

LA TECNOLOGÍA EN EL RIEGO DE PRECISIÓN

Francisco Puig^{1*}, Juan Antonio Rodríguez Díaz²

¹ Ingeniero agrónomo. Doctorando en Ingeniería Agronómica. Departamento de Agronomía, Universidad de Córdoba.

² Doctor ingeniero agrónomo. Catedrático de Ingeniería Hidráulica. Departamento de Agronomía, Universidad de Córdoba.

* Autor de contacto: g32pupef@uco.es

Resumen

En este trabajo se presentan algunas de las tecnologías más avanzadas para la aplicación de un riego de precisión en la agricultura. Se presentan diferentes tipos de sensores utilizados en este campo y se explica el papel de los modelos agronómicos, que pueden aprovechar los datos recopilados por dichos sensores para mejorar la precisión de sus predicciones. Por último, se aborda la importancia de las plataformas *online*, basadas en el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés), que incorporan en tiempo real la información recopilada mediante los distintos sensores. En este contexto, se destaca su potencial para hacer más asequibles los datos a los usuarios y facilitar su integración en modelos suelo-agua-planta-atmósfera.

Introducción

En España, al igual que ocurre en el resto de los países de la cuenca mediterránea, el agua es un recurso escaso, frágil e irregularmente distribuido. A la escasez de precipitaciones, la elevada evapotranspiración, la alta variabilidad espacial y temporal de las lluvias, la desigual distribución de los recursos hídricos y la frecuencia de las sequías, se unen problemas como el aumento de la presión sobre los recursos hídricos, el déficit creciente que sufren algunas cuencas y la salinización o contaminación de acuíferos (García Morillo, 2015)

Los modelos climáticos desarrollados por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) (Zal *et al.*, 2021) muestran que, en los últimos 50 años, en la península ibérica se ha producido una disminución de las precipitaciones de hasta 90 mm por década, y predicen que en los próximos 70 años esta disminución será aún mayor, alcanzando una reducción de hasta el 40 % en algunas zonas del sur de España.

Por esta razón, el riego de precisión se está convirtiendo en una parte fundamental de la agricultura, donde el agua y la energía son factores cada vez más limitantes. A diferencia de los riegos tradicionales, que se basan en la aplicación fija de agua según un calendario y temporizadores preestablecidos, el enfoque del riego de precisión se fundamenta en la monitorización y estimación de variables climáticas, de suelo y de la planta para aplicar la cantidad de agua exacta que necesita el cultivo en el momento en que es más necesaria. Implementar este tipo de riegos es una tarea complicada para

la mayoría de los agricultores, ya que tienen que conocer diferentes parámetros y variables que afectan a las necesidades hídricas de la planta. Afortunadamente, los avances tecnológicos y la reducción de costos están facilitando, e incluso automatizando, la implementación de estos métodos de riego, permitiendo a los agricultores aprovechar al máximo esta tecnología para optimizar el uso del agua en sus cultivos.

La tecnología en el regadío

Los avances tecnológicos han generado la aparición de numerosas empresas e investigadores que se dedican al desarrollo de soluciones que tienen como objetivo el cálculo de manera precisa de las necesidades hídricas de las plantas mediante el uso de sensores que miden variables en tiempo real. Es por ello por lo que actualmente existe una gran multitud de sensores comerciales para la agricultura, y su número no deja de aumentar. En general estos dispositivos se pueden dividir en tres tipos: sensores y controladores para el sistema de riego, sensores ambientales y sensores de planta (figura 1).

Los sensores y controladores utilizados en el sistema de riego desempeñan un papel fundamental. Los sensores permiten obtener las variables hidráulicas de dicho sistema y los controladores han evolucionado para permitir un control remoto a través de la nube. Esto brinda a los agricultores la flexibilidad de ajustar la programación del riego en función de los datos recopilados.

Los sensores ambientales calculan las variaciones climáticas del entorno donde se desarrolla el riego, como la temperatura, la precipitación, la radiación solar, etc. Esta información es esencial para conocer el microclima de la zona de riego.

Los sensores de planta se utilizan en combinación con los ambientales para obtener información detallada sobre el estado de los cultivos. Existen diversos tipos de sensores de planta, destacando aquellos que miden la humedad y conductividad eléctrica del suelo, el flujo de savia, dendrómetros, imágenes satelitales, etc.

Empero, uno de los principales problemas asociados a los sensores de planta radica en su falta de representatividad en relación con la totalidad de la parcela de riego. Por ejemplo, los sensores de humedad del suelo brindan información valiosa y de fácil interpretación, pero se enfrentan al desafío de lidiar con la heterogeneidad del suelo, lo que puede generar errores significativos al interpretar la humedad del suelo a escala de parcela. Los dendrómetros y los sensores de flujo de savia son herramientas útiles para medir el estado hídrico de los árboles en cultivos arbóreos. Aunque estos sensores pueden proporcionar valores más representativos, sigue siendo necesaria su instalación en múltiples árboles, lo cual incrementa los costos asociados.

Nuevas tecnologías están surgiendo para intentar dar solución a este problema. Por ejemplo, los sensores de neutrones de rayos cósmicos (figura 2) que permiten estimar la humedad del suelo en grandes áreas



Figura 1. A la izquierda: sensores de planta instalados en una finca de almendro experimental en California, EE. UU. A la derecha: caudalímetro para el control de riego en una finca de pistachos en Córdoba, España.

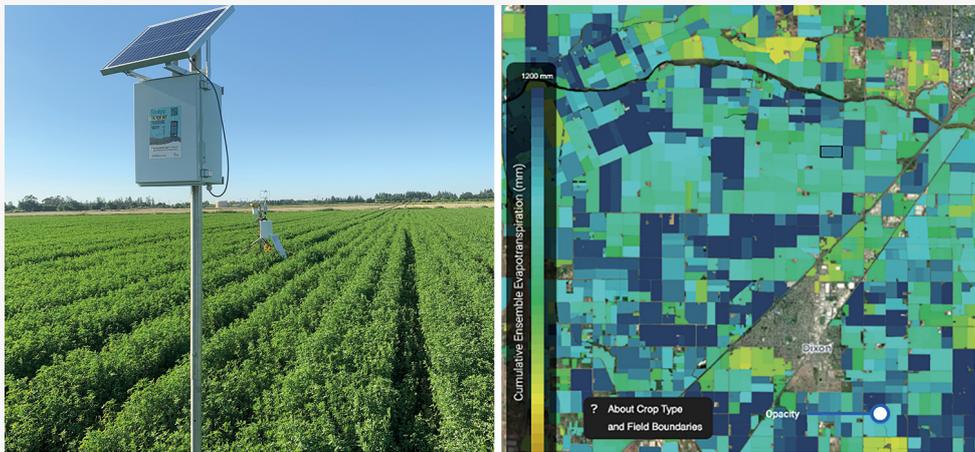


Figura 2. A la izquierda: Sensor de neutrones de rayos cósmicos en un campo de Alfalfa en California, EE. UU. A la derecha: visor web para la visualización de la evapotranspiración del cultivo (OpenET).

(Stevanato *et al.*, 2019). Otro ejemplo es OpenET (figura 2), un proyecto desarrollado en Estados Unidos que emplea imágenes satelitales para calcular la evapotranspiración del cultivo a escala de parcela (Melton *et al.*, 2022)

Los satélites y vehículos aéreos no tripulados (UAV), equipados con cámaras térmicas o multiespectrales, también son bastante representativos ya que son capaces de estimar las necesidades hídricas a escala de explotación. Sin embargo, también tienen desventajas. Los satélites tienen limitaciones espaciales y de resolución dado que, aunque los tamaños de píxel cada vez son más pequeños, aún no son del todo adecuados para detectar problemas a nivel de parcela y planta. Además, dependen de las condiciones climáticas para tomar fotos claras y precisas. Los UAV, por otra parte, son costosos, especialmente para agricultores pequeños y medianos, y requieren de personal especializado para su uso.

Por todo ello, la selección precisa del sensor desempeña un papel crucial en el riego de precisión y dependerá de numerosos factores que han de ser evaluados por el agricultor. En general, la estrategia más conveniente es el uso de varios sensores de distinto tipo que permitan dar la mejor representación de las necesidades hídricas del cultivo. Sin embargo, hay que tener en cuenta que, para aplicar un riego de precisión, no se puede depender únicamente de las condiciones actuales del

cultivo, sino que también hay que anticipar las condiciones futuras. El análisis de datos desempeña un papel esencial en la implementación del riego de precisión.

El uso de los datos

En la agricultura, los sensores miden diversas variables relacionadas con el uso de agua por parte de las plantas, incluyendo aspectos de la planta misma, del suelo y de las condiciones climáticas. No obstante, para integrar toda esta información y desarrollar las estrategias de riego de precisión óptimas, los modelos suelo-agua-planta pueden jugar un papel relevante, dado que permitan interconectar estas variables y ser útiles como sistemas de ayuda a la toma de decisiones.

Los modelos suelo-agua-planta permiten simular de manera matemática el crecimiento de los cultivos. Uno de los más destacados es AquaCrop (Vanuytrecht *et al.*, 2014), un modelo de simulación agrícola desarrollado por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) y que se utiliza para estimar y optimizar el rendimiento de los cultivos en diferentes condiciones de riego, suelos y clima.

Por otro lado, el uso de algoritmos de inteligencia artificial va a tener un impacto significativo en la estimación de las necesidades de las plantas. Los modelos

basados en inteligencia artificial tienen la ventaja de poder encontrar relaciones entre variables que son difíciles de modelar matemáticamente. Utilizando datos históricos y datos en tiempo real, estos modelos pueden descubrir patrones y correlaciones que ayudan a predecir y adaptarse a las condiciones cambiantes del cultivo y del entorno. Esto ha abierto nuevas posibilidades para optimizar la gestión agrícola y mejorar la eficiencia de los sistemas de riego y cultivo.

La combinación de estos dos modelos permite una planificación estratégica del riego, minimizando el desperdicio de agua y maximizando el rendimiento de los cultivos. Para la conexión de estos modelos con los sensores y el usuario es necesario utilizar plataformas IoT (Internet de las Cosas).

El Internet de las Cosas

El IoT es un paradigma emergente que permite la comunicación entre dispositivos electrónicos y sensores a través de internet con el fin de facilitar nuestra vida (Kumar *et al.*, 2019). Una de las principales ventajas de este enfoque es la capacidad de conectar en tiempo real los sensores, los modelos agronómicos y los controladores de riego. Esta integración ofrece grandes beneficios para los agricultores, ya que a través de una aplicación web o un dispositivo móvil pueden controlar y supervisar las condiciones hídricas del cultivo y actuar de la manera más eficiente y conveniente.

Un ejemplo de estas plataformas se encuentra en la creada dentro del grupo de investigación AGR228 'Hidráulica y Riegos', de la Universidad de Córdoba. Esta plataforma utiliza datos de los sensores para calcular automáticamente las necesidades del cultivo, y permite la implementación de estrategias de riego deficitario (Puig *et al.*, 2022)

En el último año, esta plataforma ha experimentado una evolución al integrar el modelo AquaCrop. El componente principal es una cámara RGB especialmente diseñada para

ser instalada en cultivos. Esta cámara captura imágenes en las bandas espectrales de rojo, verde y azul, similares a las que percibe el ojo humano. Estas imágenes se utilizan junto con índices de vegetación para calcular y evaluar la cubierta vegetal del cultivo. El modelo utiliza los datos recopilados por las cámaras y los sensores, las predicciones climáticas, y los datos históricos de la estación climática para simular el crecimiento futuro del cultivo y realizar predicciones de cosecha basadas en la estrategia de riego utilizada (figura 3). Gracias a esta integración, los usuarios tienen la capacidad de simular diferentes estrategias y evaluar cuál de ellas maximiza la producción agrícola. Además, utilizando las predicciones climáticas, la plataforma proporciona recomendaciones sobre la estrategia de riego óptima para los próximos 7 días.

El papel del agricultor

Por último, a pesar de que la tecnología IoT y los modelos agronómicos pueden brindar facilidades y optimizar el proceso de riego, no hay que olvidar que el papel del agricultor sigue siendo fundamental. Su comprensión y habilidad para utilizar estos modelos de manera efectiva son clave para lograr un riego de precisión. Por tanto, es importante que estas plataformas permitan una interacción directa con el agricultor, quien debe formarse y emplearlas como una herramienta adicional en su rutina diaria de trabajo. De esta manera, el agricultor podrá aprovechar al máximo las ventajas de estas tecnologías y utilizarlas para tomar decisiones, mejorando la eficiencia y productividad de su cultivo.

Conclusiones

En los últimos años, los agricultores se enfrentan a desafíos cada vez mayores debido a la escasez de agua, por lo que no disponen de dotación suficiente para satisfacer las necesidades hídricas de sus cultivos. En este contexto, el uso de riegos de precisión se vuelve cada vez

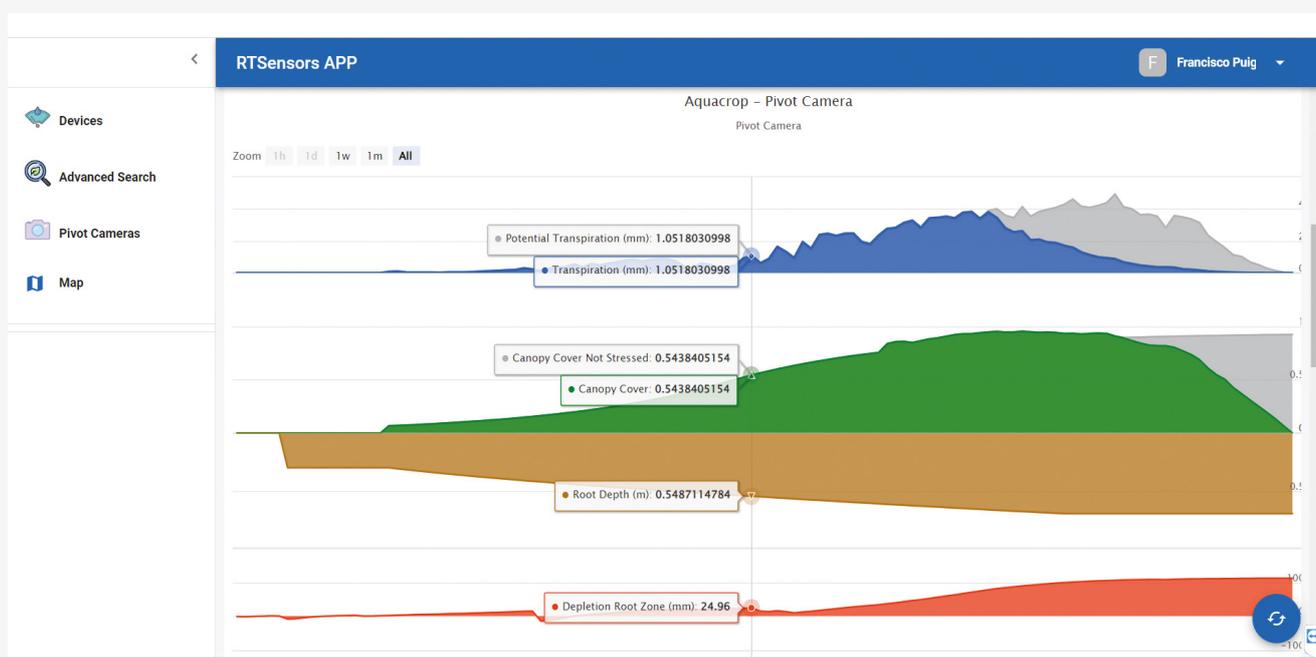


Figura 3. Plataforma IoT para la modelización mediante AquaCrop de una finca de trigo localizada en Córdoba, España.

más crucial. Sin embargo, para implementar este tipo de riego de manera efectiva es fundamental contar con información precisa sobre el estado y las necesidades hídricas de los cultivos. Afortunadamente, el avance de la tecnología ha permitido el desarrollo de sensores, modelos y plataformas que pueden estimar con precisión estas necesidades. Estos avances tecnológicos brindan a los agricultores una herramienta valiosa para aplicar riegos de precisión de manera más sencilla y eficiente

Referencias

García Morillo, J. (2015). *Hacia el riego de precisión en el cultivo de fresa en el entorno de Doñana*. Córdoba: Universidad de Córdoba. <http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/12639>

Kumar, S., Tiwari, P., y Zymbler, M. (2019). Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review. *Journal of Big Data*, 6(1): pp. 1-21. <https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-019-0268-2>

Melton, F.S., et al. (2022). OpenET: Filling a Critical Data Gap in Water Management for the Western United States. *Journal of the American Water Resources Association*, 58(6): pp. 971–994. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12956>

Puig, F., Rodríguez Díaz, J.A., y Soriano, M.A. (2022). Development of a Low-Cost Open-Source Platform for Smart Irrigation Systems. *Agronomy* 2022, 12(12): p. 2909. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY12122909>

Stevanato, L., Baroni, G., Cohen, Y., Fontana, C.L., Gatto, S., Lunardon, M., Marinello, F., Moretto, S., y Morselli, L. (2019). A Novel Cosmic-Ray Neutron Sensor for Soil Moisture Estimation over Large Areas. *Agriculture*, 9, 202. <https://doi.org/10.3390/agriculture9090202>

Vanuytrecht, E., Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Heng, L.K., García Vila, M., y Mejías Moreno, P. (2014). AquaCrop: FAO's crop water productivity and yield response model. *Environmental Modelling & Software*, 62, pp. 351–360. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2014.08.005>

Zal, N., Wolters, H., Psomas, A., Anzaldúa, G., Bariamis, G., Rouillard, J., y Birk, S. (2021). *Water resources across Europe — confronting water stress: an updated assessment* (Issue 12). Luxembourg: European Environment Agency. https://www.eea.europa.eu/publications/water-resources-across-europe-confronting/at_download/file