

RAZONES AGRONÓMICAS PARA EL RIEGO POR ASPERSIÓN NOCTURNO EN MAÍZ

J. Cavero¹; Y. Urrego¹; J.M. Faci²;
V. Fernández³; A. Martínez-Cob¹

¹Dept. Suelo y Agua, Estación Experimental de Aula Dei (CSIC), Avda. Montañana 1005, 50059 Zaragoza.

²Unidad de Suelos y Riegos (Unidad Asociada EEAD-CSIC), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (DGA), Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza.

³Dept. de Silvopascicultura, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid

RESUMEN

El riego por aspersión nocturno es más eficiente que el riego diurno porque las pérdidas por evaporación y arrastre (PEA) son menores y la uniformidad del riego es mayor. El agua que se evapora durante el riego por aspersión modifica el microclima en el que se desarrollan las plantas, lo que afecta a su fisiología. En trabajos anteriores se observó una reducción del rendimiento del maíz cuando se riega de día por lo que se han analizado las razones agronómicas de dicho descenso del rendimiento. Durante dos años se estudió la relevancia del momento de riego (diurno o nocturno) y de las PEA (añadiéndolas o no en el riego aplicado) en el rendimiento del maíz. En 2010 la uniformidad del riego diurno fue menor, reduciéndose el rendimiento del maíz en un 9%. Sin embargo, en 2009 la uniformidad del riego diurno fue similar al nocturno, reduciéndose el rendimiento del maíz solo un 5%. El incremento del agua de riego aplicada añadiendo las PEA aumentó la humedad del suelo pero no el rendimiento del maíz. El riego diurno disminuyó la fotosíntesis del maíz en el 80% de los días estudiados, siendo la reducción media de un 19%. Las razones agronómicas del descenso del rendimiento del maíz cuando se riega por aspersión de día en nuestras condiciones de clima y suelo son principalmente la menor uniformidad del riego y la disminución de la fotosíntesis. Si bien la uniformidad del riego puede aumentarse modificando el marco entre aspersores, la disminución de la fotosíntesis es inevitable, por lo que en la medida de lo posible se debe evitar el riego por aspersión del maíz durante el día.

Figura 1. Vista de la cámara para la medida de la fotosíntesis del maíz y de la estación meteorológica para medir el microclima en el ensayo de riego por aspersión.

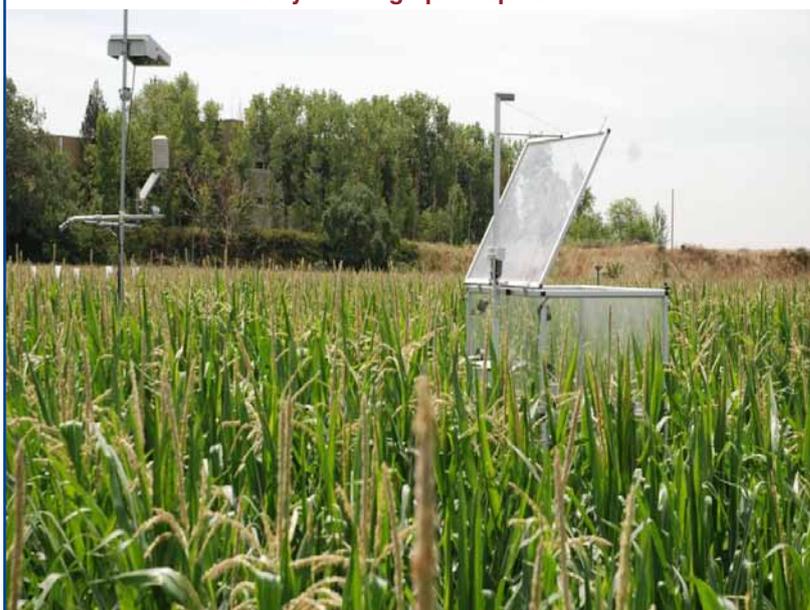


Tabla 1. Valores medios de la velocidad del viento, pérdidas por evaporación y arrastre (PEA) y coeficiente de uniformidad de Christiansen (CU) en los riegos diurnos y nocturnos.

Año	Velocidad viento		PEA		CU	
	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
	----- (m s ⁻¹) -----		----- (%) -----			
2009	2,46	1,21	21,9	3,3	83	84
2010	2,80	1,60	16,4	9,5	78	83

INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha habido una expansión muy importante en España de los sistemas de riego por aspersión en zonas dedicadas a cultivos extensivos (maíz, alfalfa, cereales de invierno). Estos sistemas permiten un riego más eficiente. Sin embargo, su diseño y manejo deben optimizarse para que efectivamente el riego sea más eficiente (más agua aprovechada por el cultivo y mayor producción por unidad de agua aplicada). Entre los aspectos de diseño y manejo que deben ser optimizados está el momento del riego (diurno o 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, debidas a la mayor velocidad del viento durante el día, hacen que la eficiencia del riego sea menor comparado con el riego nocturno.

En un trabajo anterior se observó que en un sistema de aspersión de cobertura total el maíz regado durante el día produjo un 10% menos de grano que si se regaba durante la noche (Cavero y col., 2011). Sin embargo, el diseño de dicho trabajo no permitió conocer si la causa principal de la reducción del rendimiento del maíz en el riego diurno fueron las mayores PEA (y por lo tanto la menor cantidad de agua que llega al suelo) o la menor uniformidad del riego. Si el problema son las mayores PEA, se puede resolver aplicando más agua, pero si el problema es la menor uniformidad sólo se puede resolver con un diseño de parcela que aumente la uniformidad del riego.

Por otra parte, el agua que se evapora durante el riego por aspersión modifica el microclima en el que se desarrollan las

plantas: disminuye la temperatura y aumenta la humedad relativa del aire. Estos cambios son mucho más importantes cuando el riego se produce durante el día y dan lugar a una disminución de la temperatura de las plantas, una reducción de la transpiración y un aumento del potencial hídrico de las hojas (Cavero y col., 2011). Es importante determinar si todos estos cambios durante el riego por aspersión diurno afectan a la fotosíntesis de las plantas y por lo tanto a la producción.

En este trabajo se recogen los resultados de varios ensayos realizados en maíz regado por aspersión con un sistema de cobertura total en los que se han analizado las razones agronómicas del descenso del rendimiento del maíz cuando se riega de día.

DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

Los ensayos se realizaron en 2009 y 2010 en una parcela localizada en la Estación Experimental Aula Dei (EEAD) ►►►

Tabla 2. Rendimiento, granos por m² (GNM), peso de grano (PG) y altura de las plantas de maíz según el momento de riego y el riego aplicado (NHn: necesidades hídricas netas; PEA: pérdidas por evaporación y arrastre) en los ensayos de 2009 y 2010.

Factor	Tratamiento	Rendimiento		GNM		PG		Altura	
		2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
		----- Tm ha ⁻¹ ---		----- nº m ⁻² -----		-- mg grano ⁻¹ --		----- m -----	
Momento riego	Diurno	14,3 a	15,2 b	4187 a	4105 b	292 a	318 a	2,39 a	2,40 a
	Nocturno	15,0 a*	16,5 a	4391 a*	4326 a	294 a	328 a	2,44 a	2,48 a
Riego aplicado	NHn	14,9 a	16,0 a	4272 a	4323 a	299 a	318 a	2,38 a	2,37 a
	NHn + PEA	14,5 a	15,5 a	4330 a	4065 b	287 a	328 a	2,46 a	2,50 b

La interacción de los dos factores analizados no fue significativa. Para cada factor, variable y año, los valores con letras diferentes son estadísticamente distintos según ANOVA con P=0,05.

*Diferencia significativa al nivel de P=0,10.

NUTRIFERTIL

EL ABONADO RACIONAL

Fertilizantes sólidos
Fertilizantes líquidos



En Nutrifertil estamos a disposición del agricultor para conseguir el abonado racional que se persigue en nuestros campos. Defendemos una fertilización eficiente, económicamente rentable y respetuosa con el medio ambiente.

Elaboramos todo tipo de fertilizantes compuestos, con la ventaja de podemos ajustar a las necesidades de nuestros clientes, tanto en formulaciones como en las dos presentaciones, a granel o Big Bag.

NUESTRA GARANTÍA, LAS MATERIAS PRIMAS DE PRIMERA CALIDAD

Ctra. Fuentes de Nava-Becerril de Campos 34337
Fuentes de Nava (Palencia)
Teléfono: 979 188 000 / Fax: 979 061 990
Email: nutrifertil@profopal.com



►►► en Zaragoza. El suelo es profundo (> 1,2 m) y con una capacidad máxima de retención de agua disponible para el cultivo de alrededor de 150 mm. La parcela dispone de cobertura enterrada fija cuadrada (18 m x 18 m), con aspersores de doble boquilla (4,4 mm + 2,4 mm) situados a 2,5 m sobre el suelo. Se sembró maíz (cv. Pioneer PR34N43) en abril-mayo a una densidad de 87.000 plantas/ha. Se fertilizó aplicando antes de la siembra 100 kg/ha de P_2O_5 y K_2O . Se aplicó 250 kg N/ha (50 kg/ha en fondo y el resto en dos coberteras con el agua de riego).

La parcela estaba dividida en 12 sectores independientes de riego, cada uno constituido por 4 aspersores (18 m x 18 m). Se estudió la relevancia del momento del riego (riego diurno con comienzo sobre las 12:00, o riego nocturno con comienzo sobre las 0:00) y de las pérdidas por evaporación y arrastre (añadiéndolas o no en el riego aplicado) en la producción del maíz. El diseño fue factorial con tres repeticiones. El cálculo de las necesidades hídricas netas (NHn) se realizó a partir de la evapotranspiración de referencia calculada con el método de FAO Penman-Monteith y de coeficientes de cultivo (Martínez-Cob, 2008), descontando la lluvia caída. Las NHn fueron 595 mm en 2009 y 560 mm en 2010. Se aplicaron de uno a tres riegos semanales. En cada uno de los riegos diurnos y nocturnos se recogió el agua caída en una malla de 25 pluviómetros para determinar las PEA y la uniformidad del riego. En floración se midió la altura de las plantas de maíz. El potencial mátrico del suelo se midió con sensores de matriz granular (Watermark). Los cambios microclimáticos se midieron sobre la cubierta del maíz (Figura 1). En cosecha, cada uno de los 12 sectores se recolectó con una cosechadora comercial.

Durante 10 riegos diurnos se midió la fotosíntesis neta del maíz de forma simultánea en un sector del tratamiento de riego diurno y en otro del tratamiento de riego nocturno (no regado en ese momento) (Figura 1). Las medidas se realizaron desde una hora antes de regar hasta dos horas después de terminar el riego. Se tomaron hojas de maíz de ambos sectores en distintos momentos sobre las que se analizó el ángulo de contacto de las gotas de agua sobre el haz y el envés para determinar su mojabilidad.

RESULTADOS

1º.- Relevancia del momento de riego y de las pérdidas de agua por evaporación y arrastre.

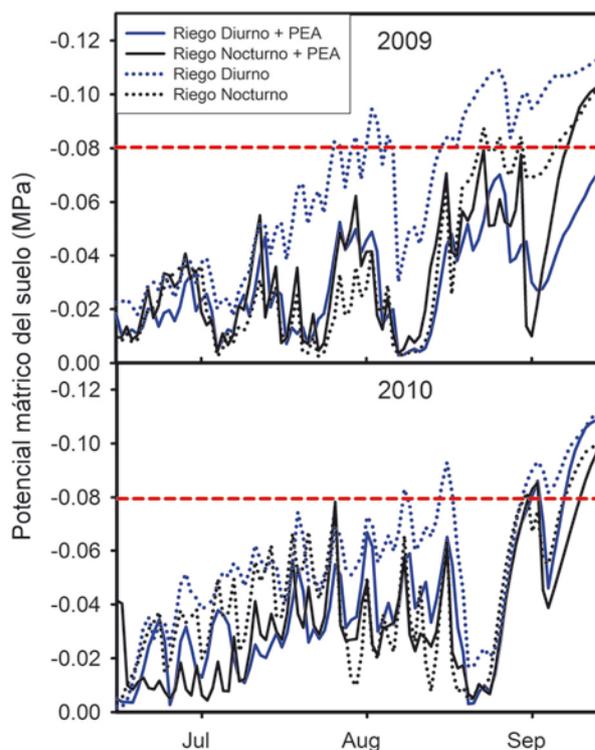
En ambos años se observó que en los riegos diurnos fueron mayores la velocidad del viento y las pérdidas de agua, pero

Tabla 3. Valores medios de la temperatura y déficit de presión de vapor (VPD) del aire medidos encima de la cubierta del maíz en los tratamientos regado (riego diurno) y no regado (riego nocturno la noche anterior) en los riegos diurnos en los que se midió la fotosíntesis. También se proporcionan los valores medios de la temperatura en el interior de las cámaras con las que se midió la fotosíntesis.

Variable	Durante riego		1 hora tras riego		2 horas tras riego	
	Regado	No regado	Regado	No regado	Regado	No regado
Temperatura aire (°C)	27,6 b	29,1 a	30,5 b	31,1 a	30,6 b	30,7 a
VPD aire (kPa)	1,75 b	2,19 a	2,78 b	2,91 a	2,90 a	2,90 a
Temperatura en interior cámara (°C)	25,9 b	29,7 a	27,8 b	29,7 a	28,2 a	28,7 a

Para cada variable y momento de medida, los valores con letras diferentes son estadísticamente distintos según un test-t pareado al nivel de $P=0,05$.

Figura 2. Potencial mátrico del suelo en los distintos tratamientos de momento de riego y dosis aplicada en los ensayos de 2009 y 2010. Los valores más negativos indican que el suelo está más seco. La línea roja es el valor umbral de potencial mátrico del suelo que puede causar estrés hídrico al maíz en las condiciones de suelo y clima del ensayo. PEA: pérdidas por evaporación y arrastre.



sólo en el año 2010 la uniformidad del riego fue menor en el riego diurno (Tabla 1). En 2010 el riego diurno disminuyó el rendimiento del maíz en un 9% y en 2009 en un 5% (Tabla 2). Sin embargo, la compensación de las pérdidas de agua por evaporación y arrastre en el riego aplicado no aumentó el rendimiento del maíz (Tabla 2) aunque aumentó la humedad del suelo (Figura 2). Se observó una reducción del número de granos por m^2 con el riego diurno, lo que fue la causa del menor rendimiento, pero ni el peso unitario de los granos ni la altura de las plantas se vieron afectados (Tabla 2). La ►►►

►►► compensación de las pérdidas de agua por evaporación y arrastre en el riego aplicado no tuvo un efecto claro sobre el número de granos por m² ni sobre el peso unitario de los granos, pero aumentó la altura de las plantas en uno de los años (Tabla 2).

2°.- Efecto del riego por aspersión diurno sobre la fotosíntesis del maíz.

El riego diurno disminuyó la temperatura del aire y el déficit de presión de vapor del aire (Tabla 3). El riego diurno disminuyó la fotosíntesis del maíz en 8 de los 10 días estudiados y no la afectó en los otros dos días. La Figura 3 muestra los datos correspondientes al día 30 de julio de 2009, donde se observa que la fotosíntesis disminuyó en el tratamiento regado durante el riego por aspersión y que tras el riego la fotosíntesis se igualó con el tratamiento no regado en ese momento pero regado la noche anterior.

Considerado el conjunto de todos los riegos analizados, el riego por aspersión diurno redujo la fotosíntesis neta del maíz en un 19% durante el riego y en un 13% durante las dos horas posteriores al riego (Figura 4).

El ángulo de contacto de las gotas de agua con la superficie de las hojas de maíz varió entre 80° en el haz y 60° en el envés. Dado que los valores son menores de 90°, las hojas

del maíz se clasifican como mojables. Debido a ello las gotas de agua de riego cubren una gran superficie de las hojas del maíz (Figura 5).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados de estos ensayos confirman los resultados de trabajos anteriores en los que se observó que el momento del riego por aspersión es relevante para la producción del maíz. El conjunto de los 4 años de experimentación (los dos años de este trabajo y los dos anteriores analizados en Cavero y col. (2011)) indica que cuando el maíz se riega de día el rendimiento disminuye entre un 5 y un 13% respecto del maíz regado de noche, con una reducción media de un 8% (1,3 Tm/ha). La reducción del rendimiento con riego diurno fue más importante el año en que la reducción de la uniformidad del riego fue mayor (2010). Esto indica que la menor uniformidad del riego diurno es un factor relevante de la reducción del rendimiento del maíz cuando se riega por aspersión durante el día.

Cuando el riego aplicado se aumentó con el agua perdida por evaporación y arrastre, aumentó el contenido en agua del suelo y la altura de las plantas, pero el rendimiento no aumentó. Esto indica que en nuestras condiciones de clima y ►►►



Remolques Expulser con o sin equipo esparcidor



Abonadoras arrastradas de 3.000 A 12.000 L

REMOLQUES ANIBAL

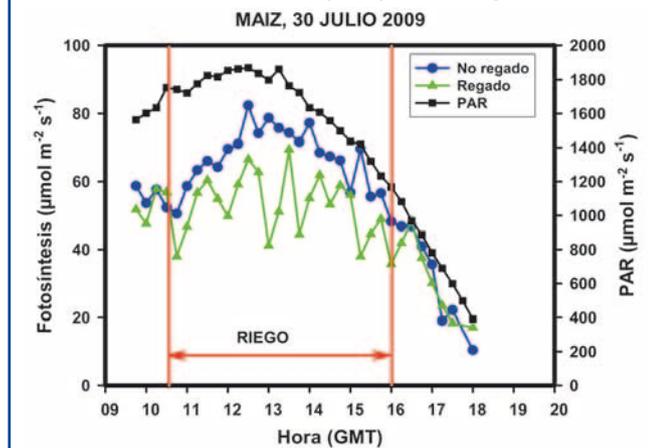


Esparcidores triden 24TN susp. Hidráulica, lanza susp. Hidr. O neumática



Modelos vulcano de 7 a 15 m3

Figura 3. Fotosíntesis del maíz en el tratamiento regado (riego diurno) y en el tratamiento no regado (riego nocturno la noche anterior) desde una hora antes hasta dos horas después del riego diurno del 30 de julio de 2009. También se muestra la radiación fotosintéticamente activa (PAR) recibida por el cultivo.



►►► suelo profundo, las pérdidas por evaporación y arrastre no son un aspecto relevante de la reducción del rendimiento del maíz cuando se riega por aspersión durante el día.

Un resultado inesperado de nuestros trabajos ha sido la reducción de la fotosíntesis del maíz observada cuando el riego por aspersión se realiza durante el día. Esta reducción está relacionada con dos cuestiones. En primer lugar, con la reducción de la temperatura del aire que provoca el riego por aspersión. Es conocido que la temperatura óptima para la fotosíntesis del maíz se sitúa entre 27 y 35 °C y que la fotosíntesis disminuye cuando la temperatura desciende por debajo de 27 °C (Duncan y Hesketh, 1968). En nuestros experimentos el riego diurno redujo la temperatura del aire por debajo de este umbral en el 80% de los riegos. El segundo factor relacionado con la reducción de la fotosíntesis del maíz durante el riego por aspersión diurno es la alta mojabilidad de las hojas del maíz. Debido a esta característica las gotas de agua de riego forman una película de agua sobre las hojas dificultando la absorción de CO₂ y consecuentemente reduciendo la fotosíntesis. Considerando que las necesidades de riego del maíz en el Valle medio del Ebro durante los meses de julio-agosto, con sistemas de cobertura total de una pluviometría de alrededor de 5 mm/h, son del orden de 12 horas semanales, la disminución de la fotosíntesis observada podría ser responsable de una reducción del rendimiento de un 4%. En otros sistemas de riego por aspersión (pívots), otros climas más calurosos y otras especies cultivadas, el efecto del riego por aspersión sobre la fotosíntesis podría ser diferente, por lo que deberá ser objeto de estudio.

Las razones agronómicas del descenso del rendimiento del maíz cuando se riega por aspersión de día en nuestras condiciones de clima y suelo son principalmente la menor uniformidad del riego y la disminución de la fotosíntesis. Si bien la uniformidad del riego puede aumentarse modificando

Figura 4. Valores medios de la fotosíntesis del maíz en el tratamiento regado durante el día (riego diurno) y en el tratamiento no regado (riego nocturno la noche anterior) una hora antes, durante, una hora y dos horas después del riego diurno.

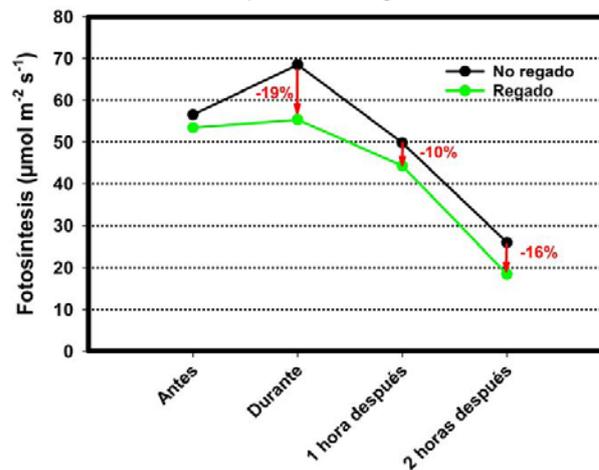


Figura 5. Hoja de maíz mojada durante el riego por aspersión.



el marco entre aspersores, la disminución de la fotosíntesis es inevitable, por lo que en la medida de lo posible se debe evitar el riego del maíz durante el día.

AGRADECIMIENTOS

Al personal de apoyo del CITA (M. Izquierdo, J. Gaudó, J.M. Acín, D. Mayoral, R. Santolaria) y la EEAD (C. Merino, V. del Río, V. Pérez, M.P. Paniagua). Al MCYT por la financiación de estos trabajos (AGL2004-06675-C03/AGR, AGL2007-66716-C03, AGL2010-21681-C03-01).

BIBLIOGRAFÍA

Cavero J., Faci J.M., Urrego Y., Medina E.T., Puig M., Jiménez L., Martínez-Cob A. 2011. El riego por aspersión nocturno y diurno en maíz. Tierras de Castilla y León, 178:96-100.

Duncan W.G., Hesketh J.D. 1968. Net photosynthetic rates, relative leaf growth rates, and leaf numbers of 22 races of maize grown at eight temperatures. Crop Sci. 8:670-674.

Martínez-Cob, A. 2008. Use of thermal units to estimate corn crop coefficients under semiarid climatic conditions. Irrig. Sci. 26:335-345.