

Optimización del riego en cultivos extensivos

La mejora del uso del agua en el regadío es especialmente necesaria en cultivos extensivos por su gran implantación, así como por su bajo margen de beneficio, que requiere la mayor eficiencia posible del riego. Con este fin, nuestro grupo ha trabajado en el manejo agronómico del riego por aspersión y en el desarrollo de autoprogramadores inteligentes de riego.

J. Cavero; E. Playán; N. Zapata

Grupo Riego, Agronomía y Medio Ambiente, Dpto. Suelo y Agua, Estación Experimental de Aula Dei (CSIC)

La mejora del uso del agua en la agricultura de regadío es una de las áreas prioritarias que se identifican en todos los debates sobre recursos hídricos y soberanía alimentaria. El uso de nuevas herramientas y tecnologías que den respuesta a esta prioridad ha estado marcando las líneas de actuación de muchas políticas y programas de investigación e innovación. En los últimos años ha habido una expansión muy importante de los sistemas de riego presurizados en zonas dedicadas a cultivos extensivos (maíz, alfalfa, cereales de invierno). Estos sistemas tienen una eficiencia potencial elevada, pero su manejo debe optimizarse para alcanzarla (más agua aprovechada por el cultivo y mayor producción por unidad de agua aplicada). Nuestro grupo lleva trabajando dos décadas en el manejo agronómico del riego por aspersión y en el desarrollo de autoprogramadores o programadores inteligentes de riego (APR), con la finalidad de contribuir a la optimización del riego.

Manejo agronómico del riego por aspersión

- Diferencias entre el riego diurno y nocturno

Los sistemas de riego por aspersión normalmente se diseñan, por razones económicas, para que operen durante las 24 horas del día en el periodo de máximas necesidades de riego de los cultivos. Debido a ello los agricultores deben regar durante el día y la noche en dicho periodo (julio y agosto). Sin embargo, es conocido que el riego por aspersión durante el día tiene algunas desventajas comparado con el riego nocturno. Así, las mayores pérdidas de agua por evaporación y arrastre (PEA) y la menor uniformidad del riego, debidas a la mayor velocidad del viento durante el día, hacen que la eficiencia del riego diurno sea menor en comparación al riego nocturno (**Tabla 1**).

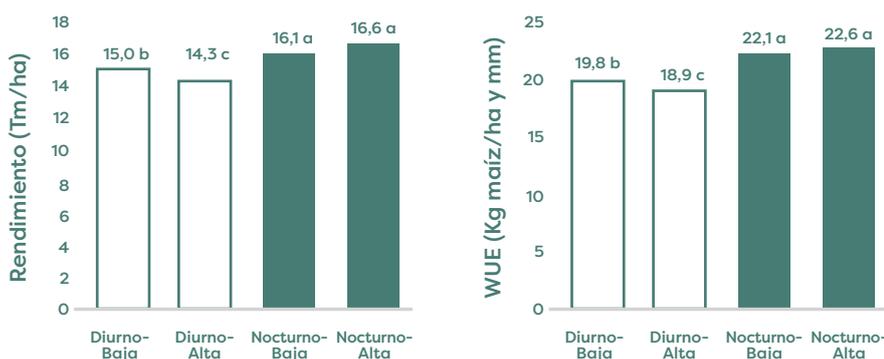
Los trabajos realizados en nuestro grupo a lo largo de los últimos años han permitido determinar que el momento en



Tabla 1. Caracterización del riego por aspersión diurno y nocturno en los tres años del ensayo de momento de riego (diurno o nocturno) en alfalfa y maíz. PEA: pérdidas por evaporación y arrastre. CU: coeficiente de uniformidad del riego.

AÑO	VELOCIDAD VIENTO		PEA		CU MEDIA	
	DIURNO	NOCTURNO	DIURNO	NOCTURNO	DIURNO	NOCTURNO
	----- m s ⁻¹ ----		----- % ----		----- % ----	
ALFALFA						
2012	2,40	1,73	9,4	4,0	87	88
2013	2,26	1,34	11,0	1,3	87	87
2014	2,63	1,45	9,8	3,9	85	89
MAÍZ						
2015	2,62	1,44	15,0	2,8	84	87
2016	2,64	1,61	12,5	1,1	80	88
2017	2,18	1,75	9,4	2,2	83	83

Figura 1 Efecto del momento y de la frecuencia del riego por aspersión sobre el rendimiento (14% humedad) y sobre la eficiencia en el uso del agua (WUE) del maíz en tres años (2015-2017). Letras distintas indican valores estadísticamente diferentes.



el que se realiza el riego por aspersión influye de forma diferente en el rendimiento del cultivo dependiendo de la especie cultivada.

En el caso del maíz regado con un sistema de aspersión de cobertura total, si el riego se realiza durante el día la producción de grano es un 10% menor que si se riega durante la noche. A modo de ejemplo, en la **Figura 1** se muestran los resultados obtenidos durante tres años.

Asimismo, la eficiencia en el uso del agua fue menor en el maíz regado durante el día (**Figura 1**). Las razones de este descenso son: las mayores PEA, la menor uniformidad del riego, la disminución de la fotosíntesis durante el riego diurno y el gran aumento del contenido en Na⁺ de la planta de maíz con el riego diurno. Sin embargo, en ensayos realizados con alfalfa, se ha observado que la producción de forraje, su contenido en N y la

eficiencia en el uso del agua no se ven afectados por el momento del riego por aspersión (diurno o nocturno) (**Tabla 2**). Las razones de que el momento del riego por aspersión no afecte al cultivo de la alfalfa (en comparación al maíz) son las menores pérdidas de agua por evaporación y arrastre, el ligero efecto del momento del riego sobre la uniformidad del riego, el nulo efecto del riego diurno sobre la fotosíntesis de la alfalfa, y la moderada sensibilidad de la alfalfa al estrés hídrico.

En aquellas explotaciones que cultiven maíz y alfalfa, en el caso de que sea necesario regar durante el periodo diurno debido a limitaciones del sistema de riego, la alfalfa debería ser el cultivo a regar durante dicho periodo diurno. En el caso del maíz, se recomienda regar siempre de noche.

- Riego de baja o alta frecuencia

El riego por aspersión con sistemas de cobertura total permite modificar fácilmente la frecuencia del riego. En el valle del Ebro la frecuencia del riego con estos sistemas varía entre 1 y 5 días. En algunos suelos con problemas de infiltración es necesario aumentar la frecuencia del riego para que la dosis aplicada sea menor y no haya escorrentía. Sin embargo, en otros casos la frecuencia del riego es una elección del agricultor. Si bien la alta frecuencia del riego se indica como algo positivo, en el caso del riego por aspersión hay que tener en cuenta que una mayor frecuencia de riego puede implicar mayores pérdidas de agua por interceptación. Estas pérdidas se refieren al agua que queda mojando la planta al finalizar el riego por aspersión y que se pierde rápidamente. Al aumentar el número de riegos estas pérdidas

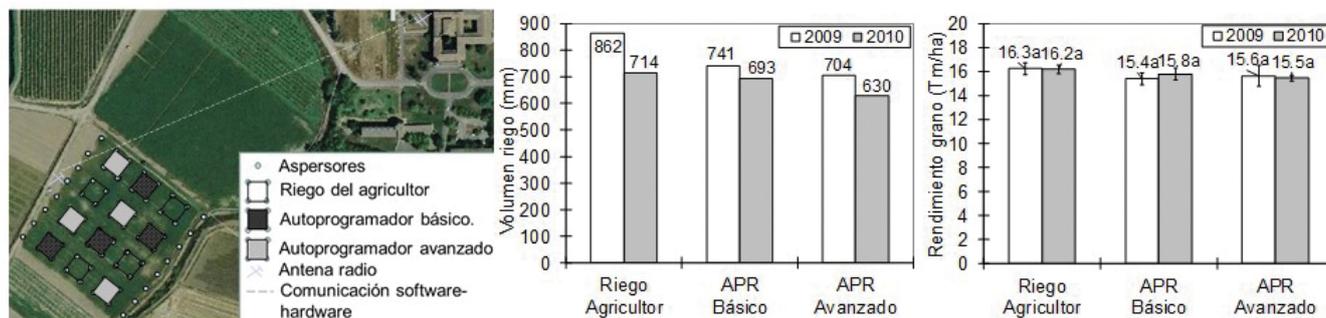
Tabla 2. Forraje de alfalfa, contenido en nitrógeno (N) del forraje, evapotranspiración (ETwb) y eficiencia en el uso del agua (WUE) según el momento de riego (diurno o nocturno) en los tres años de ensayo.

AÑO	FORRAJE ALFALFA		N EN FORRAJE		ETwb		WUE	
	DIURNO	NOCTURNO	DIURNO	NOCTURNO	DIURNO	NOCTURNO	DIURNO	NOCTURNO
	----- Tm ha ⁻¹ ----		----- % ----		----- mm ----		Kg ha ⁻¹ mm ⁻¹	
2012	16,0 a	16,0 a	3,28 a	3,21 a	878 a	867 a	17,7 a	18,6 a
2013	20,5 a	20,8 a	3,21 a	3,16 a	832 a	802 b	24,6 a	25,9 a
2014	21,6 a	22,0 a	3,38 a	3,37 a	891 a	885 a	24,3 a	24,8 a

Para cada año y variable los valores con letras diferentes son estadísticamente distintos según ANOVA con P=0,05

Figura 2

Plano aéreo de la parcela en la que se presenta el diseño experimental de los tratamientos ensayados (izquierda). Riego bruto y producción de maíz de los tres tratamientos en las campañas 2009 y 2010 (derecha)



pueden aumentar. En el caso del maíz, los trabajos realizados indican que las pérdidas por interceptación pueden ser desde 0,1 mm a 2,7 mm en cada riego. Por otra parte, al aumentar los riegos también se puede modificar la entrada de iones a las hojas de las plantas, que, además, depende de la mojabilidad de las hojas.

Los trabajos realizados por nuestro grupo sobre maíz han determinado que el riego de alta frecuencia (diario) disminuyó el rendimiento del maíz en un 5% en comparación al riego de baja frecuencia (dos riegos por semana) cuando el riego fue diurno pero no cuando fue nocturno (Figura 1). El hecho de que la frecuencia del riego por aspersión no afecte al rendimiento del maíz cuando el riego se realiza durante la noche y que, sin embargo, sí afecte cuando el riego se realiza durante el periodo diurno es probablemente debido a varias razones. En primer lugar, las PEA son mayores en el riego diurno por lo que cualquier pérdida adicional, como las pérdidas por interceptación que ocurren tras finalizar el evento de riego, serían más negativas para la planta. En segundo lugar, las pérdidas por interceptación son mayores durante el día. En tercer lugar, el riego por aspersión durante el día duplica el contenido en Na⁺ de la planta en comparación al riego nocturno y el aumento en el contenido de Na⁺ debido al aumento de la frecuencia del riego podría tener un efecto más que aditivo.

El riego por aspersión con sistemas de cobertura total debe realizarse durante la noche para obtener el máximo rendimiento y eficiencia en el uso del agua

del maíz. Si el riego se realiza durante el periodo diurno, hay que evitar la alta frecuencia del riego para evitar la disminución del rendimiento y de la eficiencia en el uso del agua del maíz. Actualmente estamos estudiando el efecto de la frecuencia del riego por aspersión sobre el cultivo de alfalfa.

Desarrollo de autoprogramadores (APR) en el grupo RAMA

En la producción de cultivos extensivos los márgenes económicos son cada vez más ajustados, por lo que es necesario cultivar más superficie para mantener el nivel de ingresos. Los sistemas de riego modernos facilitan la tarea del riego, pero es necesario dedicarles tiempo y conocimientos para poder explotar todas sus capacidades. Para ello, es preciso realizar calendarios de riego en los que los aportes de agua se ajusten a las necesidades del cultivo. Además, hay que tener en cuenta que el riego debe de aplicarse bajo condiciones meteorológicas adecuadas (sobre todo el riego por aspersión), durante las horas de bajo coste energético y considerando el diseño del riego en parcela. Si además formamos parte de una red colectiva, tenemos que pensar también en la optimización hidráulica y energética de la red.

Los APR han ido evolucionando de la mano de la tecnología, incorporando nuevas capacidades o afinando las existentes para dar respuesta a los retos de los regadíos. Los más simples se basan en la estimación de las necesidades hí-

dricas de los cultivos (NHC) mediante el método FAO basado en el cálculo de la ET₀ y los coeficientes de cultivo. Esta metodología ha tenido una importante repercusión en el sector del regadío a escala regional, como lo demuestra los proyectos CIMIS (DWR-UCDavis) y Red SIAR (MMRM-CCAA). Las estimaciones de las NHC se han complementado en los últimos años con numerosas aplicaciones derivadas de sensores remotos (satélites y drones) o sensores locales (suelo y planta). La aplicación de la teledetección a la caracterización de las NHC se ha desarrollado de forma muy rápida, pasando de aplicarse a la planificación y gestión de los recursos hídricos en áreas extensas a la programación del riego de parcelas. También el uso de sensores locales ha dado lugar a un importante número de trabajos, permitiendo ajustar la dosis y el momento del riego en cultivos leñosos y en cultivos protegidos. En los últimos diez años la disponibilidad en internet de datos meteorológicos o de NHC derivados de todos estos proyectos ha permitido un desarrollo importante de los APR. A pesar de todos estos avances, el desarrollo comercial de autoprogramadores sólo ha tenido éxito en el riego urbano. Nuestro grupo ha trabajado en la combinación de modelos de estimación de las NHC con modelos que simulan la variabilidad del agua aplicada en riego por aspersión, permitiendo adaptar la programación de riego a las condiciones meteorológicas en tiempo real y a los condicionantes del sistema de riego en parcela. Estos trabajos dieron lugar a un prototipo de autoprogramador de

riego en parcela (ADOR-Parcela) que incorpora esta información para programar (*software*) y ejecutar (*hardware*) los riegos de forma automática. La prueba en campo de este prototipo se realizó durante dos años sobre un cultivo de maíz regado por aspersión en una parcela dónde se compararon tres tratamientos de programación, uno manual y dos automáticos (**Figura 2, izquierda**). El tratamiento manual representa el riego de un agricultor experto que sigue las recomendaciones de los servicios de asesoramiento. De los dos tratamientos automáticos, el básico decide regar cuando se sobrepasa un nivel mínimo de humedad del suelo, mientras que el avanzado decide el riego en base al estado hídrico del cultivo y a la calidad de riego. Los resultados indicaron que las programaciones automáticas (básica y avanzada) ensayadas necesitan menos tiempo de dedicación y conocimientos de la actividad del riego. Además, obtuvieron la misma producción de maíz con

Los sistemas de riego modernos facilitan la tarea del riego, pero es necesario dedicarles tiempo y conocimientos para poder explotar todas sus capacidades

menos agua de riego (9%-15%) comparadas con la programación manual de un agricultor experto (**Figura 2, derecha**).

Un nivel superior de complejidad de los APR es pasar de la escala de parcela a la de red colectiva (ADOR-Zona regable). Las zonas modernizadas comparten infraestructuras de riego que deben de gestionarse de forma centralizada para

optimizar el uso de las mismas, y a su vez, el consumo de agua y energía. Por lo tanto, en una red de riego colectiva la decisión de regar una parcela debe de atender a las necesidades locales de la parcela y a las de las infraestructuras compartidas.

El modelo original ADOR-Zona Regable se desarrolló para zonas de cultivos extensivos regados por aspersión

KWS
Mejoramos genética
para tu campo.

KWS INTELIGENS

NUEVO

- Híbrido con excelente relación de ciclo y rendimiento.
- Estabilidad y potencial de rendimiento.
- Excelente comportamiento de caña.

KONFITES

- Estabilidad de rendimiento.
- Planta equilibrada y rústica.
- Gran fortaleza de tallo y resistencia a la caída.



www.kws.es

SEMBRANDO
EL FUTURO
DESDE 1856



en cobertura total. El modelo ha ido evolucionando, incorporando nuevas capacidades para poder responder a la realidad de los regadíos modernizados: añadiendo el riego por goteo y las máquinas automotrices, incorporando nuevos cultivos y dobles cultivos, incorporando la simulación hidráulica de la red colectiva mediante el programa EPANET, e incorporando en los algoritmos de decisión parámetros económicos que permiten orientar los riegos en base a estos indicadores. El nuevo modelo ADOR-Zona Regable (**Figura 3**) tiene muchas potencialidades. Hasta la fecha se ha utilizado para analizar el efecto de diferentes escenarios (meteorológicos, de patrón de cultivos, de precios de cosecha, de diseño de infraestructuras parcelarias y de red, así como de manejo del riego) en la productividad de una zona regable.

La **Figura 4** presenta el análisis del efecto que el diseño de la red colectiva de una zona regable tiene en los resultados de la calidad del riego y en la productividad de la zona. El tipo de suelo, el sistema de riego en parcela y el cultivo condicionan los resultados de calidad del riego y la productividad final de la zona. El diseño hidráulico de la red impone limitaciones a la gestión del riego en algunas parcelas, como lo demuestran sus bajas eficiencias de riego. Estas parcelas con problemas de calidad del riego combinan suelos con características hidráulicas limitantes, cultivadas de maíz o alfalfa y regadas por cobertura total de aspersión. La consideración del tipo de suelo en el diseño de las redes de riego colectivas y parcelarias puede reducir estos problemas.

La colaboración con la consultora de ingeniería Cingral S.A. en la mejora del modelo ha permitido acercar la herramienta al sector y promover su uso para optimizar el diseño de zonas regables. Otro objetivo en el que seguimos trabajando es posibilitar la interacción del software ADOR-Zona Regable con los sistemas de telecontrol y telemetría que se instalan en la mayoría de las modernizaciones, de forma que las programaciones de riego que realizar el software a tiempo real se ejecuten a través del telecontrol. Este paso requiere adaptar el lenguaje del

Figura 3
Esquema del APR ADOR-Zona Regable

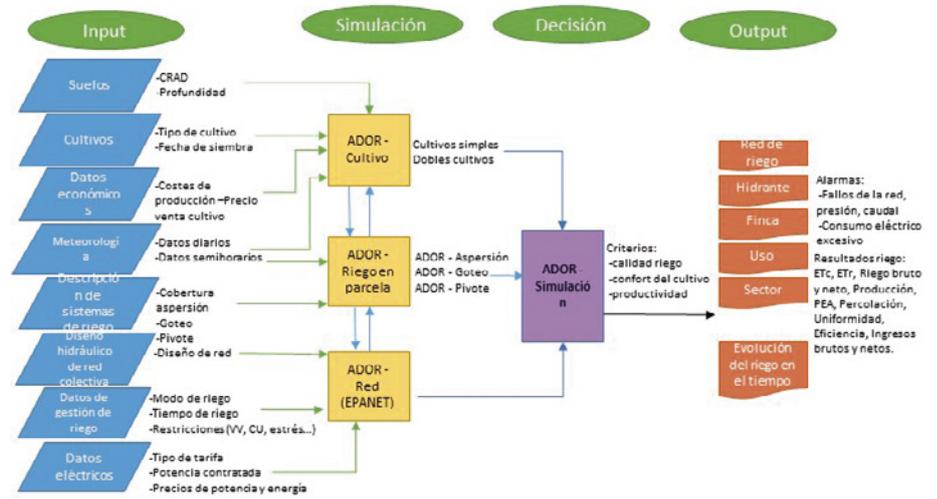
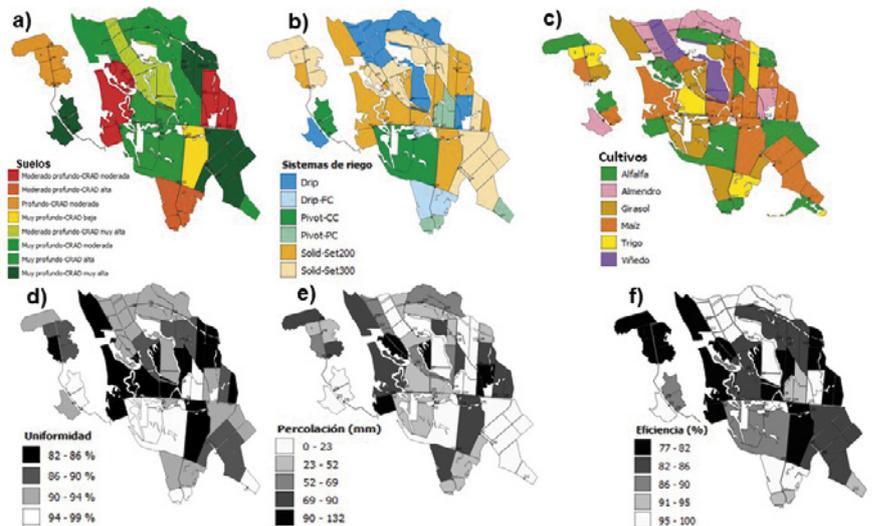


Figura 4
Mapas de las características hidráulicas del suelo (Fig. 3a), el tipo de riego en parcela (Fig. 3b), el cultivo (Fig. 3c), la uniformidad de riego (Fig. 3d), percolación profunda (Fig. 3e) y la eficiencia de riego (Fig. 3f) de una zona regable.



software al protocolo de comunicación que utilizan los sistemas de telecontrol, que de momento es muy diverso. ADOR-Zona Regable pretende ser un estándar en el diseño y manejo óptimo de zonas regables, contribuyendo de forma importante a la sostenibilidad económica, social y medioambiental de las mismas. La estandarización de los protocolos

de comunicación de los sistemas de telemetría y telecontrol de riego abrirá las puertas para el desarrollo comercial de autoprogramadores de zona regable.

Bibliografía

Queda a disposición del lector interesado en el correo electrónico: redaccion@editorialagricola.com