

Transformación digital en la gestión de la fertirrigación: soluciones para incrementar la sostenibilidad en el marco del proyecto Life TRIPLET

Alejandro Pérez-Pastor ^{1,*}, Pablo Berríos ¹, Abdelmalek Temnani ¹, David Hernández ², Mariano Soto-García ³ y Antonio Alcaide ⁴.

¹ Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), 30203 Cartagena, España.

² Federación Nacional de Comunidades de Regantes (FENACORE), 28036 Madrid, España.

³ Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (CRCC), 30201 Cartagena, España.

⁴ Comunidad de Usuarios de Aguas Subterráneas de la Masa Mancha Occidental II (CUASMOII), 13600 Ciudad Real, España.

* alex.perez-pastor@upct.es

Resumen

La digitalización de la fertirrigación mediante herramientas de alto nivel de madurez tecnológica para la monitorización en tiempo real de diversos parámetros agronómicos, análisis de datos y apoyo a la decisión permite optimizar la programación y gestión del riego sin afectar el crecimiento, la actividad fisiológica ni la productividad de los cultivos. Los resultados iniciales del proyecto europeo LIFE TRIPLET muestran ahorros significativos de agua en diversos sistemas agrícolas y una elevada capacidad de transferencia territorial a través del alcance de las comunidades de regantes, consolidando un modelo de fertirrigación más eficiente, competitivo y sostenible, con capacidad de escalado desde la finca hasta la cuenca hidrográfica.

INTRODUCCIÓN

La agricultura de regadío afronta actualmente un escenario de creciente complejidad marcado por la escasez hídrica, la variabilidad climática, el incremento del coste energético y del agua y una mayor exigencia normativa en materia de sostenibilidad ambiental (García-Tejero & Duran, 2018; Gosling & Arnell, 2016; Jury & Vaux, 2007). En este contexto, la modernización del regadío ya no puede limitarse exclusivamente a la mejora de infraestructuras hidráulicas, sino que requiere avanzar hacia modelos de gestión basados en información objetiva, continua y espacialmente representativa (Forcén-Muñoz et al., 2021; Soto et al., 2014).

El proceso de transformación digital aplicado al regadío puede definirse como la integración de tecnologías de monitorización, conectividad, análisis de datos y herramientas de apoyo a la toma de decisiones para optimizar la gestión del agua en tiempo real a escala de finca, comunidad de regantes y cuenca hidrográfica. Este enfoque permite abordar algunos de los principales retos del fertirriego actual: (i) cómo distribuir la dotación de riego disponible, habitualmente inferior a la demanda potencial del cultivo, a lo largo de la campaña minimizando su impacto sobre el rendimiento; (ii) determinar de forma objetiva la profundidad efectiva de absorción radicular y los periodos de máxima demanda hídrica del cultivo para minimizar pérdidas de agua y

nutrientes; (iii) reducir el uso de insumos, especialmente fertilizantes nitrogenados, debido a su elevada contribución a la huella hídrica y de carbono de los productos agrícolas; (iv) incrementar la competitividad de las explotaciones mediante la reducción de costes productivos y/o la mejora del rendimiento y la calidad de la cosecha; y (v) transferir esta información de manera clara, útil y operativa a técnicos, gestores y regantes para facilitar una toma de decisiones eficiente (FAO & WWC, 2015).

En este marco, el proyecto europeo Life TRIPLET (LIFE22-CCA-ES-LIFE TRIPLET 101113915) tiene como objetivo implementar, demostrar y transferir una herramienta digital de gestión del agua orientada a optimizar estrategias sostenibles de fertirrigación en condiciones reales de escasez hídrica propias de los agroecosistemas mediterráneos, abarcando desde la escala de finca hasta la de cuenca. El valor diferencial de Life TRIPLET, además de la incorporación e integración de tecnologías digitales con un alto nivel de madurez tecnológica, reside en su enfoque demostrativo y en su elevada capacidad de transferencia a escala territorial, impulsada por el papel de las comunidades de regantes en España, lo que facilita una transferencia tecnológica directa a los usuarios finales. Este trabajo expone el enfoque de digitalización desarrollado en el marco de Life TRIPLET y los principales resultados obtenidos en la primera etapa del proyecto, orientados a demostrar el potencial de estas soluciones para mejorar la sostenibilidad del fertirriego.

RESULTADOS

Un ejemplo ilustrativo del alcance de la implementación de tecnologías digitales en la toma de decisiones del riego se observó en almendros cultivados en alta densidad en Castilla-La Mancha. La información en tiempo real sobre la dinámica del agua en el perfil del suelo a distintas profundidades y la monitorización del estado hídrico del cultivo permitieron ajustar el tiempo de riego a la profundidad efectiva de absorción radicular (hasta 40 cm), evitando aportes excesivos que favorecían pérdidas por percolación profunda. Como resultado, se redujo el tiempo medio de riego por evento desde 7,1 h en el manejo convencional hasta 5,1 h bajo la estrategia Life TRIPLET, lo que supuso un ajuste del 28% en la duración media de los riegos sin afectar la productividad. Es importante destacar que el número total de riegos aplicados durante la campaña se mantuvo prácticamente constante, lo que evidencia que la mejora no se basó en una reducción de la frecuencia, sino en una optimización de su duración. Bajo el manejo Life TRIPLET, el 66% de los riegos se concentró en el rango de 3 a 6 horas de duración, en comparación al 28% observado en el manejo convencional, mientras que se redujo

notablemente la proporción de riegos prolongados de 6 a 9 horas y se eliminaron totalmente los eventos superiores a 9 horas (Figura 1).

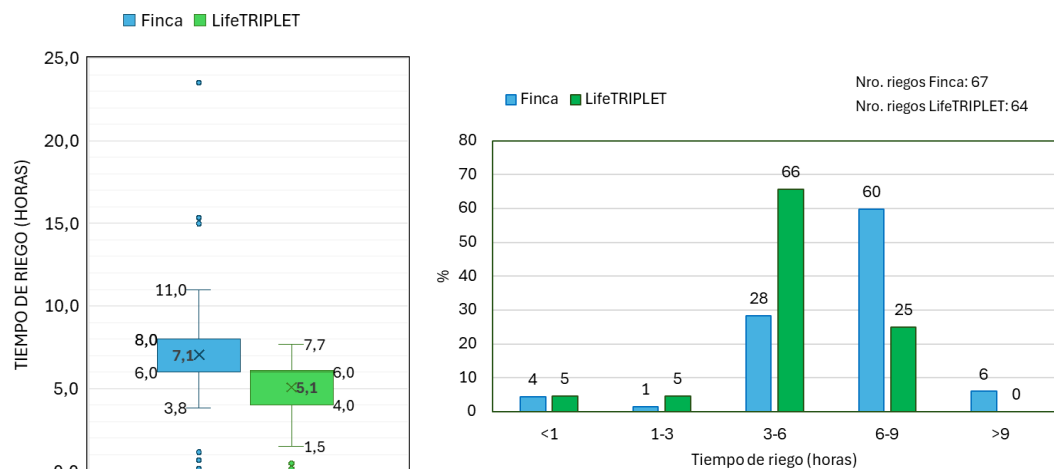


Figura 1. Comparación de la duración media de los eventos de riego (izquierda) y de la distribución porcentual de su duración durante la temporada (derecha) entre el manejo convencional de finca y la estrategia Life TRIPLET en árboles de almendro en alta densidad.

A escala global del proyecto, los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la digitalización del riego no implica necesariamente utilizar menos agua, sino distribuir de forma más eficiente la dotación disponible en función de la demanda real del cultivo, su estado fenológico y la dinámica del agua en el perfil del suelo. El objetivo principal es maximizar la eficiencia de cada aporte, evitando pérdidas por drenaje profundo y mejorando la disponibilidad hídrica en la zona radicular activa. Este enfoque resulta especialmente relevante en escenarios con dotaciones limitadas, como en el cultivo de pistacho, donde la disponibilidad total fue inferior a 1.000 m³/ha (Tabla 1). En este caso, la estrategia Life TRIPLET no se centró en reducir el volumen aplicado, sino en redistribuir de forma más eficiente el agua dentro de una campaña altamente restrictiva, manteniendo volúmenes prácticamente equivalentes al manejo convencional, pero priorizando satisfacer la demanda hídrica en los periodos más sensibles del cultivo. En otros cultivos y zonas, como almendro en sistema tradicional, lechuga o mandarino, la digitalización permitió reducciones significativas del volumen de agua aplicado, alcanzando ahorros del 17,0%, 21,9% y 42,3%, respectivamente (Tabla 1), sin reducir el crecimiento vegetativo, la actividad fisiológica ni la productividad.

Tabla 1. Comparación del volumen total de riego aplicado (m³/ha) entre el manejo convencional de finca y la estrategia Life TRIPLET en distintos cultivos.

Cultivo	Riego aplicado (m ³ /ha)			
	Finca	Life TRIPLET	Diferencia	% Reducción
Almendo alta densidad	3.777,8	3.134,7	-643,1	-17,0
Almendo tradicional	3.793,2	3.537,2	-255,9	-6,7
Pistacho 1	813,2	782,2	-30,9	-3,8
Pistacho 2	810,5	804,8	-5,6	-0,7
Mandarino	3.896,6	2.249,0	-1.647,6	-42,3
Uva de mesa	5.540,6	5.048,8	-491,8	-8,9
Lechuga	1.359,2	1.061,2	-298,0	-21,9

A pesar de la reducción del volumen de riego, los indicadores de crecimiento vegetativo obtenidos por teledetección se mantuvieron en niveles equivalentes al manejo convencional (Figura 2). Asimismo, el estado hídrico, evaluado mediante potencial hídrico de tallo, se mantuvo dentro de los umbrales óptimos para cada cultivo, mientras que los parámetros de intercambio gaseoso foliar, como la conductancia estomática y la fotosíntesis neta, no mostraron reducciones significativas asociadas al ajuste de la programación del riego. Del mismo modo, la productividad no se redujo en la mayoría de los sistemas evaluados.

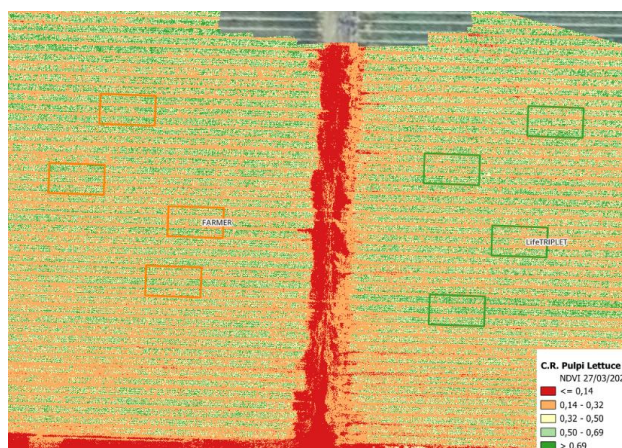


Figura 2. Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) como indicador del crecimiento vegetativo en cultivo de lechuga en la Comunidad de Regantes de Pulpí, comparando el manejo convencional de finca y la estrategia Life TRIPLET.

POTENCIAL DE ALCANCE TERRITORIAL

En un escenario conservador, la extrapolación de los protocolos de monitorización y apoyo a la decisión desarrollados en Life TRIPLET, a través de la estructura organizativa y capacidad de transferencia de las comunidades de regantes participantes, permitiría alcanzar un impacto territorial significativo. Actualmente, el proyecto abarca tres cuencas hidrográficas, siete comunidades de regantes, catorce parcelas demostrativas y sesenta y cinco nodos de sensorización agronómica distribuidos en 293 hectáreas de

seguimiento intensivo. A partir de esta base, se estima un potencial de transferencia tecnológica sobre una superficie extrapolable de 208.517 hectáreas, lo que refuerza la capacidad del proyecto para escalar soluciones de digitalización del regadío desde la parcela hasta la gestión colectiva del agua, favoreciendo una transición efectiva hacia modelos de riego más eficientes, resilientes y sostenibles.

Agradecimientos

Este proyecto ha recibido financiación del Programa LIFE de la Unión Europea en virtud del acuerdo de subvención n.º 101113915 (LIFE22-CCA-ES-LIFE TRIPLET). El proyecto se coordina bajo la supervisión de la Agencia Ejecutiva Europea de Clima, Infraestructuras y Medio Ambiente (CINEA). Los autores agradecen el apoyo del Programa LIFE. Los autores agradecen al equipo técnico de la Universidad Politécnica de Cartagena; a los socios participantes: FENACORE, CETAQUA, AZUD, AQUATEC, IMIDA, CUASMOII y FMC Agricultural Solutions España; a las comunidades de regantes: Acequia Real del Júcar, C.R. del Campo de Cartagena, C.R. del Tránsito Tajo-Segura de Totana, C.R. de Pliego, C.R. de Pulpí y al Sindicato Central de Regantes del Tránsito Tajo-Segura; y a todos sus regantes.

Referencias

- FAO, & WWC. (2015). *Towards a water and food secure future: Critical perspectives for policy-makers*. <http://www.fao.org/3/a-i4560e.pdf>
- Forcén-Muñoz, M., Pavón-Pulido, N., López-Riquelme, J. A., Temnani-Rajjaf, A., Berríos, P., Morais, R., & Pérez-Pastor, A. (2021). Irriman Platform: Enhancing Farming Sustainability through Cloud Computing Techniques for Irrigation Management. *Sensors*, 22(1), 228. <https://doi.org/10.3390/s22010228>
- García-Tejero, I., & Duran, V. H. (2018). *Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment: Tools, Strategies, and Challenges for Woody Crops* (I. García-Tejero & V. H. Duran, Eds.; 1st ed.). Elsevier.
- Gosling, S. N., & Arnell, N. W. (2016). A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. *Climatic Change*, 134(3), 371–385. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0853-x>
- Jury, W., & Vaux, H. (2007). The emerging global water crisis: managing scarcity and conflict between water users. *Adv. Agron.*, 95, 1–76.
- Soto, M., Martínez, V., & Martín, B. (2014). *El regadío en la Región de Murcia. Caracterización y análisis mediante indicadores de gestión*. (Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura, Ed.; 1st ed.). CRCC y SCRATS.