

EFFECTO DE LA CUBIERTA VEGETAL DEL MAÍZ EN LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN RIEGO POR ASPERSIÓN A BAJA PRESIÓN.

Zapata Ruiz, N., Montoya Sevilla, F., Robles Roveló, O. y Playán Jubillar, E.

¹ Grupo RAMA. Estación Experimental Aula Dei-CSIC. Av. Montañana 1005, 50059 Zaragoza, E-mail: v.zapata@csic.es, fmontoya@eead.csic.es; coctaviorobles@eead.csic.es; enrique.playan@csic.es.

Resumen.

Reducir la presión de trabajo en la boquilla del aspersor es una alternativa más para reducir los requerimientos energéticos en los sistemas de riego por aspersión. Trabajos anteriores indican que la reducción de la presión de 300 a 200 kPa en boquilla de aspersor disminuye la uniformidad de riego medida sobre la cubierta vegetal en aproximadamente un 10%, sin que el rendimiento del maíz se vea afectado. Este trabajo analiza por qué esta disminución de la uniformidad no afecta al rendimiento. Para ello se estudia la función que tiene la cubierta vegetal del maíz en la distribución del agua de riego que llega al suelo. Se realizó un ensayo experimental con tres tratamientos de riego, dos a baja presión (200 kPa), cada uno con un tipo de aspersor diferente (convencional, CIS200; y con placa deflectora en la pala, DPIS200), y un tercer tratamiento con presión estándar en boquilla (300 kPa) de un aspersor convencional (CIS300). A lo largo del ciclo del cultivo se caracterizó la calidad de cada uno de los riegos aplicados mediante una red de 25 pluviómetros instalados sobre la cubierta vegetal. En ocho de los riegos aplicados cuando el maíz estaba completamente desarrollado en altura, se midió la calidad del riego bajo la cubierta vegetal. Para ello se utilizaron en cada uno de los 25 puntos de medida de cada tratamiento dos tipos de dispositivos, uno para determinar el volumen de agua que fluye a través del tallo (stemflow) y otro, unas macetas rectangulares, para medir el volumen de agua que cae directamente al suelo o, indirectamente, a través de las hojas (throughfall). La suma del stemflow y el throughfall representa el volumen de agua que llega al suelo en cada uno de los 25 puntos de medida de cada tratamiento. Asimismo, se realizó el seguimiento del crecimiento y el rendimiento del maíz en cada uno de los tratamientos. Bajo condiciones de viento bajo y con una cubierta vegetal completamente desarrollada (situación frecuente en el riego del maíz), la uniformidad del riego medida bajo la cubierta del cultivo fue mayor que la uniformidad medida sobre la cubierta del maíz en los tratamientos de baja presión, mientras que lo opuesto se observó en el tratamiento de presión estándar. Se concluye que la cubierta vegetal del maíz reduce las diferencias entre los tratamientos de presión en la distribución del agua de riego que llega al suelo, explicando por qué no hay diferencias de rendimiento entre ellos.

1) Introducción

La reducción del coste de la factura eléctrica en los sistemas de riego a presión es un objetivo prioritario para los regantes. Trabajos relacionados con la optimización del diseño y funcionamiento de los bombeos han aportado importantes mejoras en la reducción de la factura eléctrica (Rodríguez Díaz y col., 2009; Moreno y col., 2010). Otros trabajos han profundizado en la optimización energética a escala de parcela, proponiendo una reducción en la presión de trabajo del aspersor (Robles y col., 2017),

lo que supone una reducción de las necesidades en parcela y por lo tanto en el bombeo.

La medida de la uniformidad de riego a través del coeficiente de uniformidad de Christiansen sobre el dosel vegetal del cultivo (CUC_{ac}) es un método estandarizado regulado por diferentes normas ISO.

La forma en que se redistribuye el agua en el suelo en cultivos regados por aspersión está altamente influenciada por la arquitectura del dosel vegetal. La cubierta vegetal del maíz distribuye la precipitación (lluvia o riego) en tres partes (Bui y Box, 1992): stemflow (porción de agua que es conducida por las hojas hacia el tallo y al suelo, y que se almacena en la inserción de la planta al suelo), throughfall (agua que cae al suelo de forma directa o indirecta a través de las hojas) y el agua retenida en la planta (agua adherida a la superficie de hojas y tallos de la planta que se evapora directamente después de un riego).

Previo a este trabajo, Robles y col. (2017), en dos años de ensayos experimentales, obtuvieron que en el riego por aspersión a baja presión (200 kPa) frente a presión estándar (300 kPa) no presenta diferencias significativas en el rendimiento del maíz. Sin embargo, las diferencias en el coeficiente de uniformidad de Christiansen medido sobre el dosel vegetal entre los tratamientos de presión estándar y baja presión eran relevantes (10% superior en la presión estándar).

2) Objetivos

El objetivo de este trabajo es analizar por qué la menor uniformidad de riego de la baja presión no tuvo repercusión en el rendimiento de maíz. En base a los tratamientos ensayados por Robles y col. (2017), el ensayo se repitió durante un año más con el fin de estudiar los siguientes objetivos parciales:

- Análisis de la calidad del riego en términos de uniformidad (CUC) y pérdidas por evaporación y arrastre (WDEL) por encima y por debajo del dosel vegetal. Comparación entre ambas y entre tratamientos.
- Análisis del crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz en los tratamientos ensayados.

3) Materiales y Métodos

3.1. Descripción del experimento y manejo agronómico

El ensayo se llevó a cabo en una parcela de 2,0 ha de la finca experimental de Aula Dei (Zaragoza, España), equipada con un sistema de riego por aspersión enterrado, y con un marco de aspersión de 18x18 (324 m²). El sistema de riego se componía de 14 sectores, siendo 12 de ellos (compuestos cada uno por 4 aspersores) los que constituían las parcelas experimentales, mientras que dos sectores lineales se correspondían con los bordes de la parcela (Fig. 1a). La altura de los aspersores respecto al suelo fue de 2,30 m.

Tres tratamientos, dos a baja presión (200 kPa) y uno a presión estándar (300 kPa, CIS300), con cuatro repeticiones cada uno, se distribuyeron en bloques al azar en las doce parcelas (Fig. 1a). De los dos tratamientos de baja presión, uno tenía un aspersor de impacto de latón (modelo RC-130; CIS200) y el otro un aspersor de plástico con placa deflectora en la pala (modelo NaanDanJain 5035; DPIS200). Para asegurar que los caudales de trabajo fuesen los mismos, los tratamientos de baja presión se equiparon con boquillas de mayor tamaño (5,2+2,5 mm) respecto al tratamiento de presión estándar (4,4+2,4 mm). Así, la pluviometría aplicada por el sistema fue de 5,2 mm h⁻¹. El control de la pluviometría de cada tratamiento se apoyó con la instalación de un transductor de presión con registro en continuo (Dickson, PR150, Addison, Illinois, USA) en uno de los cuatro aspersores que conforma cada repetición (Fig. 1a).

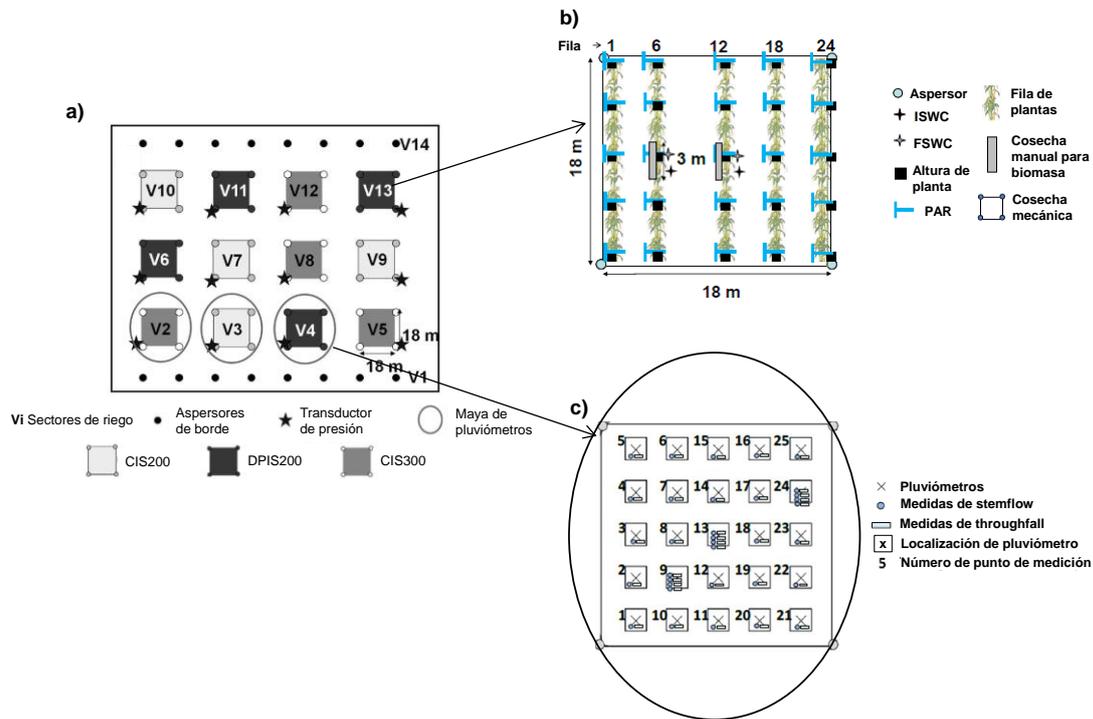


Figura 1. a) Diseño experimental de la parcela con la distribución de tratamientos. b) Puntos de medida de crecimiento (altura de planta y radiación fotosintéticamente activa, PAR) y producción de maíz, así como del contenido inicial y final de agua en el suelo (ISWC y FSWC, respectivamente) en todas las parcelas del experimento. c) Puntos de medida de la calidad del riego en una réplica de cada tratamiento.

El cultivo de maíz (cultivar Pioneer P1758) se sembró el 4 de abril con una densidad de siembra de $89.500 \text{ plantas ha}^{-1}$. La fertilización de semenera fue de 64 kg ha^{-1} de N, 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 y 120 kg ha^{-1} de K_2O , mientras que en los estados fenológicos V6 y V12 se aplicaron 100 kg ha^{-1} de N en forma de urea (32% N). El control de las plagas y enfermedades se realizó de acuerdo a las prácticas de la zona.

Las necesidades de riego del maíz se calcularon mediante un balance simplificado diario de agua en el suelo siguiendo la metodología FAO56 (Allen y col. 1998). Para ello se consideró la evapotranspiración del cultivo (ET_c), la precipitación efectiva (75% sobre la total), el agua de riego recibida por el cultivo y el agua disponible en la zona radicular. La ET_c se calculó mediante la evapotranspiración de referencia (ET_0) y los coeficientes de cultivo del maíz en la zona (Martínez-Cob, 2008). La ET_0 se obtuvo de la estación agrometeorológica de Montañana, situada a 1,2 km de la parcela experimental, perteneciente a la red SIAR (www.magrama.gob.es/siar/informacion.asp).

Los tres tratamientos se regaron a la vez con el fin de asegurar iguales condiciones meteorológicas.

3.2. Medida de la calidad del riego sobre la cubierta vegetal

La distribución de agua de riego sobre el dosel vegetal se evaluó en una repetición de cada tratamiento (V2, V3 y V4; Figs. 1a y 1c) mediante una malla de 25 pluviómetros (Fig. 1c). A medida que el cultivo se desarrollaba en altura, la red de pluviómetros se elevaba por encima del dosel vegetal, llegándose a alcanzar una altura de 2,65 m sobre el suelo al final del ciclo de cultivo.

La calidad del riego de cada tratamiento evaluado sobre la cubierta vegetal se midió mediante el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC_{ac} ; Ec. 1) (Christiansen, 1942) y las pérdidas por evaporación y arrastre ($WDEL_{ac}$; Ec. 2). La uniformidad estacional (CUC_{ac_estac}) se determinó aplicando la Ec. 1 a la lámina de riego acumulada recogida en cada pluviómetro de la malla.

$$CUC_{ac} = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |d_i - d_m|}{n \cdot d_m}\right) * 100 \quad (1)$$

donde: CUC_{ac} : coeficiente de uniformidad de Christiansen (%); d_i : precipitación recogida en el pluviómetro i (mm); d_m : precipitación media recogida en los pluviómetros; n : número total de pluviómetros.

$$WDEL_{ac} = \frac{ID_t - ID}{ID_t} * 100 \quad (2)$$

donde: $WDEL_{ac}$: pérdidas por evaporación y arrastre (%); ID_t : lámina de riego emitida por el sistema de riego (mm); ID : lámina de riego recogida por los pluviómetros (mm).

3.3. Medida de la calidad del riego por debajo de la cubierta vegetal

Las medidas de la distribución de agua debajo del dosel vegetal se realizaron en una réplica de cada tratamiento (V2, V3 y V4; Figs. 1a y 1c) cuando el cultivo alcanzó su máximo desarrollo en altura. El número de riegos evaluados fue de 8, entre el 18 de julio y el 28 de julio. Para ello se utilizaron dos dispositivos, uno de recogida de agua en el tallo de la planta (stemflow; Fig. 2a) y otro entre las filas de plantas (throughfall; Fig. 2b). El número de puntos de medida en cada réplica fue de 25, localizando estos dispositivos en las proximidades de cada pluviómetro.



Figura 2. a) *Detalle de instalación del dispositivo de medida de stemflow.* b) *Dispositivos de medida de stemflow y throughfall en una planta.*

La recogida de agua procedente de stemflow de cada planta se realizó a través de la parte superior de una botella de polipropileno invertida. La unión de este dispositivo a la planta se realizó mediante el corte en V de uno de los lados de la botella, junto con cinta americana y dos clips para reforzar la unión (Fig. 2a). El agua recogida en este dispositivo fue conducida a un contenedor de plástico a través de un pequeño tubo sellado al tapón de la botella invertida (Fig. 2a). El volumen recogido en cada punto fue convertido a lámina de agua (mm) asignando una superficie de $0,116 \text{ m}^2$ a cada planta ($0,155 \times 0,75 \text{ m}$; marco de siembra del maíz).

El agua procedente de throughfall se recogió en unas bandejas rectangulares de $0,120 \text{ m} \times 0,385 \text{ m}$ ($0,0462 \text{ m}^2$; Fig. 2b). El área de apertura de las bandejas se utilizó para transformar el volumen medido en dichas bandejas a lámina de agua (mm).

La suma de las láminas de agua procedente de stemflow y throughfall permitió determinar la uniformidad debajo del dosel vegetal (CUC_{bc}), aplicando la Ec. 1. Asimismo, se estimaron las WDEL debajo de la cubierta vegetal en cada riego evaluado como la diferencia entre la lámina de riego aplicada y la lámina de riego recogida con ambos dispositivos.

3.4. Crecimiento y rendimiento del maíz

Las variables agronómicas medidas en todas las parcelas del ensayo fueron la altura de planta y la radiación fotosintéticamente activa interceptada (PAR_{int} , %) por el cultivo. Ambas variables se midieron tras la aparición y elongación del penacho. El número de puntos medidos en cada parcela fue de 25 (Fig. 1b)

La altura de la planta se midió con una regla centimétrica durante los días 27 y 28 de junio. El cálculo de PAR_{int} se llevó a cabo con las lecturas de un ceptómetro de 1 m de largo (Sunscan, Delta-T, Cambridge, UK) colocado de forma perpendicular a la fila de las plantas, y un sensor PAR (BF3 Sunshine sensor, Delta-T, Cambridge, UK) que mide la radiación incidente.

El 25 de septiembre se llevó a cabo la cosecha manual de maíz para determinar la biomasa aérea. La superficie total cosechada en cada parcela experimental fue de 4,5 m² utilizándose dos filas separadas (filas 6 y 12), en una sección de 3,00 m de largo (Fig. 1b). Las plantas, cortadas a nivel del suelo, junto con el grano de maíz y el zuro de cada parcela y tratamiento, se secaron en estufa a 60 °C hasta peso constante para determinar la biomasa total, el rendimiento (al 14% de humedad) y el índice de cosecha (HI).

El 28 de septiembre se realizó la cosecha mecánica de cada una de las doce parcelas experimentales por separado con una cosechadora comercial. El grano cosechado en cada parcela se pesó en campo con una báscula de precisión de 1,00 kg. El rendimiento de cada parcela se ajustó al 14% de humedad, mediante la toma de muestra de grano de cada parcela experimental y su posterior medida de humedad.

3.5. Análisis de datos

Las relaciones entre la velocidad del viento y la calidad del riego (uniformidad y pérdidas por evaporación y arrastre) medido por encima y por debajo del dosel vegetal para los tres tratamientos se analizaron mediante regresión estadística.

La respuesta del cultivo (altura de planta, radiación interceptada y cosecha) a los tratamientos de riego se analizó mediante un análisis de varianza (ANOVA), test LSD de Fisher, a un nivel de significación del 95%.

4) Resultados y Discusión

4.1. Campaña de riegos

Las necesidades hídricas del maíz durante la campaña de cultivo 2017 fueron de 719 mm, la lluvia total 135 mm, los requerimientos de riego de 680 mm y la lámina de riego aplicada de 623 mm. La diferencia entre la lámina de riego requerida y la lámina de riego aplicada fue compensada por el agotamiento de agua en el suelo, el cual fue del 19% en el momento de la siembra, y del 15% al finalizar el ciclo del cultivo.

El número total de riegos aplicados fue de 45. La velocidad media de viento durante la temporada de riegos fue de 1,8 m s⁻¹. Cerca del 70% del tiempo regado se hizo con viento bajo (<2 m s⁻¹); alrededor del 24% del tiempo el viento se situó entre 2 y 4 m s⁻¹, mientras que el 6% restante del tiempo el viento fue alto (>4 m s⁻¹).

La presión de trabajo promedio registrada en los transductores de presión se encontró dentro del objetivo fijado en cada tratamiento, con diferencias de un 0,4%, 2,4% y 5,3% en DPIS200, CIS200 y CIS300, respectivamente.

4.2. Calidad del riego medido sobre el dosel vegetal

La evolución del CUC_{ac} durante el ciclo del maíz mostró una tendencia similar en todos los tratamientos de riego, pero con diferente magnitud. En general, el tratamiento de presión estándar (CIS300) presentó mayor CUC_{ac} que los tratamientos de baja presión (CIS200 y DPIS200), independientemente de la altura del pluviómetro. A medida que el cultivo crecía en altura se observó que el CUC_{ac} medido en CIS300 disminuía moderadamente. En cambio, el CUC_{ac} en los tratamientos de baja presión decreció de forma más importante, especialmente en DPIS200 (de 87,4% a 1,00 m de altura hasta 59,6% a 2,65 m; Tabla 1). El CUC_{ac} medido hasta una altura de 2,00 m fue inferior en los tratamientos de baja presión frente al de presión estándar (alrededor del 8%). Dichas diferencias se incrementaron (en cerca del 17%) al aumentar la altura del pluviómetro (Tabla 1). La uniformidad estacional (CUC_{ac_estac}) muestra que el tratamiento convencional fue un 13% superior respecto a los tratamientos de baja presión (Tabla 1). Robles y col. (2017) destacan una diferencia de CUC_{ac_estac} entre tratamientos del orden del 10%, siendo comparable a lo obtenido en este experimento.

Tabla 1. Calidad del riego medido sobre el dosel vegetal del cultivo.

Altura Pluviómetro	Número riegos	Velocidad Viento (m/s)	CUC_{ac} promedio			CUC_{ac_estac}			$WDEL_{ac}$ promedio		
			CIS300	CIS200	DPIS200	CIS200	CIS200	CIS300	CIS200	CIS200	CIS300
1	5	1	90,7	82,4	87,4	93,1	81,1	79,1	11,2	5,8	7,5
2	5	1,8	83,9	76,8	80,4				15,7	6,5	12,5
2,3	9	1,8	82,6	66	65,2				18,1	17,4	20,7
2,65	19	1,8	78,8	62,8	59,6				13,9	15,1	30,4
Total	38	1,7	81,9	68	67,3				14,8	13,4	22,9

Las $WDEL_{ac}$ medidas hasta 2,00 m de altura fueron menores (entre un 5% y 7%) en los tratamientos de baja presión comparados con el de presión estándar (Tabla 1). A mayor altura del pluviómetro se observó un cambio de tendencia, donde el tratamiento DPIS200 presentó $WDEL_{ac}$ superiores al resto de tratamientos (alrededor del 9%). Estos resultados están en línea con los obtenidos en otros trabajos (Robles y col., 2017).

4.3. Calidad del riego medido por debajo del dosel vegetal

Las láminas de agua promedio recogidas por encima y por debajo de la cubierta vegetal durante los ocho riegos evaluados se muestran en la Tabla 2. En general, las láminas medias recogidas en los pluviómetros presentaron una alta correlación con las láminas medias recogidas por debajo de la cubierta vegetal. Del total del agua medida bajo la cubierta vegetal, alrededor del 20% cae directamente al suelo (throughfall), mientras que el 80% restante es interceptado por la planta y conducido por el tallo (stemflow) hasta el suelo.

Si bien las láminas medidas sobre la cubierta y bajo la cubierta en los tratamientos de baja presión fueron muy similares, en el tratamiento CIS300 se recogió de media un 16% más de precipitación por encima de la cubierta que por debajo de la misma (Tabla 2). Las diferencias pueden ser ampliamente atribuidas al agua interceptada por el cultivo, donde el tamaño de gota debido a la mayor presión de trabajo es menor y su capacidad para quedar retenida en la superficie foliar es mayor.

De los ocho riegos evaluados, en aquellos en los que el viento fue bajo, el CUC_{bc} resultó superior al CUC_{ac} en los tratamientos de baja presión (diferencias de 9%

y 5% para CIS200 y DPIS200, respectivamente; Fig. 3a). Lo opuesto se observó en el tratamiento de presión estándar, donde sistemáticamente se encontraron diferencias del 10% entre ambas variables (Fig. 3a). En condiciones de viento alto - situación que se dio en los riegos del 25 y 26 de julio (Tabla 2; Fig. 3a) - el CUC_{ac} resultó ser ligeramente superior al CUC_{bc} (entre un 4% y un 10%) en todos los tratamientos.

Tabla 2 Láminas de riego recogidas sobre el dosel (con pluviómetros) y bajo el dosel (stemflow y throughfall) del maíz para los tres tratamientos en cada uno de los riegos evaluados. Fechas y condiciones meteorológicas de los riegos evaluados.

Fecha	Tiempo de riego	T ^a (°C)	HR (%)	Velocidad del viento (m s ⁻¹)	Pluviometría medida (mm)					
					Sobre el dosel vegetal			Bajo el dosel vegetal		
					CIS300	CIS200	DPIS200	CIS300	CIS200	DPIS200
18-Jul-17	2	19.1	88.4	0.6	9.2	7.9	7.2	0.0	0.0	0.0
19-Jul-17	2	21.9	84.1	0.6	11.3	9.8	9.0	0.0	0.0	0.0
20-Jul-17	3	18.6	80.1	1.4	13.7	11.5	10.1	0.0	0.0	0.0
21-Jul-17	3	18.3	70.9	1.3	13.8	11.6	9.9	0.0	0.0	0.0
25-Jul-17	3	19.0	57.6	5.8	10.6	9.0	8.7	0.0	0.0	0.0
26-Jul-17	3	18.0	62.7	3.7	11.9	10.4	10.0	0.0	0.0	0.0
27-Jul-17	3	19.8	68.1	1.0	13.0	11.8	12.0	0.0	0.0	0.0
28-Jul-17	3	18.8	82.7	0.5	13.6	11.6	11.5	0.0	0.0	0.0
Media	2.8	19.2	74.3	1.9	12.2	10.5	9.8	0.0	0.0	0.0

Por tanto, el dosel vegetal del maíz mejora la distribución de agua que llega al cultivo en los tratamientos de baja presión, mientras que empeora los valores de uniformidad del tratamiento de presión estándar. Las diferencias entre tratamientos de riego en el CUC_{bc} (<5%) son inferiores a las diferencias en el CUC_{ac} (>10%).

Las $WDEL_{ac}$ y las $WDEL_{bc}$ obtenidas en los tratamientos de baja presión fueron muy similares, con valores de 16% y 18,5% para CIS200 y de 31,5% y 30,5% para DPIS200, respectivamente. En cambio, en el tratamiento CIS300 se determinó una diferencia del 11,2%, mayor para las $WDEL_{bc}$ (Fig. 3b). A pesar de que el tratamiento de baja presión produce gotas más grandes que el tratamiento de presión estándar, el plato deflectante del aspersor NaanDanJain rompe el chorro de agua, contribuyendo a incrementar las $WDEL$.

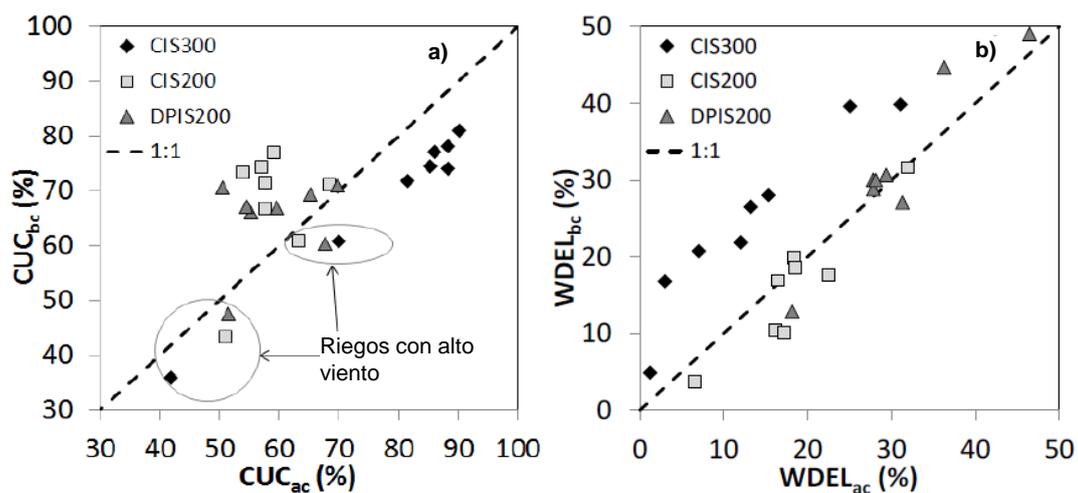


Figura 3. Comparación de la calidad del riego (uniformidad y pérdidas por evaporación y arrastre) medida por encima (ac) y por debajo (bc) de la cubierta vegetal en los tres tratamientos de riego.

4.4. Crecimiento y rendimiento del maíz

En general, ni la diferencia de presión de trabajo (300 y 200 kPa), ni el tipo de aspersor (convencional y con placa en la pala) fueron significativas en ninguna de las variables de crecimiento analizadas en el maíz, y tampoco en los parámetros de cosecha (Tabla 3). Estos resultados coinciden con los presentados por Robles y col. (2017) durante dos años de ensayo también en maíz.

Tabla 3. *Análisis de parámetros de crecimiento y rendimiento del maíz.*

Tratamiento	H (m)	PAR _{int} (%)	Y (Tm ha ⁻¹)	B (Tm ha ⁻¹)	HI
CIS300	2,39	94,72	17,69	29,57	0,52
CIS200	2,41	95,40	17,80	30,75	0,50
DIPS200	2,38	95,69	17,44	29,20	0,52
p-valor	ns	ns	ns	ns	ns
Promedio	2,39	95,22	17,64	29,84	0,51

H: Altura de la planta; PAR_{int}: radiación fotosintéticamente activa interceptada; Y: rendimiento; B: biomasa; HI: índice de cosecha; ns: no significativo; Test LSD de Fisher.

5) Conclusiones

La arquitectura foliar de cultivos de porte alto, como el maíz, tiene un papel importante en la distribución de agua del riego por aspersión. Este papel es más relevante en los tratamientos de baja presión. Las diferencias entre tratamientos de presión en la uniformidad medida sobre el dosel vegetal, se reducen cuando ésta se mide bajo el dosel. Esto explica que no existan diferencias de rendimiento entre tratamientos de presión convencional (300 kPa) y baja presión (200 kPa). Así, se puede concluir que el riego con baja presión permite reducir los requerimientos energéticos mientras se mantiene el rendimiento de maíz y el uso del agua.

6) Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por La Agencia Estatal de Investigación del gobierno de España mediante el proyecto AGL2013-48728-C2-1-R. Los autores agradecen al personal técnico y de campo del CSIC/CITA.

7) Bibliografía

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. (FAO Irrigation and Drainage Paper 56). FAO, Rome.
- Bui, E.N. & Box, J.J.E. (1992). Stemflow, rain throughfall, and erosion under canopies of maize and sorghum. Soil Sci. Soc. Am. J. 56 (1), 242–247
- Christiansen, J.E. (1942). Irrigation by sprinkling. Agric. Exp. Stn. Bull. 670. Univ. of California, Berkeley.
- Martínez-Cob, A. (2008). Use of thermal units to estimate corn crop coefficients under semiarid climatic conditions. Irrig. Sci. 26, 335–345.
- Moreno, M.A., Ortega, J.F., Córcoles, J.I., Martínez, A., Tarjuelo, J.M. (2010). Energy analysis of irrigation delivery systems: monitoring and evaluation of proposed measures for improving energy efficiency. Irrig. Sci. 28, 445–460.
- Robles, O., Playán, E., Cavero, J., and Zapata, N. (2017). Assessing low-pressure solid-set sprinkler irrigation in maize. Agric. Water Manag., 191, 37–49
- Rodríguez Díaz, J.A., López Luque, R., Carrillo Cobo, M.T., Montesinos, P., Camacho Poyato, E. (2009). Exploring energy saving scenarios for on demand pressurized irrigation networks. Biosyst. Eng. 104, 552–561