

El riego por aspersión nocturno y diurno en maíz

Por: **J. Cavero**¹; **J.M. Faci**²; **Y. Urrego**¹; **E.T. Medina**²; **M. Puig**¹; **L. Jiménez**¹; **A. Martínez-Cob**¹

¹ Dept. Suelo y Agua, Estación Experimental de Aula Dei (CSIC)

² Unidad de Suelos y Riegos (Unidad Asociada EEAD-CSIC), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (DGA)

Trabajo publicado en la revista *Tierras de Castilla y León*, en el número 178.

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 puede afectar a su crecimiento. Durante 2 años se comparó el riego nocturno y diurno en un sistema de aspersión de cobertura enterrada en cuanto a su efecto sobre el microclima, el crecimiento y el rendimiento del maíz. El riego diurno modificó de forma importante el microclima en el que se desarrollan las plantas durante el riego y en las dos horas siguientes al mismo. El riego diurno disminuyó la temperatura del aire entre 3,3 y 4,4 °C y el déficit de presión de vapor del aire entre 1 y 1,2 kPa a 0,5 m por debajo de la cubierta vegetal. Los cambios microclimáticos durante el riego nocturno fueron mínimos. El riego por aspersión diurno redujo la temperatura de las plantas de 4 a 6 °C y la transpiración en un 58% y aumentó el potencial hídrico de las hojas desde -1,4 MPa hasta -0,54 MPa. La reducción de la transpiración es un efecto positivo porque supone una reducción de las PEA. La disminución de la temperatura de las plantas puede ser positiva (en días muy calurosos) o negativa (en días fríos) por su efecto sobre la fotosíntesis. El aumento del potencial hídrico de las hojas del maíz es positivo. Si bien el riego por aspersión diurno produjo cambios microclimáticos que pueden ser positivos para el crecimiento del maíz, es globalmente desfavorable ya que redujo el rendimiento del maíz en un 10% comparado con el riego por aspersión nocturno.

Palabras clave: Riego por aspersión, PEA, microclima

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).

La eficiencia de los sistemas de riego depende tanto de las pérdidas de agua como de la uniformidad de la distribución del agua de riego. Los sistemas de riego deben manejarse para minimizar las pérdidas de agua y maximizar la uniformidad del riego. En el caso del riego por aspersión, ambos factores se ven afectados por las condiciones ambientales durante el riego, las cuales pueden ser muy diferentes entre el día y la noche.

Durante el riego por aspersión parte del agua aplicada se pierde por evaporación y arrastre (PEA) y no llega al cultivo. Además, una vez acabado el riego el agua que moja las plantas se evapora, constituyendo las llamadas pérdidas por interceptación que suelen ser bastante estables; por ejemplo, en maíz, 0,4 mm por riego (Martínez-Cob y col., 2008). Sin embargo, las PEA dependen fundamentalmente de las condiciones ambientales durante el riego, aumentando con el aumento de la temperatura del aire, del déficit de presión de

vapor (VPD) y de la velocidad del viento. Estas PEA varían normalmente entre el 0 y el 20% del agua aplicada (Faci y col., 2001; Playán y col., 2005) y son más altas durante los riegos diurnos que durante los riegos nocturnos.

El agua que se evapora durante el riego por aspersión modifica el microclima en el que se desarrollan las plantas: disminuye la temperatura y el VPD del aire. Esto da lugar a una disminución de la temperatura de las plantas y una reducción de la transpiración.

El viento es el factor meteorológico que más afecta a la uniformidad del riego por aspersión, que disminuye conforme aumenta la velocidad del viento y por ello se debe evitar el riego por aspersión con velocidades altas del viento. Es bien conocido que, en general, la velocidad del viento es mayor por el día que por la noche.

El riego por aspersión durante el día tiene algunas desventajas comparado con el riego nocturno. Las mayores PEA y la menor uniformidad, debida a la mayor velocidad del viento durante el día, hacen que la eficiencia del riego sea menor pudiendo dar lugar a un descenso del rendimiento. Sin embargo, el riego por aspersión diurno modifica positivamente el microclima en el que se desarrollan las plantas (disminuye la temperatura y el VPD del aire) lo cual puede ser ventajoso en días calurosos. En este trabajo se recogen los resultados de varios ensayos realizados en

El riego por aspersión diurno es globalmente desfavorable ya que reduce el rendimiento del maíz en un 10% comparado con el riego por aspersión nocturno

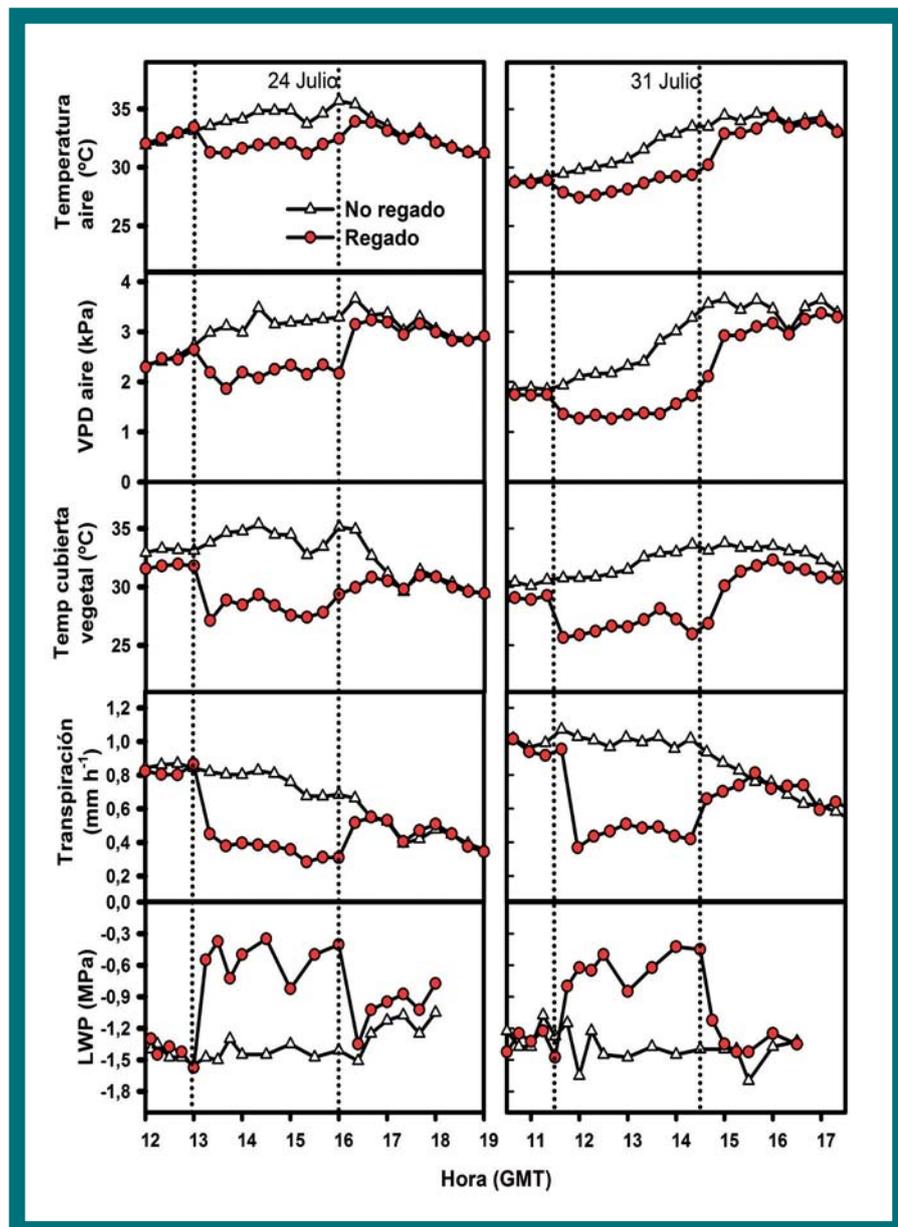


Figura 1. Temperatura y déficit de presión de vapor (VPD) del aire medidos a la altura del cultivo, temperatura de la cubierta vegetal del maíz, transpiración de las plantas y potencial hídrico de hoja (LWP) en los tratamientos regado y no regado del ensayo CITA desde una hora antes del riego hasta 3 horas después en los riegos diurnos del 24 y 31 de julio de 2006. Las líneas de puntos indican la duración del riego.

maíz regado por aspersión en los que se ha medido el efecto que el momento del riego (día o noche) tiene sobre el microclima y sobre el crecimiento y rendimiento del maíz.

Descripción de los ensayos

Los ensayos se realizaron en 2005 y 2006 en dos parcelas localizadas en la Estación Experimental Aula Dei (EEAD) y el Centro de Investigación y Tecnología

Agroalimentaria (CITA) en Zaragoza. El suelo en ambas es profundo ($> 1,2$ m) y con una capacidad de retención de agua de alrededor de 150 mm. Ambas están dotadas de cobertura enterrada fija cuadrada: 18×18 m en EEAD y 15×15 m en CITA. Los aspersores utilizados eran de doble boquilla (4,4 + 2,4 mm) y estaban situados a 2,5 m (EEAD) y 2 m (CITA) sobre el suelo. Se sembró maíz (cv. Pioneer PR34N43) en abril a una densidad de 87.000 plan-

tas/ha. Se fertilizó aplicando antes de la siembra 100 kg/ha de N, P_2O_5 y K_2O . En cobertera se aplicaron 150 kg N/ha con el agua de riego divididos en dos aplicaciones.

El cálculo de las necesidades de riego se realizó a partir de la evapotranspiración de referencia calculada con el método de Penman-Monteith y de coeficientes de cultivo (Martínez-Cob, 2008), descontando la lluvia caída. Se aplicaron de uno a tres riegos semanales.

La parcela del CITA estaba dividida en dos subparcelas de 1 hectárea cada una y en ella solo se estudiaron los cambios microclimáticos durante el riego por aspersión. El riego aplicado consistió en las necesidades de riego calculadas aumentadas en un 15%. Las dos subparcelas se regaban en momentos distintos de forma que siempre existía un tratamiento "no regado" y un tratamiento regado. Para estudiar los cambios microclimáticos durante el riego se instalaron sondas que permitían medir la temperatura y humedad relativa del aire en distintas posiciones (1 m por encima del cultivo, a la altura del cultivo y 0,5 m por debajo de la altura del cultivo). También se midieron la temperatura de las plantas con un termómetro de infrarrojos, la transpiración de las plantas con sondas de flujo de savia y, en algunos riegos, el potencial hídrico de las hojas.

La parcela de la EEAD estaba dividida en 12 sectores independientes de riego, cada uno constituido por 4 aspersores. Se establecieron dos tratamientos de riego: riego diurno (comienzo sobre las 12:00) y riego nocturno (comienzo sobre las 0:00), con seis repeticiones por tratamiento. El riego aplicado consistió en las necesidades de riego cal-

Tabla 1. Valores medios de la temperatura y déficit de presión de vapor del aire durante y tras el riego en los sectores regados y no regados durante los riegos diurnos en el ensayo EEAD de 2006

Periodo	sobre el cultivo		0,5 m debajo del cultivo	
	Regado	No regado	Regado	No regado
Temperatura aire ----- °C -----				
Durante riego	26,8 b	29,6 a	26,1 b	30,5 a
1 hora tras riego	29,7 b	31,3 a	28,3 b	31,9 a
2 horas tras riego	30,2 b	30,7 a	29,1 b	30,6 a
Déficit de presión de vapor del aire ----- kPa -----				
Durante riego	1,43 b	2,30 a	1,07 b	2,28 a
1 hora tras riego	2,37 b	2,85 a	1,73 b	2,73 a
2 horas tras riego	2,68 b	2,80 a	2,18 b	2,52 a

Para cada posición y periodo de medida los valores con letras diferentes son estadísticamente distintos según un test t pareado con P=0,05.

culadas (718 mm en 2005 y 701 mm en 2006). En cada riego se recogió el agua caída en una malla de 25 pluviómetros para determinar las PEA y la uniformidad del riego. Al igual que en la parcela del CITA, se midieron los cambios microclimáticos y sobre las plantas durante el riego. En cosecha, cada uno de los 12 sectores se recolectaron con una cosechadora comercial.

Resultados

1. Cambios microclimáticos y fisiológicos durante el riego por aspersión

Los cambios microclimáticos observados en los riegos por aspersión nocturnos fueron poco relevantes por lo que no se muestran. En la **Figura 1** puede observarse que durante el riego por aspersión diurno disminuyó la tempera-

tura y VPD del aire. Tras acabar el riego, los valores de las distintas variables se fueron igualando, de forma que a las dos-tres horas tras el riego ya eran los mismos en la parcela regada y en la no regada. En la **Tabla 1** se indican los valores medios de los cambios en uno de los ensayos. En el conjunto de los ensayos se observó una reducción de la temperatura del aire tanto mayor cuanto más cerca del suelo se hizo la medida, de forma que a 1 m sobre el cultivo la temperatura se redujo de 1,8 a 2,5 °C frente a una reducción de 3,3 a 4,4 °C a 0,5 m por debajo de la altura del cultivo. De igual forma, la reducción del VPD fue de 0,50 a 0,73 kPa a 1 m sobre el cultivo y de 1,04 a 1,21 kPa a 0,5 m por debajo de la altura del cultivo.

Como consecuencia de estos cambios microclimáticos se observaron una serie de cambios sobre las plantas de maíz (**Figura 1, Tabla 2**). En la **Figura 1**, se observa que durante el riego por aspersión diurno la temperatura de las plantas y la transpiración disminuyeron, pero el potencial hídrico de las hojas aumentó. Tras acabar el riego, los valores de las distintas variables se fueron igualando, de forma que a las dos-tres horas tras el riego ya eran los mismos en la parcela regada y en la no regada. En la **Tabla 2** se indican los valores medios de los cambios en uno de los ensayos. En el conjunto de los ensayos se observó durante el riego por aspersión diurno una reducción de la temperatura de las plantas de 4,3 a 6,1°C, una reducción de la transpiración de un 58% y un aumento del potencial hídrico de las hojas desde -1,4 MPa hasta -0,54 MPa. Durante el riego por aspersión nocturno los cambios fueron mucho menores: la temperatura de las plantas se redujo en 0,4 a 1,0 °C y la transpiración desde 0,15 mm a 0,04 mm.

2. Efecto del riego por aspersión diurno y nocturno sobre el crecimiento y rendimiento del maíz

Se observó que en los riegos diurnos la velocidad del viento fue mayor, las pérdidas de agua fueron mayores y la uniformidad del riego fue menor (**Tabla 3**). En cualquier caso, la velocidad del viento y las PEA pueden considerarse dentro de un rango adecuado para el riego por aspersión en nuestras condiciones climáticas. Estas mayores pérdi-

Tabla 2. Valores medios de la temperatura de las plantas, transpiración y potencial hídrico de las hojas durante y tras el riego en los sectores regados y no regados en el ensayo CITA de 2006

Periodo	Durante riego		2 horas tras riego	
	Regado	No regado	Regado	No regado
Temperatura de las plantas ----- °C -----				
Riego diurno	23,8 b	29,9 a	27,7 b	28,1 a
Riego nocturno	16,4 b	17,0 a	19,2 b	19,9 a
Transpiración ----- mm -----				
Riego diurno	0,86 b	2,03 a	0,49 a	0,47 a
Riego nocturno	0,04 b	0,15 a	0,22 b	0,29 a
Potencial hídrico de hoja ----- MPa -----				
Riego diurno	-0,57 a	-1,45 b	-1,06 a	-1,22 b

Para cada periodo de medida y tipo de riego los valores con letras diferentes son estadísticamente distintos según un test t pareado con P=0,05.



Foto 1. Vista del ensayo EEAD.

Tabla 3. 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 del ensayo EEAD

Año	Velocidad viento		PEA		CU	
	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
	----- (m s ⁻¹) -----		----- (%) -----			
2005	2,52	1,45	20,1	1,1	77	81
2006	2,67	2,00	21,7	11,3	75	82

En 2 años el riego diurno redujo el rendimiento en un 10%, comparado con el riego nocturno. Se observó una ligera reducción del número de granos por mazorca y del peso de los granos con el riego diurno y probablemente el conjunto de estas reducciones fue la causa del menor rendimiento.

Tabla 4. Rendimiento, granos por mazorca (GNM), peso de grano (PG) y altura de las plantas de maíz en los tratamientos de riego diurno y nocturno en el ensayo EEAD de 2005 y 2006

Tratamiento de riego	Rendimiento		GNM		PG		Altura	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
	---- Tm----		----- n° -----		-- mg--		----- m -----	
Diurno	13,21 b	13,98 b	514 a	499 a	29,9 a	33,7 a	2,72 a	2,76 b
Nocturno	15,11 a	15,11 a	536 a	526 a	30,9 a	34,2 a	2,77 a	2,87 a

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

das de agua y menor uniformidad del riego causaron una reducción significativa del rendimiento del maíz: 1,9 t/ha en 2005 y 1,1 t/ha en 2006. Así, en el conjunto de los dos años el riego diurno redujo el rendimiento en un 10%, comparado con el riego nocturno. Se observó una ligera reducción del número de granos por mazorca y del peso de los granos con el riego diurno y probable-



Foto 2. Vista del ensayo EEAD en cosecha.

mente el conjunto de estas reducciones fue la causa del menor rendimiento. Asimismo, se observó una menor altura de las plantas de maíz con el riego diurno, siendo la diferencia significativa en uno de los años.

Las medidas del potencial mátrico del suelo (no mostradas) indicaron un menor contenido de agua en el tratamiento de riego diurno a partir de mediados de agosto que estaría relacionado con las mayores PEA en el riego diurno.

Discusión y conclusiones

Las mayores PEA durante el riego diurno (Playán y col., 2005) dieron lugar a que los cambios microclimáticos fueran mucho mayores cuando el riego por aspersión se realizó durante el día. Estos cambios son similares a los encontrados en otros trabajos y se prolongaron unas dos horas tras concluir el riego. La disminución de la temperatura y del VPD del aire fue tanto mayor conforme la medida se realizó más cerca del cultivo y del suelo. La reducción de la transpiración es un efecto positivo porque supone una reducción de las PEA (Martínez-Cob y col., 2008). La disminución de la temperatura de las plantas puede ser

Las mayores PEA durante el riego diurno (Playán y col., 2005) dieron lugar a que los cambios microclimáticos fueran mucho mayores cuando el riego por aspersión se realizó durante el día. Estos cambios son similares a los encontrados en otros trabajos y se prolongaron unas dos horas tras concluir el riego

positiva (en días muy calurosos) o negativa (en días fríos) por su efecto sobre la fotosíntesis. Sin embargo, el aumento del potencial hídrico de las hojas del maíz debe considerarse como un efecto positivo.

Si bien el riego por aspersión diurno en maíz produce cambios microclimáticos que pueden ser positivos para el crecimiento y rendimiento de las plantas, nuestros resultados indican que el riego diurno es globalmente desfavorable ya

que reduce el rendimiento del maíz en un 10% comparado con el riego por aspersión nocturno. Hay que destacar que otra ventaja adicional del riego nocturno es el menor coste energético debido a las tarifas eléctricas más baratas en los periodos nocturnos. El diseño de nuestro trabajo impide conocer si la causa principal de la reducción del rendimiento del maíz en el riego diurno son las mayores PEA (y por lo tanto menor 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 solo se puede resolver con un diseño de parcela que aumente la uniformidad del riego. Es necesario realizar trabajos adicionales que clarifiquen esta cuestión.

Agradecimientos

Al personal de apoyo del CITA (M. Izquierdo, J. Gaudó, J.M. Acín, D. Mayoral) y la EEAD (M.P. Paniagua). Al MCYT por la financiación de estos trabajos (AGL2004-06675-C03/AGR y AGL2007-66716-C03).

Bibliografía

- Faci, J.M., R. Salvador, E. Playán, and H. Sourell. 2001. Comparison of fixed and rotating spray plate sprinklers. *J. Irrig. Drain. Eng.* 127:224-233.
- Martínez-Cob, A. 2008. Use of thermal units to estimate corn crop coefficients under semiarid climatic conditions. *Irrig. Sci.* 26:335-345.
- Martínez-Cob, A., E. Playán, N. Zapata, J. Caveró, E.T. Medina, and M. Puig. 2008. Contribution of evapotranspiration reduction during solid-set sprinkler irrigation to application efficiency. *J. Irrig. Drain. Eng.* 134:745-756.
- Playán, E., R. Salvador, J.M. Faci, N. Zapata, A. Martínez-Cob, and I. Sánchez. 2005. Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. *Agric. Wat. Manage.* 76:139-159.

