

EFFECTO DEL RIEGO POR ASPERSIÓN A BAJA PRESIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ EN PARCELAS COMERCIALES.

Francisco Montoya¹, Cesar Romano¹, Néstor Moré², Jorge Gallinat², Rosendo Castillo², Javier Gomez³, Felipe Ruiz³ y Nery Zapata¹

1. Departamento de Suelo y Agua. Estación Experimental Aula Dei (CSIC). Av. Montañana 1005, 50059 Zaragoza. v.zapata@csic.es

2. CINGRAL. Consultora de Ingeniería Rural. C/ Santa Cruz, 8 bajo. 50003 Zaragoza.

3. Comunidad de Regantes de Almodévar. Plaza España, 2, 22270 Almodévar, Huesca

RESUMEN

El coste eléctrico de los riegos presurizados representa una parte importante de los costes de producción. Optimizar la eficiencia del uso de la energía eléctrica en el regadío mejorará el margen neto de las explotaciones. Una medida para lograrlo es reducir la presión de trabajo en el aspersor de 3 kg/cm² (300 kPa, presión convencional) a 2 kg/cm² (200 kPa, baja presión).

Los resultados de ensayos experimentales realizados en la Estación Experimental de Aula-Dei, con dos tratamientos de presión en aspersor (3 kg/cm² y 2 kg/cm²) a lo largo de tres ciclos de cultivo de maíz, indicaron que no había diferencias significativas en la producción entre los tratamientos analizados. Estos resultados alentaron a la Comunidad de Regantes de Almodévar (CRA) a transferir esta tecnología entre sus comuneros. Para ello, la CRA dispuso dos parcelas comerciales en las que se analizaron tres tratamientos de riego, que incluyen dos presiones de trabajo en boquilla de aspersor (3 y 2 kg/cm²), y en el caso del tratamiento de baja presión, dos tipos de aspersores, el convencional y otro con placa deflectora en la pala. En cada tratamiento de riego se evaluó la calidad del riego (uniformidad y pérdidas por evaporación y arrastre) mediante mallas pluviométricas hasta que el cultivo alcanzó 1 m de altura. También se realizó un seguimiento de la fenología y crecimiento del cultivo. Por último se analizó el rendimiento del cultivo de los tres tratamientos mediante cosecha manual y cosecha mecánica. Las láminas de riego aplicadas se ajustaron a las necesidades del cultivo y fueron similares en los tres tratamientos de riego. Las evaluaciones realizadas mostraron que el aspersor convencional a baja presión obtenía un 10% menos de coeficiente de uniformidad respecto del aspersor convencional a 3 kg/cm² y del aspersor con placa deflectora a 2 kg/cm². Sin embargo, las pérdidas por evaporación y arrastre fueron entre un 5% y 10% mayores en estos dos últimos tratamientos frente al primero. El rendimiento final de maíz grano resultó ligeramente inferior en el tratamiento de presión estándar frente a los de baja presión. Esta diferencia se debe a que el ciclo del cultivo de maíz fue menor en la parcela de presión estándar que en la parcela de baja presión. No obstante, los rendimientos obtenidos en las parcelas de baja presión (para ambos tipos

de aspersor) fueron similares a los logrados en los ensayos experimentales realizados en la Estación Experimental de Aula Dei. Los tratamientos de baja presión en aspersor han dado lugar a rendimientos de maíz competitivos que no han resultado diferentes de los encontrados con la presión convencional. Esta práctica de riego por aspersión a 2 kg/cm² en boquilla reduce las necesidades de presión de la CRA en aproximadamente 1/3 de las necesidades originales.

1. INTRODUCCIÓN

Desde 2008, la entrada en vigor de los nuevos modelos de tarificación eléctrica en la agricultura de regadío despertó la necesidad de optimizar los períodos de contratación eléctrica así como mejorar la eficiencia energética de las instalaciones de riego a presión (estaciones de bombeo, red de riegos y riego en parcela). Diversos trabajos de investigación se han desarrollado con el objetivo de servir de ayuda en la toma de decisiones tanto en la fase de diseño como en el manejo de instalaciones de riego (Díaz et al., 2009; Moreno et al., 2010).

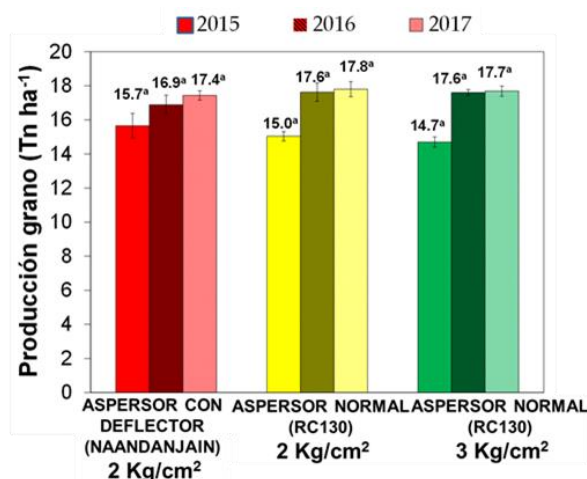


Figura 1. Producción en grano de tres tratamientos de riego y tres campañas de cultivo (2015, 2016 y 2017).

que se garantice igual pluviometría que en el diseño original.

Robles y col. (2017) y Zapata y col. (2018) estudiaron las implicaciones que tenía la reducción de presión de trabajo en los aspersores de 3 kg/cm² a 2 kg/cm² sobre la calidad del riego y el rendimiento de un cultivo de maíz durante tres campañas experimentales (2015 a 2017) en el valle del Ebro. Para ello, se establecieron tres tratamientos de riego que incluye las dos presiones de trabajo, y en los tratamientos de baja presión dos modelos comerciales de aspersores (aspersor convencional de impacto, RC130; y aspersor con placa deflectora, NaanDanJain 5035). Los tratamientos fueron RC130-3 (con boquillas 4,4+2,4), RC130-2 (con boquillas 5,2+2,4), y Naan-2 (con boquillas 5,2+2,4). El esquema de distribución de tratamientos así como la metodología seguida se detalla en Robles y col. (2017). Estos autores observaron que, la reducción de la presión en boquilla reduce la uniformidad de riego medida sobre la cubierta vegetal (mallas pluviométricas). Sin embargo, la reducción de la presión en boquilla

tiene un efecto muy pequeño en la uniformidad del agua de riego que llega a la planta, debido a que la arquitectura foliar del maíz participa en la distribución del agua de riego, mejorando la uniformidad en los tratamientos de baja presión. Por ello, el rendimiento del cultivo no mostró diferencias entre tratamientos de presión y tipo de aspersor durante tres campañas experimentales de cultivo de maíz (Figura 1).

Con los resultados tan prometedores y el interés de las comunidades de regantes por economizar la factura eléctrica de los riegos, se planteó transferir esta metodología en una Comunidad de Regantes de Aragón. Para ello se seleccionó una CCRR con telecontrol y con disponibilidad de datos sobre momento y volumen de riego aplicado, la Comunidad de Regantes de Almudévar.

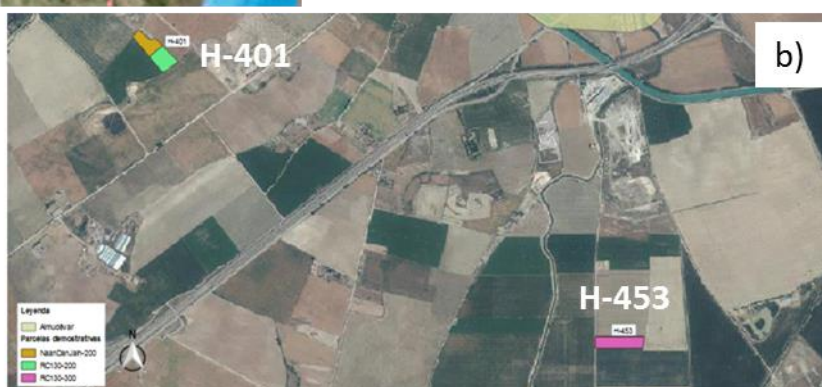
2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área demostrativa

La Comunidad de Regantes de Almudévar (CRA) está situada en la provincia de



a)



b)

Figura 2. Localización de la zona de estudio en Aragón (a). Localización de las parcelas de demostración (b)

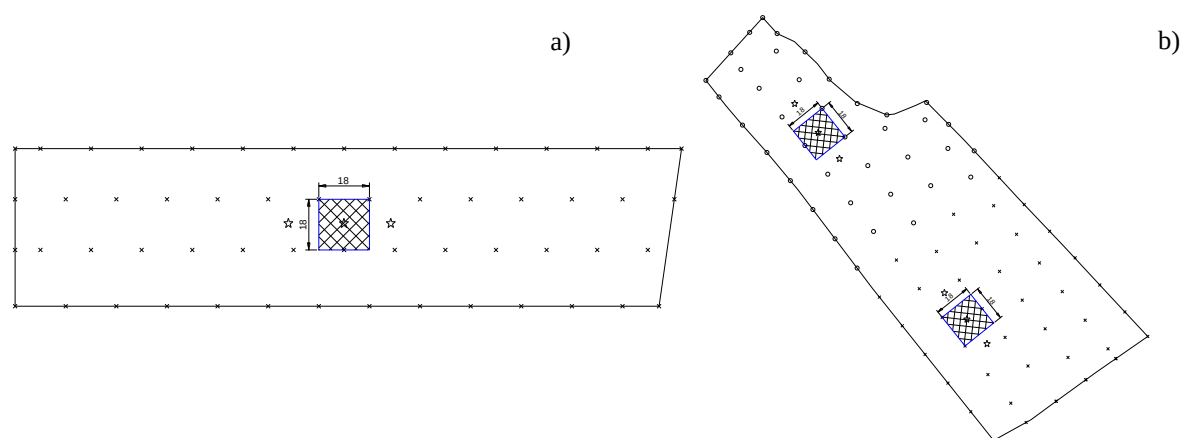
Huesca en la zona regable de Riegos del Alto Aragón (Fig. 2a). La superficie total en riego es de aproximadamente 3700 ha, formada por cinco redes de riego independientes que suministran el agua a 4,5 kg/cm² en hidrante. La superficie media de las parcelas en riego es de 2,0 ha y el sistema de riego predominante es el de aspersión en cobertura total enterrada. El riego se centraliza desde

la oficina de la comunidad de regantes mediante un sistema de telecontrol que llega hasta las válvulas hidráulicas de los sectores de riego de cada parcela. El agricultor comunica a la CRA la programación de riego semanal, siguiendo las recomendaciones

de la oficina del regante de la región (Oficina del Regante de Aragón) y en la oficina se realiza la programación personalizada de cada parcela. El sistema de telecontrol permite disponer de los volúmenes de riego servidos en cada uno de los riegos. El cultivo mayoritario en la zona es el maíz, que ocupó más del 60% de la superficie total de la CRA en 2017.

2.2 Tratamientos realizados

Para llevar a cabo la experiencia demostrativa se seleccionaron dos parcelas comerciales, una se riega con el hidrante H-401 y su superficie es de 1,71 ha y la otra se riega con el hidrante H-453 y tiene una superficie de 1,30 ha (Fig. 2b). En la parcela H-401, constituida por dos sectores de riego, se realizó la experiencia a baja presión (2 kg/cm^2), mientras que en H-453 se realizó el tratamiento con presión convencional (3 kg/cm^2). Así, los aspersores que se dispusieron en cada parcela (Fig. 3) fueron VYR35 (tamaños de boquilla de $5,16 \text{ mm} + 2,4 \text{ mm}$) y NaanDanJain 5035 (boquillas de $5,16 \text{ mm} + 2,4 \text{ mm}$) para la parcela H-401, y VYR35 (boquillas de $4,4 \text{ mm} + 2,4 \text{ mm}$) en H-453 (VYR35-3). Estos aspersores se instalaron en todas las tuberías porta-aspersor excepto en los sectoriales, donde se mantuvo el aspersor original. La distribución de tratamientos de presión en la parcela H-401 se muestra en la Figura 3b, donde aproximadamente $0,81 \text{ ha}$ se equiparon con el aspersor NaanDanJain 5035 (Naan-2) y $0,90 \text{ ha}$ con el aspersor VYR35 (VYR35-2).



x: aspersor VYR35; O: aspersor NaanDanJain 5035; cotas en metros; el área sombreada se corresponde con la superficie utilizada para la evaluación del sistema de riego; estrellas: puntos de muestreo para la cosecha manual.

Figura 3. Disposición de aspersores en las parcelas demostrativas con presión convencional (H-453, a) y baja presión (H-401, b), junto con áreas de evaluación del sistema de riego y de cosecha manual.

Las condiciones de presión de trabajo objetivo en cada tratamiento se controlaron mediante la regulación de presión en el hidrante de cada parcela, $3,8 \text{ kg/cm}^2$ en H-453; y $2,5 \text{ kg/cm}^2$ en H-401, lo que aseguraba una presión en boquilla de aproximadamente 3 kg/cm y 2 kg/cm^2 , respectivamente. Para medir la presión de trabajo en aspersor se instaló un transductor de presión (Dickson, PR150) en la tubería porta-aspersor (Fig. 4a)

de uno de los aspersores de cada uno de los tres tratamientos. Los datos de presión se registraban con una periodicidad de 15 minutos.

El marco del sistema de riego en ambas parcelas fue de 18 m x 18 m, con aspersores dispuestos al tresbolillo (Figs. 3 y 4b). Debido a que los aspersores sectoriales no se modificaron (ni modelo, ni tamaño de boquilla), se decidió que la zona de evaluación del sistema de riego y de producción de maíz se localizase en una calle central (Fig. 3). El caudal medio unitario del aspersor fue de 1680 l/hora, lo que representa una pluviometría media de 5,2 mm/hora. El control de la pluviometría se realizó con la evaluación del sistema de riego de cada tratamiento en los primeros riegos aplicados al cultivo. Para ello, se dispuso una malla de 25 pluviómetros distribuidos en el marco de aspersión (Figs. 3b,c) colocados a un 1 m sobre el suelo. Las evaluaciones realizadas permitieron obtener el coeficiente de uniformidad (CU), la lámina media recibida por el cultivo y las pérdidas por evaporación y arrastre (PEA).

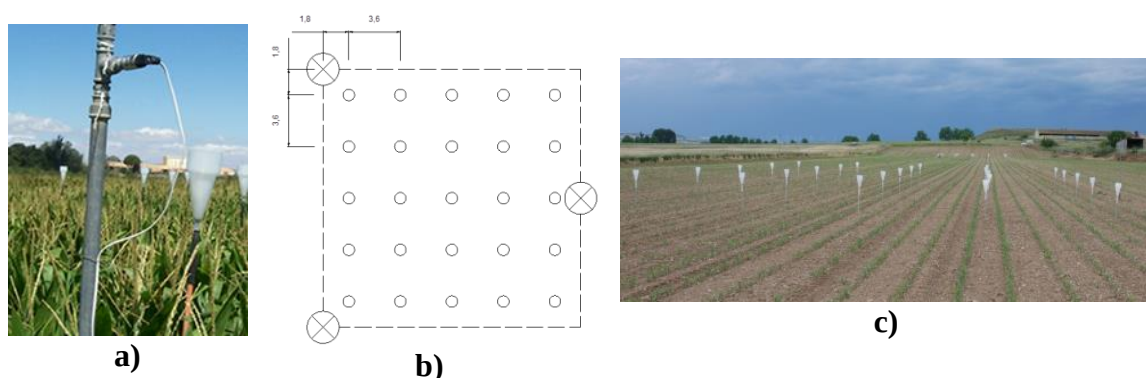


Figura 4. Transductor de presión instalado en tubería porta-aspersor (a) y disposición de pluviómetros en el marco de riego (b, c).

2.2. Manejo del cultivo y parámetros de rendimiento

Las parcelas se sembraron el 7 de abril de 2017, utilizando como material vegetal los cultivares POBOA YG (ciclo 600) y DKC6728 (ciclo 700) en las parcelas H-453 y H-401, respectivamente. Aunque lo deseado hubiera sido utilizar el mismo cultivar en ambas parcelas, esto no fue posible. La densidad de planta promedio establecida en ambas parcelas fue de 78000 plantas/ha.

Antes de la siembra y tras la maduración fisiológica del cultivo, se muestreó el suelo de las dos parcelas (dos zonas aleatorias hasta 1,20 m de profundidad) para determinar los contenidos de nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O), así como la humedad del suelo (Tabla 1), antes y después del cultivo. El manejo fitosanitario y de la fertilidad del cultivo se realizó conforme a la práctica habitual de los agricultores. El fertilizante aplicado en ambas parcelas se recoge en la Tabla 1. Las prácticas de fertilización fueron diferentes en las dos parcelas (diferente manejo de los agricultores), pero se intentó que las unidades fertilizantes de cada tratamiento fueron similares.

Tabla 1. *Parámetros analizados en las parcelas demostrativas.*

Parámetro	H-453. VYR35-3	H-401	
		VYR35-2	Naan-2
Humedad del suelo (0-1,20 m)			
θv inicial (%) (0-1,20 m)	22,4	22,5	25,1
θv final (%) (0-1,20 m)	23,9	20,6	27,5
Fertilidad del suelo (0-1,20 m)			
Fertilidad inicial (21/03/2017)	- N (kg/ha): 258,3 - P ₂ O ₅ (ppm): 50,3 - K ₂ O (ppm): 1734,0	- N (kg/ha): 231,0 - P ₂ O ₅ (ppm): 50,9 - K ₂ O (ppm):1975,0	- N (kg/ha): 140,4 - P ₂ O ₅ (ppm): 68,1 - K ₂ O (ppm): 2078,0
Fertilidad final (29/09/2017)	- N (kg/ha): 219,3 - P ₂ O ₅ (ppm): 53,3 - K ₂ O (ppm): 1484,0	- N (kg/ha): 142,0 - P ₂ O ₅ (ppm): 65,1 - K ₂ O (ppm):1805,7	- N (kg/ha): 122,9 - P ₂ O ₅ (ppm): 78,8 - K ₂ O (ppm): 2003,0
Programa de fertilización			
Finales de marzo (presiembra)	- 600 kg/ha complejo NPK (10-26-26) - 120 m ³ /ha de purín porcino	- 860 kg/ha de NPK (10-26-26)	
Cobertera (V12; 29/06/2017)	- 100 kg/ha N (N32)	- 150 kg/ha N (N32)	

θ_v : humedad volumétrica (%);

El manejo del riego se realizó mediante el cálculo de la evapotranspiración del cultivo a partir de la evapotranspiración de referencia (obtenida de la estación de Tardienta de la red SIAR localizada a 9700 m de distancia) y de los coeficientes de cultivo para el maíz propuestos por Martínez-Cob (2008). Las necesidades de riego se obtuvieron a través de un balance de agua en el suelo considerando el 75% de la lluvia como efectiva y el 90% de eficiencia de riego. De esta forma se garantizó el 100% de los requerimientos hídricos del cultivo. Entre la siembra y la emergencia se llevaron a cabo riegos diarios de entre media hora y una hora de duración para favorecer la emergencia. Tras esa etapa, el intervalo entre riegos fue de entre 2 y 4 días garantizando las necesidades del cultivo. El agua total aplicada al cultivo fue ajustada de acuerdo al tiempo de riego y el registro de presión de cada riego.

Una vez alcanzada la madurez fisiológica del grano se procedió a cosechar de forma manual una superficie de 4,5 m² en cada tratamiento para determinar la biomasa total, el rendimiento, el índice de cosecha, el peso de 1000 granos y el peso específico. Las zonas de cosecha manual se localizan en los pasillos centrales de las parcelas, en las que se aseguran las condiciones del ensayo (Fig. 3). Asimismo, los tratamientos se cosecharon mecánicamente una vez alcanzada la madurez comercial del grano (<20% de humedad) el 4 de noviembre. La cosecha mecánica se realizó el 9 de noviembre con una cosechadora comercial que proporciona la variabilidad espacial de la cosecha.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Ciclo del cultivo

La evapotranspiración del cultivo de referencia (912,5 mm) y la precipitación total (168,5 mm) registrada en la estación de Tardienta durante el ciclo del cultivo resultaron similares a una campaña media de cultivo en la zona (Oficina del Regante, 2017).

Tabla 2. Duración media del ciclo del maíz en ambas parcelas demostrativas.

Etapas fenológicas	Fecha	Días desde la siembra
Siembra	7/04	0
Emergencia	18/05	41
V12 (12 hojas)	29/06	83
Floración	13/07	97
Madurez fisiológica	11/09	157

Si bien las variedades sembradas en ambas parcelas son de ciclo distinto, las etapas fenológicas más significativas se alcanzaron de forma homogénea ($\pm 3-4$ días de diferencia; Tabla 2). Así, la emergencia del 90% de las plantas ocurrió al mismo tiempo en ambas parcelas, el 18 de mayo.

3.2. Necesidades hídricas y calidad del riego

Las necesidades hídricas acumuladas del cultivo fueron de 766 l/m². Estas necesidades considerando la eficiencia de riego del 90%, se cubrieron con la lluvia efectiva (126 l/m²) y un total de 64 riegos (140 horas de riego) en la parcela de presión convencional (H-453) y de 58 y 57 riegos (126 y 135 horas de riego, respectivamente) en el tratamiento Naan-2 y VYR35-2, respectivamente (Tabla 3). Para favorecer la emergencia, los agricultores aplicaron alrededor de 110 l/m² en H-453 y 60 l/m² en H-401 (Tabla 3). Esta diferencia en los primeros riegos aplicados (necesarios para favorecer la emergencia) entre las parcelas, es la causante de los distintos tiempos de riego de los tratamientos. Tras la emergencia, la mayoría de los riegos fueron nocturnos. El 50% del tiempo total de riego se realizó bajo condiciones de viento bajo (< 2 m/s), el 34% del tiempo con viento medio (velocidades entre 2 y 4 m/s) y el 16% en condiciones de viento alto (> 4 m/s).

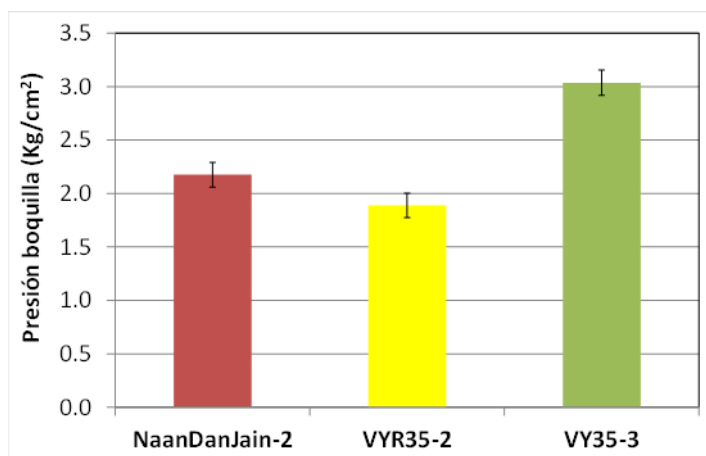


Figura 5. Presión media registrada en los transductores de presión de cada tratamiento y su variabilidad estacional.

Los tiempos de riego se ajustaron a las presiones de trabajo medidas en los aspersores con el transductor. Así, aunque la presión fue estable a lo largo de la campaña de riego los valores del tratamiento Naan-2 fue un 8% superior a la teórica y la del tratamiento VYR35-2 un 6% inferior (Fig. 5). EL tratamiento VYR35-3 presentó una diferencia de

presión de 1% por encima del objetivo. Dado que la regulación de la presión en la parcela se realizó en la válvula general, en la parcela H401 con dos tratamientos de baja presión, el diferente número de aspersores de cada sector, Naan-2 y VYR35, hizo que las presiones difiriesen de la presión objetivo.

El volumen total de riego aplicado al cultivo fue entre 4,5% y 1,2% superior a los requerimientos hídricos en los tratamientos de baja presión (Naan-2 y VYR35-2, respectivamente) y de un 11% en el tratamiento presión convencional. Esto se debe a las dificultades de emergencia que presentó el cultivo en la parcela H453 (VYR35-3), que requirió más riegos de emergencia que la otra parcela. Analizando los datos de requerimientos hídricos y riegos aplicados sin tener en cuenta los riegos de preemergencia (Tabla 3), se puede observar que el agua recibida (lámina aplicada + precipitación efectiva) se ajustó adecuadamente a las necesidades del cultivo (entre un 1,1% y un 1,7%).

Tabla 3. Necesidades de riego del cultivo en el ciclo total del maíz y desde la emergencia.

Tratam.	Ciclo total					Desde emergencia				
	ETc (mm)	Pe (mm)	Nº rg.	Tiempo rg. (h)	Lámina aplicada (mm)	ETc (mm)	Pe (mm)	Nº rg.	Tiempo rg. (h)	Lámina aplicada (mm)
VYR35-3			64	140	722			41	117	604
Naan-2	766	126	58	126	676	708	113	45	113	607
VYR35-2			57	135	649			44	123	587

En las evaluaciones de riego realizadas en un total de 6 riegos, el tratamiento VYR35-2 obtuvo alrededor de 10% menos uniformidad (CUC) que los tratamientos VYR35-3 y Naan-2 (Tabla 4). En cambio, las pérdidas por evaporación y arrastre (PEA) fueron entre un 5% y un 10% mayores en los tratamientos VYR35-3 y Naan-2 (respectivamente), comparadas con las del VYR35-2. Las razones de esto se deben a que el aspersor convencional a baja presión (VYR35-2) genera gotas de agua mayores que cuando trabaja a 3 kg/cm² (VYR35-3). La placa deflectora situada en la pala del aspersor NaanDanJain, provoca la rotura de gotas en tamaños más pequeños (Zapata y col., 2018), lo que hace que el tratamiento Naan-2 presente tamaños de gota más pequeños que el tratamiento de baja presión con aspersor convencional.

Tabla 4. Parámetros de calidad del riego obtenido en las evaluaciones de riego.

Tratam.	Nº	Pluv. recg. (mm/h)	Pluv. apli. (mm/h)	CUC (%)	PEA (%)	T ^a (°C)	V.v (m/s)
VYR35-3		4,7	5,2	82	11		
Naan-2	6	4,4	5,3	80	15	17,7	1,6
VYR35-2		4,6	4,8	71	6		

Nº: número de evaluaciones; Pluv. recg.: pluviometría media recogida; Pluv. apli.: pluviometría media aplicada; CUC: coeficiente de uniformidad de Christiansen; PEA: pérdidas por evaporación y arrastre; T^a: temperatura media durante el riego; V.v: velocidad del viento medio durante el riego.

3.3. Respuesta productiva del maíz

El rendimiento y el peso de 1000 granos obtenidos mediante la cosecha manual en los tres tratamientos indican que el tratamiento de presión estándar fue comparativamente inferior al de baja presión (Tabla 5). En cambio, el peso específico y el índice de cosecha fueron superiores. Los resultados de la cosecha mecánica que se presentan en la Tabla 5, se refieren a las zonas centrales de cada uno de los tratamientos de riego, sin incluir las zonas de bordes, alrededor de 0,3 ha para cada uno de ellos. Estos resultados son un poco inferiores a los de la cosecha manual, pero las comparaciones entre tratamientos son similares. Hay que tener en cuenta que en la cosecha manual sólo se recoge una pequeña superficie (4,5 m²) que puede no ser representativa de la zona de estudio. Mientras que en la cosecha mecánica se ha tenido en cuenta una mayor superficie.

Tabla 5. Valores de rendimiento y sus componentes obtenidos en la cosecha manual del maíz para cada tratamiento.

Trat.	Cosecha manual				Cosecha mecánica zonas central	
	Y (Tn/ha)	HI	P. 1000 g (g)	P.esp. (kg/hl)	Y (Tn/ha)	Humedad (%)
VYR35-3	14,55	54,7	311,9	69,7	14,09	18,74
Naan-2	16,15	56,2	326,1	68,8	15,30	18,27
VYR35-2	17,50	49,0	341,9	65,9	16,63	18,61

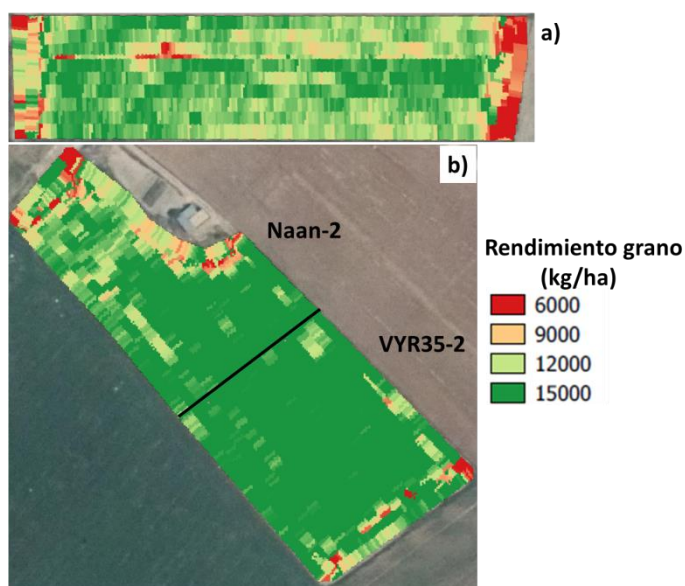


Figura 6. Rendimiento en grano con cosechadora mecánica con registro de rendimiento localizado

La diferencia de 2,4 y 3,0 Tn/ha de rendimiento en la cosecha manual y de 1,2 y 2,5 Tn/ha de rendimiento en la cosecha mecánica entre el tratamiento de presión convencional y los de baja presión se debe a que los cultivares son de ciclos distintos. Si bien este aspecto hace que los resultados de rendimiento no puedan compararse entre tratamientos de presión de trabajo, sí que se puede concluir que los tratamientos de baja presión obtuvieron unos rendimientos

elevados y comparables a los rendimientos de ese mismo cultivar en otras parcelas

comerciales con presión estándar, o a los obtenidos por Zapata et al., (2017), que también utilizaron un cultivar de ciclo 700. También se puede concluir que las producciones de los tratamientos de baja presión estuvieron en sintonía con otras campañas de cultivo, ya que la zona del tratamiento Naan-2 presenta cierta pendiente y suelos más someros que justifican estas diferencias en producción, tal y como nos confirmó el agricultor propietario de la parcela.

La Figura 6 presenta los resultados obtenidos con la cosechadora con registro localizado de peso en grano al 14%. En la Figura 6 se aprecia las deficiencias del cultivo en las zonas de borde de la parcela, debido a que los aspersores sectoriales no se cambiaron y la pluviometría que resulta de solaparlos con los aspersores de los ensayos superaba a la de las zonas centrales. En otras zonas, como en la parte final de la parcela del tratamiento VYR35-3 (H-453, Fig 6a), también hubo problemas de taponamiento y/o mal funcionamiento de alguno de los aspersores sectoriales, que se detectaron demasiado tarde. En cuanto a la parcela H-4011 (Fig. 6b), la primera parte del sector Naan-2 presenta mayor variabilidad de la producción en grano que la que se observa en el sector del tratamiento VYR35-2, debido a que la primera es una zona con pendiente, suelos someros y peor diseño de las zonas de borde (mayor pluviometría), lo que dificultó el manejo de las láminas de riego aplicadas. Para centrar el tema hay que fijarse en las franjas centrales de las parcelas, que son las que siguieron los tratamientos y dosis de riego tal y como se diseñaron. Tomando estas áreas centrales los resultados de la cosecha mecánica se parecen a los de la cosecha manual, pues se aprecia la diferencia de los ciclos de cultivo entre las parcelas. También se concluye que las zonas de baja presión han obtenido cosechas muy competitivas y similares a las obtenidas en la zona para el mismo ciclo regado con la presión estándar.

4. CONCLUSIONES

Las diferencias de uniformidad de riego entre el tratamiento de presión estándar y los tratamientos de baja presión (alrededor de un 10% en los seis riegos evaluados) no presentan efectos significativos sobre el rendimiento. Esto se debe a que la menor eficiencia se ve compensada, en parte, por unas menores pérdidas por evaporación y arrastre. Además, la cubierta vegetal del maíz realiza una tarea importante en la distribución del agua de riego, que mejora la uniformidad técnica de riego (la que se mide sobre la cubierta del cultivo) sobre todo en los tratamientos de baja presión.

Por tanto, se puede concluir que el uso de la baja presión en aspersor (2 kg/cm^2) en cultivos de porte alto permite mantener el nivel de rendimiento de la presión convencional (300 kPa).

La reducción de la presión de trabajo en aspersor aporta beneficios económicos claros cuando se aplica en instalaciones diseñadas para trabajar a presión estándar. Los beneficios son mayores cuando el diseño de la zona regable se realiza para que los sistemas operen a baja presión.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha financiado gracias al Plan de Desarrollo Rural del Gobierno de Aragón 2014-2020, dentro de las Acciones de Cooperación de Agentes del Sector Agrario 2016 y a la Agencia Estatal de Investigación del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) del Gobierno de España a través del proyecto AGL2013-48728-C2-1-R.

Agradecemos a la Comunidad de Regantes de Almodóvar su implicación en los trabajos de campo y especialmente a los agricultores Manuel y Juan, que nos cedieron amablemente las parcelas.

BIBLIOGRAFÍA

- Díaz, J.A.R., R.L. Luque, M.T.C. Cobo, P. Montesinos, and E.C. Poyato. 2009. Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurised irrigation networks. *Biosyst. Eng.* 104(4): 552–561.
- Martínez-Cob, A. 2008. Use of thermal units to estimate corn crop coefficients under semiarid climatic conditions. *Irrig. Sci.* 26(4): 335–345.
- Moreno, M.A., J.F. Ortega, J.I. Córcoles, A. Martínez, and J.M. Tarjuelo. 2010. Energy analysis of irrigation delivery systems: Monitoring and evaluation of proposed measures for improving energy efficiency. *Irrig. Sci.* 28(5): 445–460.
- Robles, O., E. Playán, J. Caverro, and N. Zapata. 2017. Assessing low-pressure solid-set sprinkler irrigation in maize. *Agric. Water Manag.* 191: 37–49. Available at <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.06.001>.
- Oficina del Regante de Aragón. 2017. Oficina del Regante. Available at <http://aplicaciones.aragon.es/oresa/inicio.logoutPublico.do?javascript=true>.
- Zapata, N., O. Robles, J. Caverro, and E. Playán. 2017. Análisis del riego por aspersión a baja presión en un cultivo de maíz. *Tierras Castilla y León. Agric.* 253: 68–75.
- Zapata, N., O. Robles, E. Playán, M.P. Paniagua, C. Romano, R. Salvador, and F. Montoya. 2018. Low-pressure sprinkler irrigation maize: differences in water distribution above and below the crop canopy. *Agric. Water Manag.* En revisión.