción de un 14% en el tratamiento con SIAR-PR, y un 20% en el tradicional. En 2021, SIAR-PR aplicó un 32% menos agua de riego que en 2020 (84 mm, 68% de la dotación disponible) debido a la distribución de la lluvia lo que aumentó la productividad agronómica del agua de riego de SIAR-PR en un 26% respecto a 2020, aunque solo un 7% respecto al manejo tradicional. Lo mismo pasó con la productividad económica, que en SIAR-PR fue un 12% superior a 2020 y un 58% superior a la del manejo tradicional en 2021. No obstante, estas lluvias próximas a la recolección (Figura 1),

vinieron acompañadas de granizo, provocando un retraso en la maduración y disminuyendo ligeramente el rendimiento y calidad de la uva lo que repercutió en el precio de venta (con una reducción del 4%) y en el margen bruto, que fue de un 25% y 38% menos que en 2020 para los manejos SIAR-PR y del agricultor respectivamente.

Como media de los dos años analizados, SIAR-PR, obtiene un 13% más de rendimiento, con un 11% más de agua (tratando de agotar la dotación disponible), lo que mejora un 20% el margen bruto y un 8% la productividad económica del agua de riego. La Figura 1a muestra la comparativa entre la evolución del agua en el suelo simulada por SIAR-PR donde se distribuye una dotación de $1200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y la obtenida por los sensores de humedad, como se observa sobre todo a partir del inicio de la campaña de riego, la evolución simulada por SIAR-PR (línea negra, Figura 1b) es muy parecida a la obtenida por los sensores de humedad (línea roja Figura 1b).

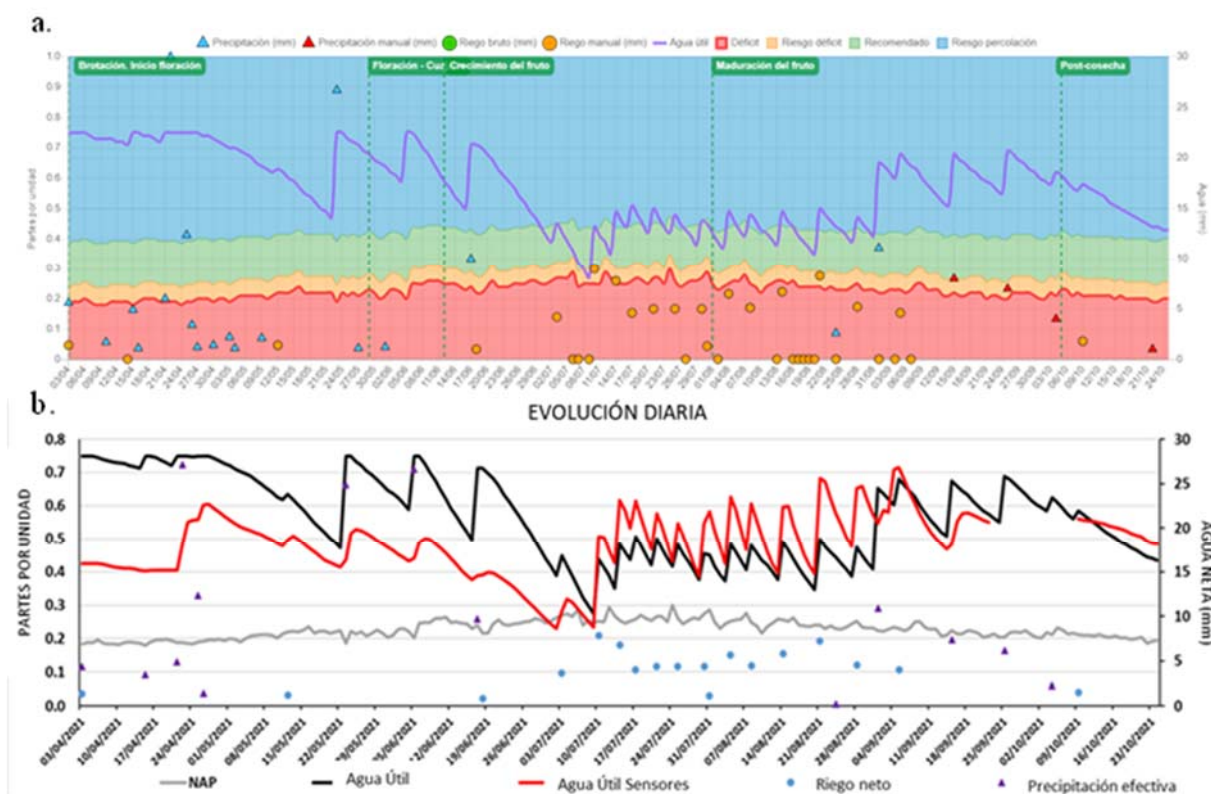


Figura 1: Figura 1: Seguimiento y comparativa SIAR-PR - sensores de humedad. a) evolución diaria del agua del suelo disponible en la zona radicular calculada por SIAR-PR; b) comparación del contenido diario de agua en el suelo calculada por SIAR-PR y promedio de los valores registrados por los sensores capacitivos de medida del contenido de humedad del suelo.

3.2. SIAR-PR en almendro

En este caso la Figura 2a muestra la evolución del contenido de humedad simulado por SIAR-PR para un manejo del 100% de las necesidades para poder comparar directamente ambos modelos. Como la dotación de la parcela ($2500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) es incapaz de satisfacer esa demanda, el modelo

simula estrés en algunos momentos cuando la línea de agua útil (morada) cruza la línea roja, según la estrategia de RDC seleccionada (en este caso una que nos permitiese aplicar los 2500 (m^3ha^{-1}) por ello al simularla bajo condiciones del 100% de las necesidades el modelo simula estrés en aquellas etapas menos sensibles al déficit hídrico en el almendro en este caso llenado del fruto [23]. La Figura 2b muestra la comparativa de la evolución de humedad SIAR-PR (línea negra) con sensores Teros 10 (línea verde) y sensores Senteck (línea roja), como se observa al igual que en la vid la evolución es muy parecida. Finalmente, la Figura 2c compara las simulaciones de evolución del contenido de humedad obtenidas por ambos modelos que como se observa es muy parecida.

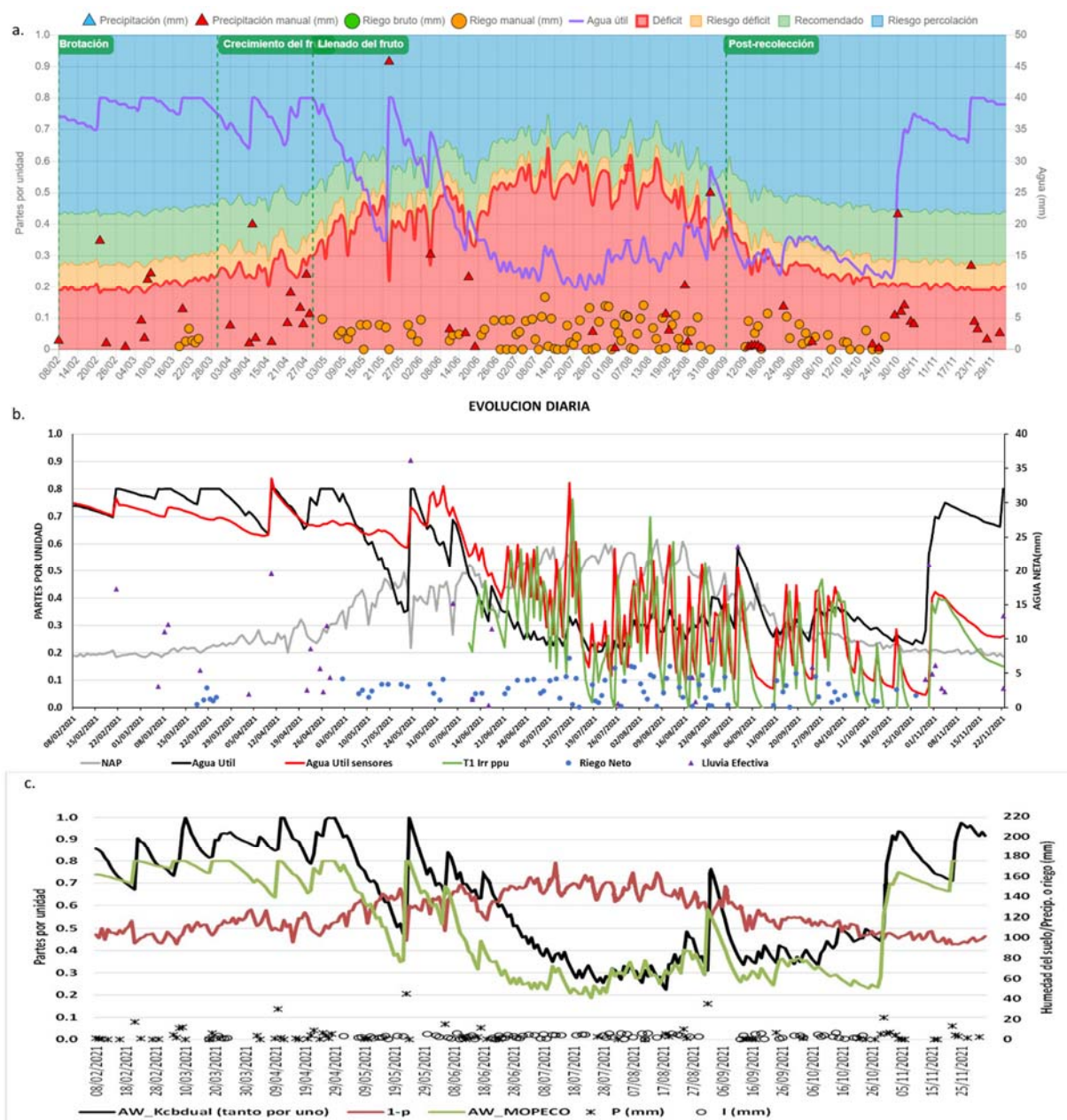


Figura 2: a) Simulación de la programación de riegos con SIARPR. b) Comparativa evolución de humedad SIAR-PR (línea negra) con sensores Teros 10 (línea verde) y sensores Senteck (línea roja). c) Comparativa SIAR-PR (línea verde AW_MOPECO) con la metodología dual (AW_Kcdual línea negra) la línea roja representa el nivel de agotamiento permisible según la metodología dual.

El mayor déficit hídrico fue aplicado durante la etapa de llenado grano. El nivel de déficit, representado como ratio entre la evapotranspiración real y potencial (ET_a/ET_c) del cultivo, fue de 0,69 con SIAR-PR y 0,74 con DUAL. Durante postcosecha se alcanzaron valores más altos (0,96 y 0,86, respectivamente) por las lluvias otoñales. Estos niveles de déficit hídrico no ocasionaron diferencias de crecimiento, pero sí de potencial hídrico (25% menos negativo para DUAL), asimilación y conductancia estomática (20% y 32% mayor para DUAL respectivamente) durante el llenado del grano. Considerando la eficiencia en el uso del agua intrínseca, SIAR-PR fue un 18% más eficiente, siendo éste un aspecto clave para la definición de las estrategias de riego. A nivel productivo, no se observaron diferencias significativas.

4. Conclusiones

Los agricultores demandan información específica para sus cultivos y estas herramientas online permiten satisfacer estas demandas casi en tiempo real, con una precisión aceptable y un coste limitado ya que se han obtenido resultados mejores a los del manejo sin ella y sin diferencias respecto a otros modelos de programación de riegos empleados en el ámbito de la investigación que resultan mucho más complejos para su uso por los agricultores.

Del mismo modo la visualización de la evolución del agua en el suelo permite entender mejor la programación de riegos y observar los efectos de la modificación de éstos. La evolución simulada del contenido de agua ofrecida por el modelo es muy similar a la humedad real obtenida por los sensores de humedad, lo que corrobora la bondad del modelo. No obstante, el empleo de sensores para el control de las instalaciones y sondas de humedad sirven de gran ayuda como complemento y refuerzo a este tipo de herramientas.

A todas estas demandas, detectadas en los usuarios se les ha dado solución en la aplicación SIAR-PR®, que además permite establecer la programación de riego en cultivos leñosos para diferentes dotaciones de agua disponibles.

5. Agradecimientos

Este trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto (SUPROMED) PRIMA- EU GA-1813 financiado por la Fundación PRIMA de la Unión Europea, y el proyecto regional (PRODAGUA) SBPLY/19/180501/000144 (JCCM), con fondos FEDER.

Referencias

1. Correia, F.N.; Iwra, M.; Técnico I.S. Water Resources in the Mediterranean Region. *Int. Water Resour. Assoc.* **2009**, *24*, 22–30.
2. García-Ruiz J M, L.-M.J.I.V.-S.S.M.L.T. and B.S. 2011. Mediterranean Water Resources in a Global Change Scenario. *Earth-Sci. Rev.* **2011**, *105*, 121–139.
3. Vanuytrecht, E.; Raes, D.; Steduto, P.; Hsiao, T.C.; Fereres, E.; Heng, L.K.; Garcia Vila, M.; Mejias Moreno, P. AquaCrop: FAO's Crop Water Productivity and Yield Response Model. *Environmental Modelling and Software* **2014**, *62*, 351–360, doi:10.1016/j.envsoft.2014.08.005.
4. Stockle, C.; Donatelli, M.; Nelson, R. CropSyst, a Cropping Systems Simulation Model. *European Journal of Agronomy* **2003**, 289–307, doi:10.1016/S1161-0301(02)00109-0.
5. Pereira, L.S.; Teodoro, P.R.; Rodrigues, P.N.; Teixeira, J.L. Irrigation Scheduling Simulation: The Model Isareg. In; 2003; pp. 161–180.

6. Van Dam, J.C.; Huygen, J.; Wesseling, J.G.; Feddes, R.A.; Kabat, P.; Van, P.E. V; Groenendijk, W.P.; Van, C.A.; Report, D. Theory of SWAP Version 2.0 Simulation of Water Flow, Solute Transport and Plant Growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant Environment.
7. Domínguez, A.; Martínez-López, J.A.; Amami, H.; Nsiri, R.; Karam, F.; Oueslati, M. Adaptation of a Scientific Decision Support System to the Productive Sector—A Case Study: MOPECO Irrigation Scheduling Model for Annual Crops. *Water (Switzerland)* **2023**, *15*, doi:10.3390/w15091691.
8. CHG *Plan Hidrológico de Cuenca*. Confederación Hidrográfica Del Guadiana.; 2020;
9. CHJ *Plan Hidrológico de Cuenca*. Confederación Hidrográfica Del Júcar.; 2020;
10. MAPA ANUARIO DE ESTADISTICA 2021. **2022**.
11. Montero, F.; Brasa, R.A.; Montero García, R.F. *PLAN ESTRATEGICO DEL SECTOR VITIVINÍCOLA DE CASTILLA - LA MANCHA*;
12. L. E. Williams and M. A. Matthews, "Grapevine," In B. A. Stewart and D. R. Nielsen, Eds., *Irrigation of Agricultural Crops*, Agronomy Monograph No. 30, ASA-CSSA-SSSA, Madison, 1990, Pp. 1019-1055. - References - Scientific Research Publishing Available online: [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnst1aadkposzje\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=563085](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnst1aadkposzje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=563085) (accessed on 28 September 2023).
13. Martínez- Romero, A.; Chaves, L.A.; Gil, S.; Domínguez, A.; Nascimento, A.K.; Tarjuelo, J.M. Uso de Las Predicciones Meteorológicas de La AEMET Para La Estimación de Los Consumos Semanales de Maíz En Castilla-La Mancha. In *Proceedings of the V Jornadas de Agrometeorología*; Valencia. España, 2014.
14. Martínez-Romero, A.; Charco, J.R.; Domínguez, A.; Tarjuelo, J.M. Programa de Estimación Online Del Consumo Hídrico Georreferenciado de Los Cultivos En Castilla-La Mancha. . In *Proceedings of the VII Jornadas de Agrometeorología*; Madrid, España, November 16 2018.
15. Martínez-López, J.A.; López-Urrea, R.; Martínez-Romero, Á.; Pardo, J.J.; Montero, J.; Domínguez, A. Sustainable Production of Barley in a Water-Scarce Mediterranean Agroecosystem. *Agronomy* **2022**, *12*, 1358, doi:10.3390/agronomy12061358.
16. Martínez-López, J.A.; López-Urrea, R.; Martínez-Romero, Á.; Pardo, J.J.; Montoya, F.; Domínguez, A. Improving the Sustainability and Profitability of Oat and Garlic Crops in a Mediterranean Agro-Ecosystem under Water-Scarce Conditions. *Agronomy* **2022**, *12*, doi:10.3390/agronomy12081950.
17. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. *Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements-FAO Irrigation and Drainage Paper 56*; 1998;
18. George H. Hargreaves; Zohrab A. Samani Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Appl Eng Agric* **1985**, *1*, 96–99, doi:10.13031/2013.26773.
19. Pereira, L.S.; Paredes, P.; Hunsaker, D.J.; López-Urrea, R.; Mohammadi Shad, Z. Standard Single and Basal Crop Coefficients for Field Crops. Updates and Advances to the FAO56 Crop Water Requirements Method. *Agric Water Manag* **2021**, *243*, doi:10.1016/j.agwat.2020.106466.
20. Sevacherian, V.; Stern, V.M.; Mueller, A.J. Heat Accumulation for Timing Lygu/ Control Measures in a Safflower-Cotton Complex 2.
21. Domínguez, A.; Martínez-Romero, A.; Leite, K.N.; Tarjuelo, J.M.; de Juan, J.A.; López-Urrea, R. Combination of Typical Meteorological Year with Regulated Deficit Irrigation to Improve the Profitability of Garlic Growing in Central Spain. *Agric Water Manag* **2013**, *130*, 154–167, doi:10.1016/j.agwat.2013.08.024.
22. Pizarro, F. *Riego Localizados de Alta Frecuencia (RLAF)*; 3 edition.; Mundi-Prensa, 1996; ISBN 84-7114-171-X.
23. Steduto, P.; Hsiao, T.; Fereres, E.; Raes, D. Respuesta Del Rendimiento de Los Cultivos al Agua. *FAO* **2012**.
24. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Smith, M.; Raes, D.; Wright, J.L. FAO-56 Dual Crop Coefficient Method for Estimating Evaporation from Soil and Application Extensions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* **2005**, *131*, 2–13, doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:1(2).