

AUTOPROGRAMADORES DE RIEGO: MENOS AGUA Y TRABAJO, MISMO RENDIMIENTO

Zapata N.¹, López C.¹, Raquel A.², Raquel S.¹, Jesús V.¹, Caverro J.¹, Lecina S.¹ y Playán E.¹.

Grupo Riego Agronomía y Medio Ambiente de Aragón. EEAD-CSIC y CITA-DGA.

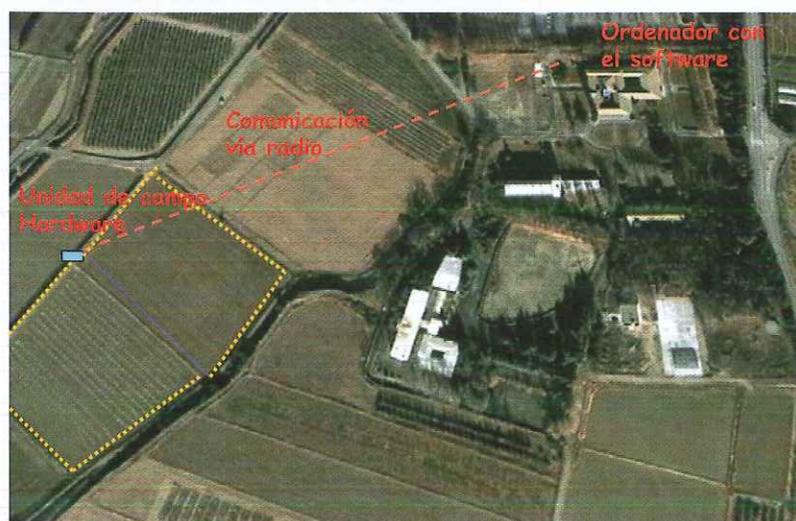
² Técnico del parque Científico Tecnológico de Aula Dei.

INTRODUCCIÓN

La agricultura española ha evolucionado muy rápidamente en los últimos 20 años. La maquinaria agrícola actual ha incorporado rápidamente las nuevas tecnologías, como tractores con GPS o cosechadoras que permiten hacer mapas de cosecha. La mejora de las variedades cultivadas también ha contribuido a esta revolución silenciosa, aportando resistencia a plagas y enfermedades o incrementando el potencial de producción. Asimismo, en el área del regadío hemos asistido a cambios muy importantes: hemos pasado de regar a pie a dar órdenes al programador de nuestra finca. Si nuestra comunidad de regantes tiene uno de los modernos sistemas de telecontrol, se pueden realizar las operaciones de riego de forma remota, desde un ordenador de la comunidad de regantes. A pesar de ello, todavía es importante la intervención del agricultor en las tareas de programación de riego: qué parcela queremos regar, cuándo la queremos regar, cuánto tiempo la queremos regar y si la hemos regado de verdad. El tiempo que los regantes dedican a estas actividades todavía es importante.

Los márgenes económicos de nuestros cultivos son cada vez más ajustados, por lo que será necesario cultivar más tierra 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 utilidades. Las elevadas inversiones realizadas

Figura 1. Vista aérea de la parcela de ensayos y la unidad remota.



en estos sistemas de riego deben de permitir optimizar la actividad del riego, reduciendo los costes de aplicación del agua. Para ello es preciso realizar calendarios de riego en los que los aportes de agua se ajusten a las necesidades del cultivo. Además, es preciso tener en cuenta que el riego debe de aplicarse bajo condiciones meteorológicas adecuadas y durante las horas de bajo coste energético. Si además formamos parte de una red colectiva, tenemos que pensar también en la optimización hidráulica y energética de la red. Estas consideraciones, más acentuadas en la situación actual de escasez de recursos (agua y energía) y de elevadas inversiones, son indispensables para maximizar la productividad de nuestras zonas regables.

Con el objetivo de facilitar la tarea de programar los riegos y reducir el tiempo dedicado a estas actividades en sistemas de aspersión en cobertura total, se ha diseñado un autoprogramador de riego en parcela. El autoprogamador incluye un software que tiene por objetivos últimos optimizar la producción y el uso del agua, gestionar el riego de los diferentes sectores que conforman la red hidráulica de la parcela, gestionar los hidran- >>>

tes compartidos y acomodar las restricciones derivadas de cupos de agua y costes energéticos.

EL AUTOPROGRAMADOR DE RIEGO

El autoprogramador de riego es un resultado de los más de 20 años que el grupo de Riego Agronomía y Medio Ambiente (RAMA) integrado por investigadores de la Estación Experimental de Aula-Dei (CSIC) y del CITA de Aragón ha dedicado a investigar el riego por aspersión en cobertura total. Los trabajos científicos de Dechmi y col., 2004a y 2004b; Playán y col., 2005, 2006, 2007; Zapata y col., 2007, 2009, han sido entre otros, los precursores de este desarrollo.

El autoprogramador está compuesto por dos partes principales:

El software. Es un programa informático que elabora los calendarios de riego de forma dinámica, en función de la meteorología, del desarrollo del cultivo, de la disponibilidad de agua en el suelo y del estado de la red de riego.

El hardware. Es el equipo de campo que recibe las órdenes de riego del software y las ejecuta.

Además, está compuesto por una serie de sensores locales, hidráulicos (lectura de caudal, lectura de presión) y meteorológicos (velocidad y dirección del viento, humedad relativa) que informan al software cuando éste lo requiere.

El software incluye un modelo de simulación de crecimiento del cultivo y de balance hídrico en el suelo, un modelo de simulación de riego por aspersión que reproduce la variabilidad del reparto de agua de una cobertura total bajo diferentes condiciones hidráulicas y meteorológicas y un modelo de gestión de la red parcelaria, que controla desde el hidrante hasta el sector.

El calendario elaborado por el software se transmite vía radio al hardware de campo. Éste a

Figura 2. Equipo de campo. Sensores meteorológicos y técnicos acoplados al automata.

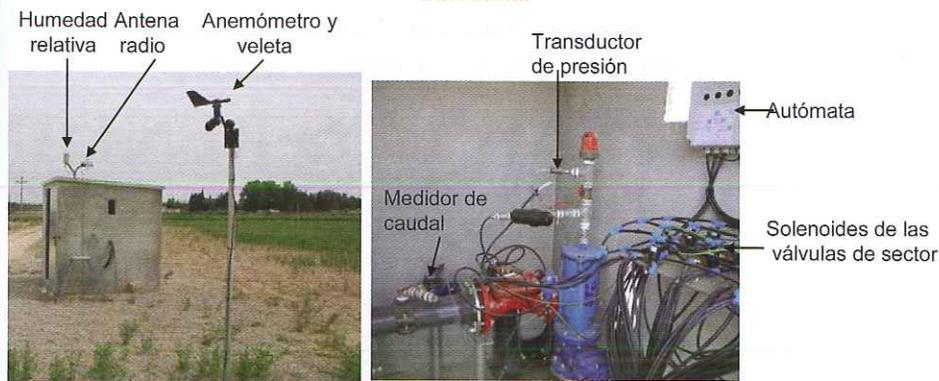
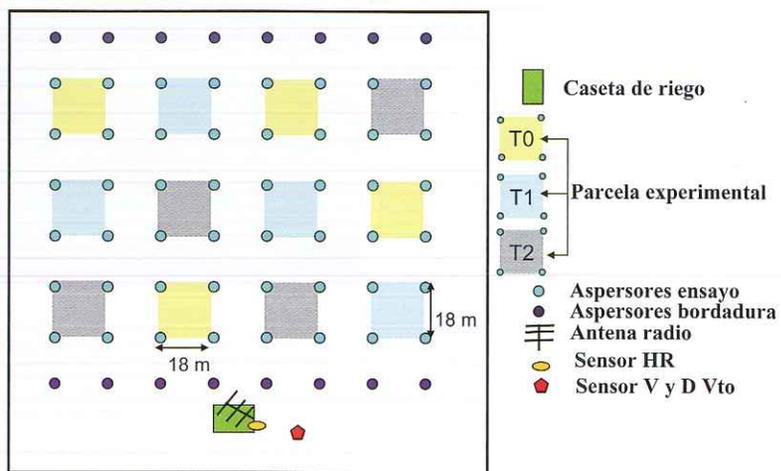


Figura 3. Esquema del diseño experimental donde se presentan el sector 0 (S0) de cada uno de los tres tratamientos de riego con sus cuatro repeticiones.



su vez transforma las señales de radio en señales eléctricas que actuando sobre solenoides que ejecutan la apertura y cierre de las válvulas hidráulicas.

Los sensores hidráulicos locales instalados en la red de riego nos han permitido supervisar que las órdenes generadas por el software fueran recibidas en el equipo de campo y que éstas se ejecutaran de forma correcta. Esta supervisión se realizó mediante unos protocolos que en caso de anomalías desencadenaban alarmas en forma de mensajes GSM al móvil o al correo electrónico. De esta forma, ante cualquier problema el agricultor (en este caso los investigadores) reciben un mensaje de texto que informa de si tal o cual válvula no ha abierto o no ha cerrado, o de si ha habido una caída de la presión en la red o un caudal de servicio fuera del rango esperado.

ENSAYOS DE CAMPO CON EL AUTOPROGRAMADOR



►►► Los avances científico-técnicos del autoprogramador de riego se han desarrollado mediante un prototipo de autoprogramador que se ha ensayado en campo. El prototipo se diseñó desde un punto de vista científico y hasta el momento no ha tenido un desarrollo empresarial/comercial.

El prototipo consta del software instalado en un ordenador remoto localizado en el centro de investigación que se comunica vía radio con el hardware de campo. La Figura 1 muestra una foto aérea con la localización del ordenador remoto y la parcela de ensayos. La Figura 2 presenta el equipo de campo, que consta de una antena de radio situada en el tejado de la caseta, sensores locales meteorológicos (humedad relativa, velocidad y dirección del viento) e hidráulicos (medida de caudal y de presión a la salida y entrada al hidrante, respectivamente). Todos estos sensores locales, así como las señales vía radio, se traducen en un autómata de bajo nivel (caja blanca en la Fig. 2) en señales eléctricas de apertura y cierre de válvulas y en órdenes de lectura de los sensores.

Durante el ensayo de campo, el autoprogramador de riego gestionó el riego de tres parcelas de seis sectores cada una (sólo se disponía de 5 días

Figura 4. Foto de la parcela experimental durante un riego aplicado al maíz.



a la semana para regar), durante dos campañas de riego de un cultivo de maíz. Cada parcela se regó con programaciones de riego diferentes, lo que llamaremos tratamientos de riego. A continuación se describen los tres tratamientos ensayados:

Tratamiento 0 (T0). Corresponde a una programación de riego manual en el que un buen agricultor consulta las necesidades de riego de los cultivos y semanalmente programa su riego.

Tratamiento 1 (T1). Autoprogramación estándar. Programación realizada y ejecutada por el software sin intervención del agricultor. Se establece una cantidad mínima de agua en el suelo que cuando disminuye se levanta la bandera del riego. El riego se ejecuta o no en función de las características ambientales del momento.

Tratamiento 2 (T2). Autoprogramación avanzada. Se establecen unos parámetros mínimos de calidad a superar en cuanto a calidad del riego y de la producción del cultivo. ►►►



Tel. 935 443 040
www.itc.es

Dosificación de fertilizantes en pivots, coberturas y goteos

- Mayor producción de los cultivos
- Mayor rendimiento de los abonos
- Ahorro en costes de explotación
- Control de la fertilización



►►► La parcela de campo solo incluyó uno de los sectores de cada uno de los tratamientos de riego ensayados, que llamaremos sector 0 (S0). Es decir, aunque el autoprogramador simula y gestiona el tiempo de riego de los seis sectores de cada una de las tres parcelas, realmente, en campo, sólo estaba representado el sector S0 de cada tratamiento, mientras que los otros cinco eran sectores virtuales. La señal vía radio de apertura y cierre de válvulas sólo se producía cuando correspondía regar el S0 de alguno de los tratamientos. En campo, el sector S0 de cada tratamiento estaba repetido cuatro veces (cuatro parcelas experimentales cada una de una superficie correspondiente a un marco de aspersión de 18x18 m) que se distribuyeron al azar.

La Figura 3 presenta la distribución de los tres tratamientos de riego con cuatro repeticiones, un total de 12 parcelas experimentales. La parcela estaba equipada con una cobertura fija de aspersión en un marco rectangular de 18 x 18 m, con aspersores de giro completo y de doble boquilla (4,4 mm y 2,4 mm) colocados a una altura de 2,3 m sobre el terreno. Las características técnicas del sistema y la disposición de los aspersores arrojaron una precipitación bruta de 5,29 mm h⁻¹.

El maíz variedad Pioneer PR34N43 (ciclo FAO 600) se sembró el 21 de abril de 2009 y el 20 de abril de 2010. Se aplicaron los tratamientos fitosanitarios pertinentes, iguales para los tres tratamientos a lo largo de las dos campañas de riego. Los fertilizantes se aplicaron mediante dos

Tabla 1. Resumen de las condiciones meteorológicas medias de los riegos aplicados al cultivo de maíz a lo largo de las dos campañas de riego (2009 y 2010) para cada uno de los tratamientos ensayados (T0, T1 y T2), así como la calidad media de los mismos expresadas en términos de Coeficiente de Uniformidad (CU,%), Eficiencia de aplicación del riego (EA, %) y Eficiencia en el uso del agua (kg m⁻³).

Campaña riego	Trat.	Vvto* s ⁻¹	(m)	HR* (%)	CU (%)	EA (%)	Efic Uso Agua (kg m ⁻³)
2009	T0	1,1 (64)		60 (37)	84	76	1,9
	T1	0,9 (56)		62 (31)	84	81	2,1
	T2	1,0 (40)		61 (30)	84	85	2,2
2010	T0	1,4 (86)		68 (32)	84	81	2,3
	T1	1,2 (58)		67 (30)	85	87	2,3
	T2	1,3 (62)		67 (30)	84	86	2,5

Coefficiente de variación en porcentaje entre paréntesis.

Figura 5. Fotos del proceso de cosecha mecánica del maíz: Vista general de la cosecha (5a), cosechando una subparcela experimental (5b) y pesando el grano cosechado de cada subparcela en un remolque pesador (5c).



fertirriegos en los estadios de seis (V6) y doce (V12) hojas.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO

En la campaña 2009, desde la siembra hasta su recolección el 20 de octubre, se aplicaron 163, 140 y 133 horas de riego a los tratamientos T0, T1 y T2, respectivamente. Durante esta campaña la evapotranspiración del cultivo ascendió a 695 mm y la lluvia fue de 69 mm. En la campaña 2010, desde la siembra hasta la cosecha el 18 de octubre, la evapotranspiración del cultivo ascendió a 698 mm y la pluviometría fue de 135 mm. ►►►

►►► Durante esta campaña se aplicaron 135, 131 y 119 horas de riego a los tratamientos T0, T1 y T2, respectivamente.

La meteorología de las campañas de riego fue muy diferente. Mientras que la campaña de riego 2009 resultó ser poco ventosa (velocidad media del viento de 2 m s^{-1}), la campaña 2010 fue representativa de una campaña de riego media (velocidad del viento media de $2,4 \text{ m s}^{-1}$). La campaña 2009 fue muy seca, y la 2010 se caracterizó por presentar una precipitación cercana a una campaña media. También la temperatura máxima superó a la media en $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ en la campaña 2009, siendo la de 2010 similar a la de la campaña media.

La Tabla 1 presenta las condiciones meteorológicas medias en las que se desarrollaron los riegos en cada tratamiento y campaña de riego, así como la calidad media de dichos riegos. En general, las condiciones meteorológicas medias de los riegos fueron muy similares entre tratamientos. Sin embargo, los tratamientos completamente automáticos T1 y T2 regaron en condiciones de viento ligeramente mejores y con menor variabilidad que el tratamiento manual (T0) en ambas campañas de riego (ver los valores del coeficiente de variación de la velocidad del viento en la Tabla 1). Esto indica que los tratamientos automáticos son más eficientes a la hora de buscar los momentos más adecuados para el riego, superando a una buena programación manual.

La uniformidad media de los riegos no resultó muy diferente entre tratamientos e incluso entre campañas de riego. Sin embargo, la variabilidad de este parámetro de calidad del riego fue mayor en los tratamientos manuales (CV del 8% en T0) que en los tratamientos completamente automáticos (CV aproximado del 4% en T1 y T2). La mayor variabilidad en el tratamiento manual indica que los tratamientos automáticos son más eficientes y constantes en la búsqueda de condiciones adecuadas para el riego.

La diferencia más importante entre tratamientos se encontró en la eficiencia de aplicación del riego, siendo de hasta 9 puntos porcentuales superior en el tratamiento automático más avanzado, T2, frente al T0 en la campaña 2009. En la campaña 2010, las diferencias entre programación manual y automática alcanzaron los 6 puntos porcentuales.

La Figura 5 presenta cómo se realizó la ►►►

irrifrance

www.irrifrance.com

Líderes

en riego y en su confianza



Desde su fundación, en 1967, IRRIFRANCE es el principal fabricante de material de riego en Europa y uno de los más importantes a nivel mundial.

Presente en 82 países a través de una completa red de más de 200 distribuidores, IRRIFRANCE es hoy el único fabricante que produce directamente pivots, rampas laterales, enrolladores y tuberías de aluminio y polietileno.

IRRIFRANCE se adapta a las necesidades de nuestros clientes, a las nuevas tecnologías, fomenta el ahorro de energía y un riego más ecológico.

Nuestro último avance es el nuevo i-rotor, galardonado con la medalla de oro en el último Salón SIMA 2011 de París.



distribuidor:



**RIEGOS
DEL BAÑO**

RIEGOS DEL BAÑO

Peñaranda De Bracamonte. 37300 (Salamanca)

923 542084 / 923 541671

comercial@riegosdelbano.com

www.riegosdelbano.com

►►► cosecha mecanizada en el experimento. Primero se cosecharon los pasillos que separan los diferentes tratamientos con sus repeticiones dejando individualizadas las 12 subparcelas experimentales (Figura 5a). Posteriormente se realizó la cosecha individualizada de cada una de las subparcelas experimentales (Figura 5b), que se pesó en campo en un remolque pesador (Figura 5c). Se tomó una muestra de grano para caracterizar su humedad.

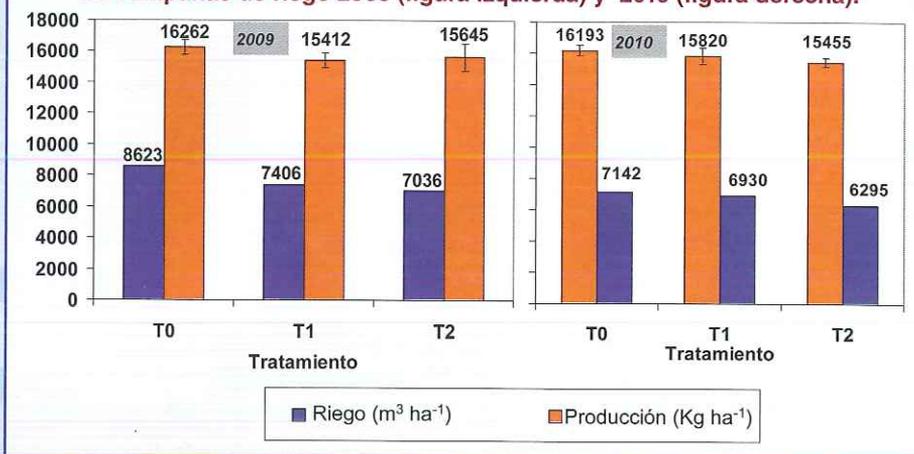
La Figura 6 presenta los volúmenes de riego aplicados en $m^3 ha^{-1}$ y la producción en grano expresada a una humedad del 14% en $kg ha^{-1}$ para cada uno de los tres tratamientos de riego. Las barras verticales de la producción en grano representan la variabilidad de la producción, correspondiente a las cuatro repeticiones de cada tratamiento. En la campaña de riego 2009 el tratamiento T1 aplicó un 14% menos de agua que el T0, y el T2 aplicó hasta un 18% menos que el T0. En la campaña de riego 2010 los volúmenes de riego medios fueron inferiores y el tratamiento automático T1 aplicó un 3% menos de agua que el tratamiento manual y el T2 un 12% menos que el manual. En cuanto a las producciones, no hubo diferencias significativas en la producción en grano al 14% de humedad entre tratamientos en ninguno de los dos años. Con los tratamientos de riego automáticos se consiguió reducir el volumen de agua aplicado al cultivo desde un 9% (con un tratamiento automático sencillo, T1) hasta un 15% (automático avanzado, T2) frente al que aplica un buen agricultor sin que la diferencia en la producción resultara estadísticamente significativa.

CONCLUSIONES

1ª.- El prototipo de programador automático ha funcionado de forma autónoma durante los dos años de prueba en campo y ha reducido a la mínima expresión el tiempo y los conocimientos que el agricultor debe dedicar a la tarea de programar y ejecutar el riego.

2ª.- Las programaciones automáticas (T1 y T2) ensayadas con el autoprogramador permitieron

Figura 6. Volumen de riego ($m^3 ha^{-1}$) y producción en grano al 14% de humedad ($kg ha^{-1}$) en cada una de las programaciones de riego (T0, T1 y T2) en las campañas de riego 2009 (figura izquerda) y 2010 (figura derecha).



obtener la misma producción de maíz con menos agua de riego.

3ª.- La programación automática sencilla, T1, consiguió reducir en torno a un 9% el agua de riego (y de todos los gastos derivados de su aplicación) respecto a la que se aplica con una buena programación manual, sin que la producción se viera resentida.

4ª.- La programación automática avanzada, T2, consiguió reducir hasta un 15% el agua de riego aplicada, sin diferencias estadísticas en la producción.

BIBLIOGRAFÍA

Dechmi, F., E. Playán, Cavero, J., Martínez-Cob, A., Faci, J. M. (2004a). "Coupled crop and solid set sprinkler simulation model. I: Model development." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE* 130(6): 499-510.

Dechmi, F., E. Playán, Cavero, J., Martínez-Cob, A., Faci, J. M (2004b). "Coupled crop and solid set sprinkler simulation model. II: Model application." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE* 130(6): 511-519.

Playán, E., R. Salvador, Faci, J. M., Zapata, N., Martínez-Cob, A., Sanchez, I. (2005). "Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals." *Agricultural Water Management* 76(3): 139-159.

Playán, E., N. Zapata, Faci, J. M., Tolosa, D., Lacueva, J. L., Pelegrín, J., Salvador, R., Sánchez, I., Lafita, A. (2006). "Assessing sprinkler irrigation uniformity using a ballistic simulation model." *Agricultural Water Management* 84(1-2): 89-100.

Playán, E., J. Cavero, Mantero, I., Salvador, R., Lecina, S., Faci, J. M., Andrés, J., Salvador, V., Cardena, G., Ramon, S., Lacueva, J. L., Tejero, M., Ferri, J., Martínez-Cob, A. (2007). "A database program for enhancing irrigation district management in the Ebro Valley (Spain)." *Agricultural Water Management* 87(2): 209-216.

Zapata, N., E. Playán, et al. (2007). "From on-farm solid-set sprinkler irrigation design to collective irrigation network design in windy areas." *Agricultural Water Management* 87(2): 187-199.

Zapata, N., E. Playán, et al. (2009). "Simulation of a Collective Solid-Set Sprinkler Irrigation Controller for Optimum Water Productivity." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE* 135(1): 13-24.