

# SIEMBRA DIRECTA Y EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA DE RIEGO EN MAIZ

*Espósito Goya, G.<sup>1</sup>, Valiente Gómez, M.<sup>2</sup>, Calera Belmonte, A.<sup>3</sup>, Castillo, C.<sup>1</sup>, Balboa, G.<sup>1</sup>, Videla Mensegue, H.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta 36 km 601. Córdoba. Argentina. Tfno: 54 358 4676504, e-mail: [gesposito@ayv.unrc.edu.ar](mailto:gesposito@ayv.unrc.edu.ar)

<sup>2</sup> Centro Regional de Estudios del Agua. Universidad de Castilla-La Mancha. Albacete - ESPAÑA. E-mail: [manuel.valiente@uclm.es](mailto:manuel.valiente@uclm.es)

<sup>3</sup> Instituto de Desarrollo Regional. Sección de Teledetección y Sistemas de Información Geográfica. Universidad de Castilla-La Mancha. Albacete - ESPAÑA. E-mail: [alfonso.calera@uclm.es](mailto:alfonso.calera@uclm.es)

## 1. Introducción

El principal consumo de agua dulce a nivel mundial es para el regadío, las regiones que principalmente realizan agricultura de regadío son zonas de elevada aridez con altas demandas hídricas (Calera Belmonte et al, 2005). Además, el cambio climático registrado por diversos centros de investigación, a nivel global, se manifiesta principalmente en un incremento de la inestabilidad, sumado a un mayor desequilibrio en la oferta de agua por precipitaciones.

Esta situación, exige por parte de los gobiernos, técnicos y productores, aumentar los esfuerzos para incrementar la eficiencia del agua de regadío (Utset y Martínez-Cob, 2003). El cultivo de maíz es el de mayor consumo de agua en España utilizando el 16% del total del agua consumida (López Fuster y Montoro Rodríguez, 2005), por ello si se lograsen cambios significativos en la eficiencia de riego, se estaría consiguiendo en parte el objetivo planteado anteriormente.

A nivel mundial, se han propuesto diversas estrategias para incrementar la eficiencia en el uso del agua del maíz, como son: a) ajustes entre oferta y demanda, b) mejoramiento genético, c) modernización de sistemas y equipos de riego, d) cambios en el manejo de los sistemas productivos, entre otras.

En relación a las mejoras introducidas en el manejo agronómico del maíz, se destaca el mejor control de malezas, plagas y enfermedades, el uso de fertilizantes específicos, una mejor adaptación del material genético a la oferta ambiental y el cambio en el tipo de laboreo del suelo.

En las últimas décadas se ha incorporado a los sistemas productivos el uso de la siembra directa (SD), la cual consiste en la implantación de un cultivo sobre los residuos vegetales del cultivo anterior, sin labranzas previas que alteren la condición superficial del suelo. La siembra directa es considerada una estrategia para incrementar la eficiencia en el uso del agua. En estudios realizados en Argentina por Espósito (2002), Micucci y Alvarez (2002) y Andrade y Sadras (2000), han señalado que en condiciones de secano, mediante la siembra directa la evaporación directa del suelo se ha disminuido en un 17% en relación al laboreo con arado de rejas y vertederas (LC), además de disminuir notablemente el escurrimiento del agua de lluvia.

En un estudio de 12 campañas agrícolas en China, se ha establecido que el uso de cubiertas vegetales redujo la evaporación del suelo alrededor de 50 mm ha<sup>-1</sup> por año. Ello implicó un aumento de la eficiencia en el uso de agua del orden del 8 al 10% (Zhang, et al. 2005).

En el oeste árido de Estados Unidos, Norwood (1999) determinó que los rendimientos de maíz en SD fueron superiores a los de LC, como consecuencia de una mayor eficiencia en el uso del agua.

Otra de las alternativas de incrementar la eficiencia en el regadío se basa en la correcta determinación de las necesidades hídricas de los cultivos. Desde hace varios años se puede determinar la demanda de agua de los cultivos mediante la metodología FAO que relaciona la evapotranspiración potencial con un coeficiente que depende del tipo y grado de crecimiento del cultivo denominado kc. Por lo tanto, conocer la evolución del kc de cada parcela en tiempo real, permite establecer con mayor precisión las necesidades hídricas.

En este sentido, el grupo de Teledetección y SIG, del Instituto de Desarrollo Regional de la Universidad de Castilla La Mancha, ha diseñado un sistema que permite utilizar las imágenes satelitales de cada parcela, para estimar el coeficiente kc de los cultivos, en tiempo real (Cuesta et al. 2005).

Paralelamente, la ciencia agrícola moderna ha creado modelos de simulación de crecimiento y desarrollo de cultivos que facilitan analizar cambios en el rendimiento de los cultivos frente a distintos factores. Mediante la combinación de diferentes suelos, climas, cultivares y manejo, éstos modelos estiman la producción a obtener. Por lo tanto, se pueden utilizar para evaluar el impacto que tendrían diferentes técnicas de manejo.

Por ejemplo, se han empleado estos modelos para evaluar estrategias de fertilización o riego, cambios en las fechas de siembra, utilización de distintas variedades, empleo de diferentes tipos de laboreo, en el marco de su impacto en series climáticas históricas, para apoyar las decisiones de manejo de sistemas de producción agrícola (Steduto et al. 2009).

El objetivo principal de esta comunicación es realizar un análisis sobre el posible impacto del uso de la siembra directa en suelos de la zona de Albacete en Castilla-La Mancha sobre la eficiencia del uso del agua de riego.

## 2. Desarrollo del trabajo

Para este trabajo se utilizaron datos experimentales de laboreo convencional obtenidos en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Albacete, durante los años 2004, 2005 y 2006, con los cuáles se calibraron los modelos de simulación de crecimiento y desarrollo de cultivos AquaCrop 3.1 (Steduto et al. 2009) y Soil Water Balance (elaborado en la Universidad Nacional de Río Cuarto (Argentina) (Espósito 2002, Marcos 2000).

Los datos recabados en campo consistieron en el rendimiento promedio de cada parcela y la fracción de cubierta vegetal verde (FCVV) a partir del Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI), el cual se obtuvo de imágenes satelitales LANDSAT 5 y 7. La ecuación [1], es la que se utilizó para relacionar la FCVV y el NDVI, según Cuesta et al. (2005).

$$FCVV = 1,318 NDVI_{BOA} - 0,1877 \quad [1]$$

Donde NDVI es el índice diferencial de vegetación normalizado, obtenido desde reflectividades BOA para satélites Landsat 5 y 7, como valor promedio de toda el área de riego.

Los modelos AquaCrop 3.1 y SWB, se calibraron estadísticamente hasta lograr el máximo ajuste entre valores simulados y observados de FCVV y rendimiento en grano, en cada año según el índice de coincidencia (D), la raíz cuadrada media del error (RSME) y el coeficiente de regresión lineal  $R^2$  (Willmott, 1982).

Como ambos modelos permiten conseguir valores de producción en biomasa y grano, además del balance hídrico del maíz, se calculó la eficiencia del uso del agua de riego aplicada según la ecuación [2].

$$EU_{Ariego} = R_{to}/R_{iego} \quad [2]$$

Donde,

$EU_{Ariego}$ , es la eficiencia en el uso del agua de riego en  $kg \text{ grano } mm^{-1}$ .

$R_{to}$ , es el rendimiento en grano en  $kg \text{ ha}^{-1}$ .

$Riego$ , es la lámina total de agua aplicada en todos los riegos (mm).

Las simulaciones fueron realizadas para la producción bajo condiciones de laboreo convencional (LC, arado de rejas y labranzas de repaso). Posteriormente se realizó la simulación para una condición potencial hipotética de siembra directa (SD, sin labranza y con cobertura de restos vegetales del 70%).

Las diferencias de balance hídrico obtenidas fueron empleadas para ajustar el calendario de riego a partir del aprovechamiento del agua ahorrada por menor evaporación, manteniendo la producción conseguida. Finalmente, como consecuencia del empleo potencial de la siembra directa, se determinaron los cambios en el balance hídrico del maíz, disminuyendo las necesidades de riego y modificando la eficiencia en el uso del agua.

### 3. Resultados

Como se puede apreciar en las Figuras 1a y 1b, los modelos AquaCrop 3.1 y SWB se ajustaron para simular la evolución de la Fracción de Cubierta Vegetal Verde en cada año. El grado de ajuste entre los valores observados y simulados de ambos modelos fue similar con un índice de coincidencia mayor a 97%. En relación al rendimiento del maíz, los dos modelos también simularon con elevada precisión la producción realmente obtenida. Por lo tanto se procedió a evaluar los balances hídricos obtenidos con LC y SD.

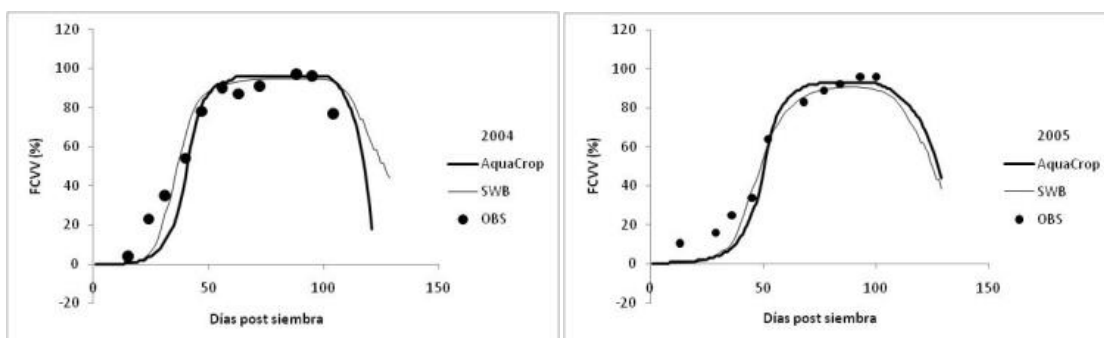


Figura 1a. Fracción de cubierta vegetal verde de maíz (FCVV) en dos campañas. Izquierda 2004. Derecha 2005. En puntos datos observados a partir de NDVI de imágenes satelitales y transformados según Cuesta et al. (2005). Línea gruesa datos simulados con AquaCrop 3.1. Línea delgada datos simulados con SWB.

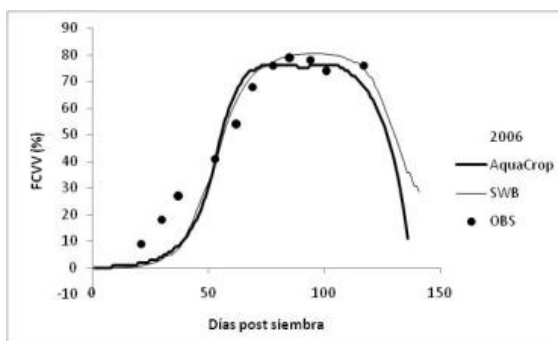


Figura 1b. Fracción de cubierta vegetal verde de maíz (FCVV) en la campaña 2006. En puntos datos observados a partir de NDVI de imágenes satelitales y transformados según Cuesta et al. (2005). Línea gruesa, datos simulados con AquaCrop 3.1. Línea delgada, datos simulados con SWB.

Los datos de balance hídrico calculados con el modelo AquaCrop 3.1 son presentados en la Tabla 1, en la cual se puede observar que la evaporación de agua del sistema LC fue de 217, 206 y 277 mm a lo largo de todo el ciclo del maíz, mientras que en SD la misma sería de 159, 157 y 193 mm. Por lo tanto el uso de la siembra directa permitiría disminuir los niveles de evaporación entre 49 a 84 mm.

Esta mayor eficiencia en el uso del agua, permitiría disminuir las necesidades de riego en 60 mm como valor promedio para las tres campañas, lo cual representa un 10% menos de riego, manteniendo la cantidad de agua disponible para la transpiración y con ello la productividad del cultivo.

Tabla 1. Balance hídrico del maíz simulado con AquaCrop 3.1 en dos tipos de labranza.

Año	Labranza	P (mm)	R (mm)	T (mm)	E (mm)	D (mm)
2004	LC	92	685	462	217	105
2004	SD	92	617	469	159	106
2005	LC	24	668	541	206	0
2005	SD	24	598	533	157	1
2006	LC	167	527	407	277	64
2006	SD	167	473	414	193	72

LC, labranza convencional con arado de rejas y vertederas. SD, siembra directa con 70% de suelo cubierto. P, precipitación. R, riego. T, transpiración. E, evaporación. D, drenaje.

El análisis del balance hídrico obtenido en cada año con el modelo SWB se presentan en la Tabla 2, en la cual se puede observar que el cambio del tipo de laboreo permitiría disminuir los niveles de evaporación entre 87 a 123 mm, representando un ahorro del 35% al 42% por incorporar la siembra directa. Esta disminución de las pérdidas por evaporación permitiría disminuir los niveles de riego en 94 mm anuales como valor promedio para las tres campañas lo cual representa un 15% menos de riego, aproximadamente.

Tabla 2. Balance hídrico del maíz simulado con SWB en dos tipos de labranza.

Año	Labranza	P (mm)	R (mm)	T (mm)	E (mm)	D (mm)
2004	LC	92	685	539	239	12
2004	SD	92	582	539	139	64
2005	LC	24	676	417	256	18
2005	SD	24	575	417	164	40
2006	LC	167	525	355	335	21
2006	SD	167	446	344	212	110

LC, labranza convencional con arado de rejas y vertederas. SD, siembra directa con 70% de suelo cubierto. P, precipitación. R, riego. T, transpiración. E, evaporación. D, drenaje.

Como ya se mencionó anteriormente, las pérdidas por evaporación directa del suelo fueron superiores en LC que en SD, principalmente en los estadios iniciales del crecimiento del cultivo, entre siembra y 50 días posteriores o hasta que la FCVV alcance un 50% (Figura 2).

El proceso de evaporación directa del agua del suelo depende de la disponibilidad de agua en los primeros centímetros del suelo y de la cantidad de energía suficiente para su evaporación. Considerando que las condiciones ambientales de Castilla La Mancha durante el crecimiento del maíz se caracterizan por un marcado estrés hídrico, son necesarios entre 30 y 50 riegos. Una alta frecuencia de humedad superficial más elevada radiación solar (energía suficiente) provoca altas pérdidas por evaporación. Por lo tanto, se comprende que el empleo de rastrojos al sombrear la superficie del suelo disminuye la energía necesaria para este proceso.

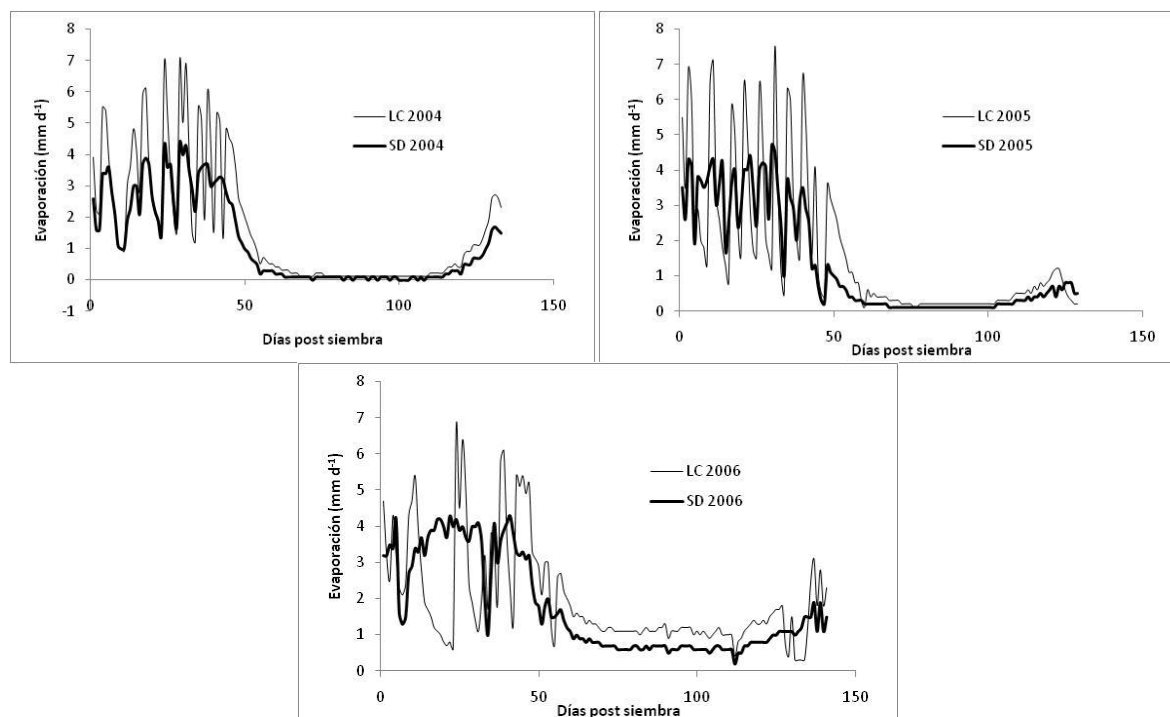


Figura 2. Evaporación directa del suelo simulada con AquaCrop 3.1 para laboreo convencional (LC, línea delgada) y siembra directa (SD, línea gruesa) para las tres campañas de riego (2004, 2005 y 2006).

Como se puede apreciar en la Tabla 3, la disminución de las necesidades de riego mediante la utilización de la siembra directa no modificó la productividad de biomasa y granos del maíz en comparación con el laboreo convencional.

Tabla 3. Producción de biomasa aérea total y rendimiento de maíz simulado con SWB y AquaCrop 3.1 en los dos tipos de labranza.

Año	Labranza	AquaCrop 3.1		SWB	
		Biomasa (kg ha <sup>-1</sup> )	Rto (kg ha <sup>-1</sup> )	Biomasa (kg ha <sup>-1</sup> )	Rto (kg ha <sup>-1</sup> )
2004	LC	24649	13042	21283	13919
2004	SD	24978	12994	21283	13916
2005	LC	25933	15030	22567	15271
2005	SD	25599	14659	22567	15270
2006	LC	20057	10020	20205	11351
2006	SD	20414	10770	19575	10673

LC, labranza convencional con arado de rejas y vertederas. SD, siembra directa con 70% de suelo cubierto. Biomasa, producción total de biomasa aérea. Rto, producción total de grano

Finalmente, el cambio en el tipo de laboreo del suelo y la disminución del riego necesario, manteniendo la producción, explica una mejora en la eficiencia en el uso del agua de riego entre el 28% al 37%, según el modelo evaluado (Tabla 4).

Tabla 4. Eficiencia en el uso del agua de riego para la producción de granos bajo labranza convencional y siembra directa, simulada con SWB y AquaCrop 3.1.

Año	SWB	AquaCrop	SWB	AquaCrop
	EUA riego LC (kg mm <sup>-1</sup> )	EUA riego LC (kg mm <sup>-1</sup> )	EUA riego SD (kg mm <sup>-1</sup> )	EUA riego SD (kg mm <sup>-1</sup> )
2004	20,32	19,04	23,91	21,06
2005	22,59	22,50	26,60	24,11
2006	21,62	20,91	23,93	22,77

EUA, eficiencia en el uso del agua de riego (kg grano mm<sup>-1</sup>). LC, labranza convencional con arado de rejas y vertederas. SD, siembra directa con 70% de suelo cubierto.

#### 4. Conclusiones y Recomendaciones

Los resultados de este trabajo resaltan la importancia del uso de modelos de simulación en el análisis de diferentes alternativas tecnológicas de producción, como así también la oportunidad de vincular el uso de imágenes satelitales con modelos de simulación para desarrollar nuevas herramientas de diagnóstico.

Finalmente, se evidencia la posibilidad de incrementar la eficiencia en el uso de agua de regadío para la producción de maíz en un 15% o 10% según el modelo empleado (SWB y AquaCrop, respectivamente) mediante el empleo de la siembra directa por una disminución de las pérdidas por evaporación directa del suelo.

Considerando que en Castilla La Mancha se siembran anualmente alrededor de 30000 ha de maíz con un riego promedio de 7000 m<sup>3</sup> por hectárea, se necesitan anualmente 210 hm<sup>3</sup> de agua de regadío. Si se extrapolan las conclusiones de este trabajo a toda la superficie

se podrían ahorrar entre 21 y 32 hm<sup>3</sup>, con un gran impacto económico y ambiental sobre los recursos hídricos.

Además se destacan otros beneficios del uso de la siembra directa como, aumento del contenido de carbono orgánico superficial que transforma al suelo en un sumidero de CO<sub>2</sub>, disminución de las pérdidas de agua por escurrimiento, menor erosión del suelo con disminución de la emisión de sedimentos a los cursos naturales de agua superficial, aumentos de la producción en secano por mejor eficiencia en la captura y aprovechamiento del agua de lluvia, incremento de la actividad biológica del suelo por disminución de la amplitud térmica y aumento del contenido hídrico promedio, entre otras ventajas agronómicas.

Nuestro más sincero agradecimiento a la CICYT, por la financiación del proyecto nacional EBHE (CGL2008 -04047), en el que se ha desarrollado este trabajo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Andrade F.H., Sadras V.O. 2000. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. En F.H. Andrade and V.O. Sadras (ed.) *Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja*. EEA INTA Balcarce-FCA UNMP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina.: Cap. 7:173-206.

Calera Belmonte A., Jochum A., Cuesta A., Montoro A., López Fuster P. 2005. Irrigation management from space: Towards user-friendly products. *Irrigation and Drainage Systems* 19: 337-354.

Cuesta A., M. Montoro A., Jochum P., Lopez Fuster P., Calera A. 2005. Metodología Operativa para la Obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite. *Información Técnica Económica Agraria* 101 (3): 212-224.

Espósito G. 2002. Propiedades hidrofísicas del suelo asociadas a diferentes sistemas de labranzas en cultivo de maíz. *Tesis para optar al grado de Magíster en Producción Agropecuaria*, Mención Producción Vegetal. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto.

López Fuster P., Montoro Rodríguez A. 2005. Los regadíos en España. El ahorro de agua, recurso del futuro. En: Agua y Agronomía. Ed. Santaolalla Mañas et al. Mundiprensa. Cap. 15.:583-602.

Marcos J. 2000. Simulation-based assessment of alternative crops in the dryland pacific northwest. PhD Thesis. Washington State University.

Micucci F., Alvarez C. 2002. El agua en los sistemas extensivos. Impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua. *INPOFOS*. Archivo Agronómico 8.:1-4.

Norwood C.A. 1999. Water use and yield of dryland row crops as effected by tillage. *Agronomy Journal*. 91.:108-115.

Steduto P., Hsiao T.C., Raes D., Fereres E. 2009. AquaCrop - The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. *Agronomy Journal*. 101:426-437

Utset A., Martínez-Cob A. 2003. Estimación del posible efecto del cambio climático en el balance hídrico del maíz cultivado en una llanura mediterránea. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* Vol VI.:305-312.

Willmott C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorological Society*. Vol. 63 (11):1309-1313.

Zhang X., Chen S., Liu M., Pei D., Sun H. 2005. Improved Water Use Efficiency Associated with Cultivars and Agronomic Management in the North China Plain. *Agronomy Journal*. 97:783–790.