

DIGITALIZACIÓN



La digitalización en la agricultura de regadío

El regadío y la agricultura atraviesan una etapa de profunda transformación. Este cambio está relacionado con el aumento de nuestra capacidad para captar, transmitir, almacenar, procesar e interpretar información procedente de la actividad agraria a partir de tecnología digital.

En la historia humana, el tránsito de las sociedades nómadas hacia la sedentarización tuvo como principal catalizador el desarrollo de la agricultura. Ya en estas etapas tan tempranas, el ser humano fue consciente de la importancia de la disposición de agua para la supervivencia y productividad de sus cosechas.

Históricamente el regadío ha sido utilizado como factor de progreso económico y social, y ha merecido una especial atención por parte de los distintos gobernantes. Hoy en día, la transcendencia del riego en la vertebración del territorio no ha perdido un ápice de su relevancia; no en vano las producciones de regadío son la base de un dinámico entramado empresarial con una importante participación en la generación de riqueza.

En todo este tránsito, el regadío ha sido objeto de sus particulares revoluciones. Quizás la más relevante fue la que supuso la aparición del riego presurizado durante la «revolución verde». De este modo, las transformaciones de secano a regadío ampliaron notablemente la superficie regada y los regadíos tradicionales sufrieron un proceso de modernización que todavía perdura.

Hoy en día, el regadío, al igual que la propia agricultura, está atravesando de nuevo una etapa de profunda transformación. Este cambio está directamente relacionado con el sustancial aumento de nuestra capacidad para captar, transmitir, almacenar, procesar e interpretar información procedente de la actividad agraria a partir de tecnología digital, de ahí que uno de los términos que intenta englobar este proceso sea el de digitalización.

Imagen superior. Dron captando imágenes para evaluación de estado hídrico en olivo superintensivo (Villena).

NUEVAS TÉCNICAS PARA LA EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA

La agricultura es la mayor consumidora de agua dulce del planeta. Solo en la Comunitat Valenciana el regadío es el responsable del 77,5% del agua total consumida. Por ello, un adecuado uso del recurso es fundamental para garantizar las necesidades alimentarias en equilibrio con las crecientes demandas para otros usos. Además, el cambio climático, unido al aumento de la población mundial, plantea un escenario de cada vez mayor presión sobre el recurso, y determina que las **previsiones auguren un agravamiento del estrés hídrico** en la cuenca mediterránea en hasta un 200% para 2030.

En este contexto tan complejo, el desarrollo actual de las técnicas de riego, con el impulso dado por la digitalización, ofrece toda una serie de procedimientos tecnológicos para optimizar el uso del agua, mejorar la eficiencia de la aplicación y proporcionar ganancias de productividad, sin comprometer ni la disponibilidad ni la calidad del agua.

Ello tiene su obligado punto de partida en una adecuada estimación de las cantidades de agua que requieren los cultivos y, para ello, existen diversas herramientas que permiten un ajuste bastante preciso de las dosis de riego y su correcta aplicación en parcela, elementos fundamentales para una mayor eficiencia en el uso del agua. Estas herramientas comúnmente recurren al análisis del continuo suelo-planta-atmósfera (SPA) como fuente de información de base para el establecimiento de una programación de riego eficiente.

Imagen 1. Estación agroclimática de la Red SIAR (Moncada).

El desarrollo de las técnicas de riego, con el impulso de la digitalización, permite optimizar el uso del agua, mejorar la eficiencia de su aplicación y aumentar la productividad sin comprometer ni la disponibilidad ni la calidad del recurso.

A Atmósfera: Metodología del Balance de Agua (FAO 56)

La metodología conocida como del Balance de Agua es quizás hoy en día la más extendida para el cálculo de necesidades hídricas. Este método propone la estimación del consumo de agua de un cultivo o evapotranspiración del cultivo (ETc) a través del producto de dos parámetros. El primero de ellos, denominado evapotranspiración de referencia (ETo), refleja el potencial extractivo de unas condiciones meteorológicas dadas en un periodo concreto, expresándose en altura de lámina de agua (mm). El segundo, denominado coeficiente de cultivo (Kc), pondera y ajusta el valor de ETo a las condiciones concretas del cultivo, especialmente su momento fenológico. Las bases definitivas de esta sistemática fueron establecidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) a través del estudio **Riego y drenaje, publicación núm. 56**, de ahí que la metodología sea comúnmente conocida como FAO 56.

Para el cálculo de la ETo existen distintas metodologías, de las cuales la más utilizada es la FAO Penman-Monteith por su mayor precisión en las distintas condiciones. Para su determinación es necesario el registro de las variables meteorológicas temperatura y humedad relativa del aire, velocidad del viento y radiación solar. La digitalización, en este aspecto, entra en juego en los avances en la sensorización ambiental. A través de las **estaciones agroclimáticas de registro automático (Imagen 1)**, es posible un registro preciso de estas variables y una muy ajustada determinación de la ETo. Con este objeto en España se creó en 1999 el **Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR)** que, con más de 500 estaciones, ofrece el cálculo de la ETo y la medición de la precipitación como base para aplicación de la metodología FAO 56. La información de la red y los servicios asociados alcanzan al usuario final a través de las tecnologías de



la información y las comunicaciones (TIC), es decir, las páginas web de los servicios de asesoramiento al regante (SAR), otro ejemplo de digitalización. En la Comunitat Valenciana es el Servicio de Tecnología del Riego (STR) del **Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA)** el encargado de la gestión de las 56 estaciones de la red SIAR, cuya información publica el **portal de riegos del IVIA**.

Las nuevas tendencias en este apartado se orientan hacia la sustitución de la fuente de datos de base para el cálculo de la ETo, pasando de observaciones registradas por las estaciones a la información proporcionada por los distintos modelos de previsión meteorológica ofrecida por organismos públicos, como la **Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)**,

y empresas privadas. De este modo, gracias a la mejora de los modelos de previsión meteorológica, se puede obtener una mejor estimación de la exigencia atmosférica a la que va a estar sometido el cultivo, así como de la precipitación, en su caso, que puede determinar el ahorro de riegos.

En cuanto al segundo factor, el coeficiente de cultivo (kc), la bibliografía científico-técnica contiene multitud de propuestas de coeficientes aplicables a una amplia gama de **cultivos en diversas condiciones**. Tal es así, que puede resultar ardua la selección del coeficiente más adecuado a las necesidades del usuario. De nuevo, **los SAR desarrollan esta labor** seleccionando aquellos que mejor pueden recoger la realidad productiva de sus zonas de influencia. Todo

ello pone de relieve que la determinación de coeficientes de cultivo está sujeta a muchos condicionantes que en muchos casos pueden limitar su transferibilidad y recomiendan su continua revisión. Los coeficientes de cultivo tradicionalmente se han obtenido mediante lisimetría o más recientemente por la metodología de covarianza de torbellinos (Eddy Covariance en inglés), que, mediante la medida por sensorización digital de los flujos de calor en una superficie de cultivo, obtiene el valor de la ETC e, indirectamente, por tanto, los valores del coeficiente de cultivo.

En los últimos tiempos, la digitalización acude en ayuda en la estimación de coeficientes de cultivo integrada en las técnicas de teledetección que se abordan en el apartado dedicado a la planta.

B

Suelo: Sensores de Humedad

La programación de riego basada exclusivamente en un balance hídrico del suelo tan solo proporciona información sobre la cantidad de agua a aplicar en el cultivo durante un período concreto, pero no sobre cómo fraccionar esa cantidad, factor fundamental de eficiencia. Por todo ello, comple-

mentariamente al balance de agua, es recomendable utilizar **sensores de humedad de suelo** para aumentar la eficiencia hídrica (**Imagen 2**). Los sensores de humedad del suelo pueden proporcionar información en continuo de la evolución del contenido de humedad en el perfil radicular de la planta y

Imagen 2. Diversas tipologías de sensores de humedad del suelo.

Imagen 3. Batería de tensiómetros para control del riego en pimiento (Pilar de la Horadada).



detectar episodios de drenaje, permitiendo una buena adaptación de la programación de riego a las características del suelo y del cultivo.

En la actualidad, los sensores de humedad quizás sean el paradigma de la digitalización en el riego de cultivos gracias a que pueden ofrecer una información continua, precisa e intuitiva de la evolución del agua en el suelo, con gran facilidad de interpretación, lo cual los hace fácilmente inteligibles para usuarios noveles en este tipo de tecnologías de riego.

Los sensores preferentemente utilizados en el control de riego en agricultura comercial son de dos tipos: los que ofrecen la información en potencial mátrico, como tensiómetros (Imagen 3) y equitensiómetros, y los que la ofrecen en humedad volumétrica ($m^3 \cdot m^{-3}$) como los sensores dieléctricos FDR, TDR y TDT (Imágenes 4, 5 y 6). La desventaja de estos dispositivos es que obtienen la información de un pequeño volumen de suelo explorado (5-7 cm desde el sensor), lo cual obliga a una adecuada instalación de manera que se garantice un buen contacto entre el sensor y el suelo, base para disponer de una información de calidad para la toma de decisiones.

A la hora de plantear una **red de sensorización del suelo**, más que

estimar una superficie a cubrir por sensor debemos atender a los factores que pueden intervenir en la dinámica del agua en el suelo con un cultivo en regadío establecido en él. Estos factores son: textura del suelo, especie cultivada, grado de desarrollo del cultivo y sistema de riego. Por cada elemento diferencial de los indicados presentes en nuestra explotación deberíamos instalar, al menos, dos equipos de sensorización, cuando no tres para garantizar la representatividad de la información ofrecida. Por otra parte, cada uno de los equipos debería estar compuesto de dos sensores: uno que monitorizara la zona radicular y otro que sirviera para el control del drenaje.

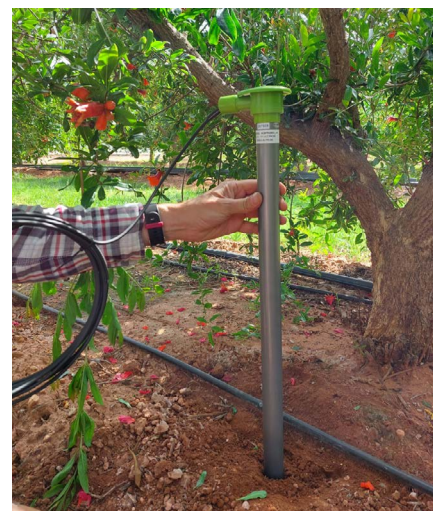
Los sensores de humedad del suelo hoy en día suelen estar integrados en plataformas web que ofrecen, con mayor o menor acierto, la información de la humedad del perfil de suelo. La calidad y claridad de la información ofrecida, así como su versatilidad y adaptabilidad a las necesidades concretas del usuario, debe ser un criterio de elección tanto o más importante que el propio sensor, ya que de ello puede depender nuestra decisión sobre cuándo, cuánto y cómo regar.

La agricultura es la mayor consumidora de agua dulce del planeta. Solo en la Comunitat Valenciana, el regadío es el responsable del 77,5% del agua total consumida. Por ello, un adecuado uso del recurso es fundamental para garantizar las necesidades alimentarias, en equilibrio con las crecientes demandas para otros usos.

Imagen 4. Ubicación de sensor FDR individual para monitorización de actividad radicular en viña (Requena).

Imagen 5. Sonda multisensor modular para manejo del riego en algarrobo (Santa Magdalena de Pulpis).

Imagen 6. Sonda multisensor compacta en granado (Museros).



C Planta: Indicadores del estado hídrico del cultivo

Los indicadores de estrés hídrico de los cultivos deberían ser de uso preferente como información de base para el establecimiento de una programación de riego, puesto que la planta integra todo el conjunto del sistema SPA. En este apartado encontramos los distintos potenciales (Ψ_{alba} , Ψ_{hoja} y Ψ_{tallo}), intercambio de gases, dendrómetros de tronco, flujo de savia, turgencia de hoja, etc. Sin embargo, la falta de automatización de muchos de ellos, la laboriosidad de la medida, la necesidad de formación o la complejidad en la captación, procesado de la información y análisis de resultados hacen que, todavía, estas herramientas tengan barreras en su uso práctico en la agricultura comercial.

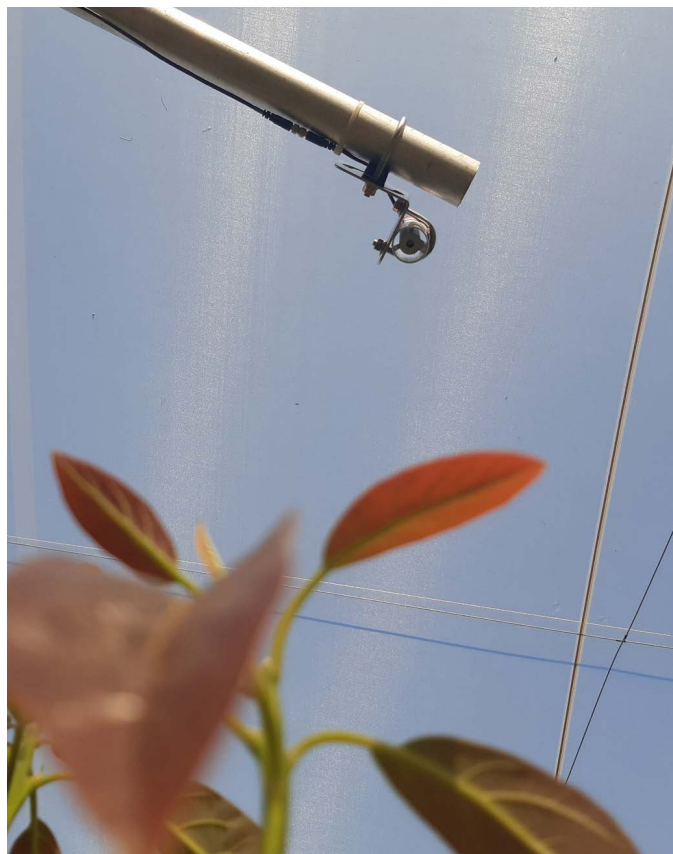
cultivos se refiere; tal es así, que todavía sigue teniendo uso preferente la medida de **potencial hídrico del tallo** (Ψ_{tallo}), una medida manual, destructiva, incómoda y no exenta de riesgo para el medidor.

Sin embargo, hay unas técnicas que se están abriendo paso con fuerza en este apartado. Son las técnicas de teledetección aplicadas al riego de los cultivos. Teledetección significa obtener información acerca del cultivo tomando y analizando datos sin que los instrumentos empleados estén en contacto directo con las plantas. La teledetección se suele asociar al uso de satélites o vehículos aéreos no tripulados (drones o aviones) para la captación de información a través de imágenes (**Imagen 7**), pero también debe entenderse como tal el uso de cámaras termográficas, sensores infrarrojos (**Imagen 8**), etc.

Imagen 7. El uso de nuevas tecnologías, como los drones, mejora la eficacia del riego y la rentabilidad de la agricultura.

Imagen 8. Sensor infrarrojo para medida de temperatura de cubierta en aguacate (Callosa d'en Sarrià).

La digitalización todavía encuentra serias limitaciones en lo que a la evaluación del estado hídrico de los



Los métodos basados en teledetección evalúan de distinta forma la radiación electromagnética que reflejan o emiten los cultivos a través del espectro electromagnético, es decir, de sus distintas longitudes de onda. En este sentido hay dos grandes bloques de aplicación de la teledetección aplicada al riego: los **índices de vegetación** y la **termografía** (Imagen 9).

Los **índices de vegetación** son el resultado de una fórmula matemática que combina una o varias bandas del espectro electromagnético. Esta operación arroja un índice que puede relacionarse con una variable de la planta a medir, en este caso el estado hídrico. El índice más extendido es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI por sus siglas en inglés) que en esencia estima el vigor de la planta. Hay multitud de índices, algunos de ellos también relacionados con la biomasa, como SAVI, NDWI y EVI. Los índices de vegetación muestran ciertas limitaciones en su aplicación en la programación de riego en el sentido de que, al estar asociados al vigor de las plantas, expresan situaciones prolongadas en el tiempo, por lo que pueden pasar por alto un estrés hídrico puntual, algo que en el manejo de riego queremos intentar corregir. Sin embargo, esa misma estrecha vinculación con el vigor vegetal abre las posibilidades de utilizar estos índices para la estimación de coeficientes de cultivo.

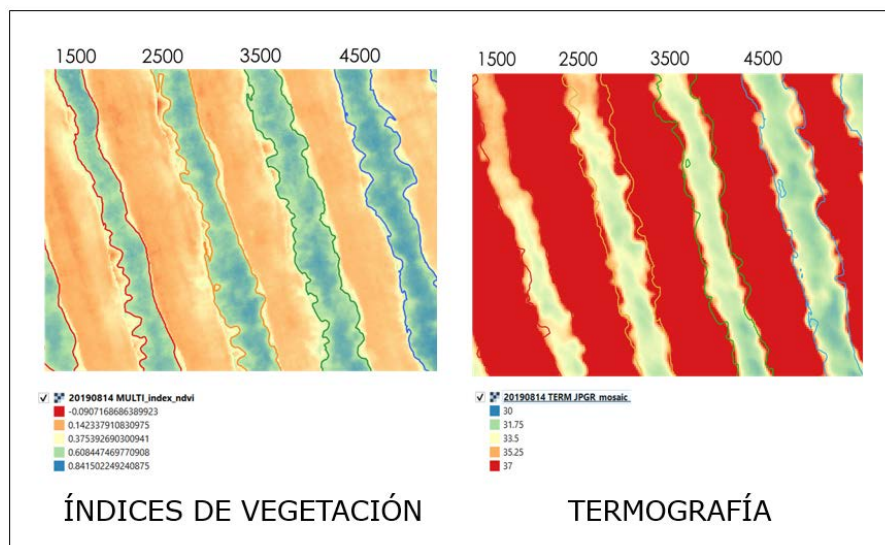


Imagen 9. Teledetección aplicada a la evaluación de estado hídrico en olivar superintensivo. Valores de NDVI y temperatura de cubierta en cuatro dosis de riego, de 1.500 a 4.500 m³/ha año. Las bandas azuladas corresponden a las líneas de cultivo. Se observa cómo a medida que aumenta la dosis de riego descienden los valores de temperatura y se corresponden con mayores valores de NDVI.

Por su parte, la **termografía** sí parece ofrecer una herramienta que posibilita una respuesta rápida. La termografía aplicada al riego de los cultivos se basa en captar y analizar la temperatura de la cubierta vegetal sobre la base de que las plantas sometidas a estrés hídrico presentan variaciones en la temperatura de sus tejidos debido a su regulación estomática. Se trata, entonces, de detectar patrones de temperatura indicativos de situaciones de déficit hídrico. En termografía se definen también índices, aunque no de manera tan prolífica como anteriormente. El más conocido es el Índice de Estrés Hídrico del Cultivo (CWSI) que arroja un valor de 0 a 1 en función del estrés del cultivo. Es una técnica relativamente reciente muy asociada al riego de precisión. En la actualidad, dado su interés, se están desarrollando en muchos cultivos las bases para establecer los límites de los índices de estrés.

CONCLUSIONES



La digitalización nos ofrece una oportunidad inestimable para la mejora de la eficiencia en el uso del agua de riego de nuestros cultivos. La utilización de las diferentes herramientas digitales disponibles para la evaluación del continuo suelo-planta-atmósfera permite un muy buen ajuste de las cantidades de agua a aplicar, y alcanzar con ello las cotas de sostenibilidad que actualmente se exige a la agricultura de regadío.

>Autores del artículo:

Eloy Cámara Campos, Jorge Oliva Menoyo, Eduardo Badal Marín y Luis Bonet Pérez de León

Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA), Servicio de Tecnología del Riego. riegosivia@gva.es