



Patrones de absorción y eficiencia de uso del agua de cultivos invernales en el centro de Córdoba

Cantarero, Macelo Gabriel
Tula, Alfredo Aníbal
Luque, Sergio Fernando
Ovando, Gustavo Gabriel
Dardanelli, Julio L.

Presentado en la 3° Reunión Internacional de Riego: Rendimientos potenciales con uso eficiente de agua e insumos. Córdoba, Argentina, 30 y 31 de octubre de 2012.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.

El Repositorio Digital de la Universidad Nacional de Córdoba (RDU), es un espacio donde se almacena, organiza, preserva, provee acceso libre y procura dar visibilidad a nivel nacional e internacional, a la producción científica, académica y cultural en formato digital, generada por los integrantes de la comunidad universitaria.



EEA INTA MANFREDI
30 y 31 de Octubre de 2012



Ministerio de
Agricultura, Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación

3^o Reunión Internacional de Riego

Rendimientos potenciales con
uso eficiente de agua e insumos.

Contacto:

TE: 03572-15438025/15528701

riegomanfredi@manfredi.inta.gov.ar

riegomanfredi@gmail.com



Adhieren:



Consorcio
de Regantes



GOBIERNO DE LA
PROVINCIA DE
CÓRDOBA

Patrones de absorción y eficiencia de uso del agua de cultivos invernales en el centro de Córdoba

Cantarero, Marcelo ^{1*}; Tula, Alfredo ¹; Luque, Sergio ¹; Ovando, Gustavo ¹; Dardanelli,
Julio ²

¹ Facultad de Ciencias Agropecuarias – Universidad Nacional de Córdoba.

² INTA EEA Manfredi.

* Autor de contacto: mcantare@agro.unc.edu.ar. Facultad de Ciencias Agropecuarias – Universidad Nacional de Córdoba.

Resumen

En la región semiárida del centro de Córdoba gran parte de la estación de crecimiento de los cultivos invernales ocurre en ausencia de lluvias, y el rendimiento depende en gran parte del agua almacenada en el suelo al momento de la siembra. En consecuencia, conocer las estrategias que utiliza cada cultivo para absorber agua contribuirá a optimizar prácticas de manejo. Este estudio fue conducido para calcular en varios cultivos invernales: i) la velocidad de avance del frente de absorción radical (VA); ii) la profundidad máxima aparente de enraizamiento (PE), iii) la tasa de absorción diaria de agua (TA) y iv) la eficiencia de uso del agua para rendimiento (EUA_{RTO}) y peso seco total (EUA_{PST}). Estas variables fueron calculadas a partir de mediciones periódicas del contenido de agua en el suelo hasta 260 cm de profundidad, partiendo de un perfil bien provisto de humedad y en condiciones de escaso aporte de agua de precipitaciones durante el ciclo. El experimento fue conducido en el Campo Escuela de la FCA de la UNC (31° 30' S, 64° 00' O, altitud 360 m.s.n.m.) en un suelo Haplustol típico franco limoso. Los cultivos estudiados fueron trigo (*Triticum aestivum* L.), triticale (*X triticosecale* Wittmack), colza (*Brassica napus*, L), cártamo (*Carthamus tinctorius*, L), garbanzo (*Cicer arietinum*, L), y arveja (*Pisum sativum*, L). La VA varió desde 1,8 cm día⁻¹ para arveja a 3,3 y 3,5 cm día⁻¹ para cártamo y triticale, respectivamente. La PE varió desde 160 cm para arveja a más de 260 cm para cártamo. La PE se alcanzó entre floración y mediados del período de llenado del grano. La TA promedio para el estrato 40-160 cm de suelo, varió entre 0,012 d⁻¹ (i.e. una absorción diaria de 1,2% del agua útil remanente) para arveja y 0,043 d⁻¹ para colza y 0,045 d⁻¹ para trigo. El cártamo presentó mayores TA por debajo de los 140 cm, lo que le permitió agotar el agua útil hasta la profundidad de medición (260 cm). Los cultivos de mayor rendimiento fueron cártamo, triticale y garbanzo, siendo estos dos últimos los de mayor EUA_{RTO} . Estos hallazgos pueden contribuir a la toma de decisiones acerca de las estrategias de manejo de estos cultivos.

1. Introducción

El escenario mundial a futuro, indica que los retos más significativos a los que se enfrentará la humanidad estarán asociados a problemas demográficos, de provisión de alimentos y de energía, de degradación ambiental y cambio climático, entre otros (Andrade, 2011). El incremento pronosticado de la población mundial implicará una mayor demanda de alimentos, estimándose que la producción mundial de alimentos deberá aumentar cerca de un 70%, y esto deberá ocurrir principalmente en países en vías de desarrollo (FAO, 2009; Andrade, 2011). Las principales repercusiones del cambio climático se asocian con pérdida de la productividad de los cultivos debida al incremento en la repetición de episodios meteorológicos extremos como: temperaturas anormales y cambio en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones (Hatfield *et al.*, 2001; FAO, 2009). Para contrarrestar los efectos negativos del cambio climático se requerirán sistemas de manejo que ofrezcan el mayor grado de resistencia a las presiones climáticas, principalmente en ambientes en secano, donde será de gran importancia el desarrollo de sistemas de producción, que permitan almacenar la máxima cantidad de agua en el perfil del suelo y reduzcan el estrés de agua en cultivo durante los períodos críticos de determinación del rendimiento. Además, se deberán considerar también la elección de especies de mayor eficiencia de uso del agua.

Los sistemas de producción de cultivos invernales en la región central del país se caracterizan por cultivos que crecen y maduran en un ambiente donde la falta de agua avanza progresivamente en la estación de crecimiento y el rendimiento depende casi exclusivamente del agua almacenada en el perfil del suelo al momento de la siembra (Abbate y Cantarero, 2001; Martellotto *et al.*, 2005). Por el contrario, las sequías intermitentes, donde el estrés ocurre en cualquier momento con variada intensidad, alternando con períodos de recuperación durante el ciclo, son observadas en cultivos estivales. Según Dardanelli *et al.* (1997) durante los períodos de sequía, la capacidad de un cultivo para absorber agua del suelo depende de la uniformidad y profundidad del sistema radical, mientras que la magnitud del estrés depende del balance entre el suministro de agua desde el perfil explorado por las raíces y la demanda atmosférica. La capacidad para absorber agua del suelo resulta de la combinación entre la velocidad de avance del sistema radical (VA) y su tasa de absorción (TA). En trigo, Cantarero *et al.* (2008) registraron profundidades del sistema radical superiores a los 2 m, y no encontraron diferencias en la VA y TA entre varios cultivares. Sin embargo, estas fueron marcadamente inferiores a las encontradas por Dardanelli *et al.* (1997) en cultivos estivales. El trigo requiere más tiempo que los cultivos de verano para alcanzar el período

crítico para la definición del rendimiento, probablemente porque crece en estaciones más frías. La lenta absorción de agua observada en trigo, consecuencia de bajas VA y TA, constituye una estrategia adaptativa de este cultivo, ya que valores de VA y TA similares a las de cultivos estivales provocarían un agotamiento prematuro de las reservas de agua del suelo. Si bien el trigo es el cultivo invernal por excelencia, los obstáculos en la comercialización y las frecuentes intervenciones de la política estatal, han traído como consecuencia un creciente interés de productores por otras especies invernales. Un ejemplo de esto es el cultivo de garbanzo, cuya superficie cultivada en la provincia de Córdoba se incrementó desde 2000 ha en 2007 a más de 25000 ha en la campaña 2012 (Bolsa de Cereales de Córdoba, 2012). Además, habría potencial interés por otros cultivos como colza, arveja, triticale o cártamo, los cuales pueden mejorar sensiblemente la productividad y la eficiencia de uso del agua del sistema. Sin embargo, no se han realizado estudios sobre las estrategias que manifiestan estas especies para consumir agua en condiciones de limitada oferta hídrica como las que se presentan en el centro de Córdoba.

Los datos que se muestran en este trabajo constituyen evaluaciones preliminares sobre el patrón de absorción de agua edáfica, caracterizado por VA, PE y TA, correspondiente a diferentes especies invernales como: trigo, triticale, colza, cártamo, garbanzo y arveja. Esta información puede contribuir al conocimiento de los procesos y relaciones causales que determinan el consumo y la eficiencia de uso del agua, a fin de incrementar la producción de cultivos invernales en la región central de Córdoba y mejorar la sustentabilidad de los sistemas productivos.

2. Materiales y métodos

Se realizó un experimento durante la campaña 2011, con un cultivar de cada una de las siguientes especies: trigo, triticale, colza, cártamo, garbanzo y arveja. El experimento se condujo en condiciones de secano sobre un suelo *Haplustol típico*, franco limoso (Soil Survey Staff, 2003). En la Tabla 1 se presentan algunas características de los cultivares y fechas de eventos fenológicos claves durante la estación de crecimiento. Las parcelas se manejaron sin deficiencia de nutrientes y con adecuado control de plagas y enfermedades. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. El tamaño de cada unidad experimental fue de 10 surcos de 7 m de largo separados entre 0,20 (trigo, triticale, colza y arveja) y 0,35 m (garbanzo y cártamo). Al momento de la siembra el contenido de agua del suelo hasta 260 cm de profundidad se determinó por gravimetría. A partir de los 60 d desde siembra, en dos repeticiones de

cada parcela, se determinó el contenido volumétrico de agua cada 20 cm y hasta 260 cm de profundidad con sonda de neutrones, y las mediciones se realizaron cada 7 días hasta madurez.

Para el cálculo de VA, se ajustó un modelo lineal para determinar el avance en profundidad del frente de absorción radical, graficando la fecha en que comienza la primera absorción de agua en cada capa de suelo en función de la profundidad. La pendiente de la línea de regresión fue entonces la VA expresada en cm d^{-1} . La TA se obtuvo ajustando la siguiente ecuación propuesta por Dardanelli *et al.*, (2004):

$$TA = \frac{\theta_d - \theta_{d-1}}{\theta_{d-1} - \theta_{pmp}}$$

donde θ_d (en $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) es el contenido volumétrico de agua en el día d , θ_{d-1} es el contenido volumétrico de agua en el día previo, y $\theta_{d-1} - \theta_{pmp}$ es el contenido volumétrico de agua sobre el punto de marchitez permanente en el día previo.

Esta ecuación brinda un ajuste de tipo exponencial que se optimizó iterativamente hasta obtener la TA que minimizó el CME entre los valores observados y predichos. Los valores de TA obtenidos representan la máxima fracción de agua útil remanente que puede absorber cada cultivo en un día.

Como la presencia de raíces genera un agotamiento del agua del suelo que responde a un patrón exponencial, la PE quedó establecida por la profundidad de la última capa de suelo que mostró este patrón.

El consumo total de agua (C) fue determinado acumulando los consumos parciales entre mediciones sucesivas del contenido de agua en el suelo mediante la siguiente ecuación:

$$C = \sum_{i=1}^n PEf + \Delta S$$

donde PEf (mm) es el agua suministrada al suelo por la precipitación efectiva y ΔS es la variación de almacenaje.

La PEf fue calculada con una ecuación obtenida por Dardanelli *et al.* (1992) para un suelo similar a partir de los valores de precipitación diaria superiores a 15 mm.

En madurez se determinó el rendimiento (RTO) y el peso seco total (PST) del cultivo. La relación entre RTO y C, y entre PST y C fue la eficiencia de uso del agua para el grano (EUA_{RTO}) y el peso seco total del cultivo (EUA_{PST}). Se realizó un ANVA para analizar los resultados de productividad y eficiencias en el uso del agua, usando para la comparación de medias la diferencia mínima significativa con un nivel de significancia del 5%.

3. Resultados y discusión

Las especies difirieron en la duración del período siembra-madurez fisiológica, siendo el cártamo el cultivo que más tardó en florecer (151 d) y en madurar (196 d). Por el contrario, la arveja fue el cultivo más precoz, alcanzando la madurez a los 140 d desde la siembra (Tabla 1).

Tabla 1. Especie, cultivar y fechas de siembra, floración y madurez fisiológica del experimento realizado en Córdoba.

Especie	Cultivar	Fecha		
		Siembra	Floración	Madurez
Trigo	Klein Tauro	31 mayo	22 septiembre	03 noviembre
Triticale	LAC4-19 FCA [†]	31 mayo	16 septiembre	03 noviembre
Colza	Rivette	31 mayo	08 septiembre	08 noviembre
Cártamo	Origen Mejicano [‡]	31 mayo	28 octubre	13 diciembre
Garbanzo	Chañaritos S-156	31 mayo	25 septiembre	24 noviembre
Arveja	Viper	31 mayo	12 septiembre	07 noviembre

[†] Línea avanzada del programa de mejoramiento de trigo de la FCA-UNC.

[‡] Línea avanzada de origen mejicano.

Al momento de la siembra el contenido de agua en el suelo fue de 292 mm hasta los 260 cm de profundidad. Esto representa el 70% de la máxima capacidad de almacenaje de agua para este tipo de suelo. Las lluvias durante el ciclo del cultivo ocurrieron predominantemente durante la etapa de llenado de los granos en todos los cultivos (Tabla 2). El aporte de las precipitaciones durante la fase siembra-floración fue de escasa magnitud y se produjo en los primeros estados del ciclo de los cultivos, salvo en cártamo, cultivo que debido a su mayor longitud de ciclo a floración, pudo aprovechar las primeras lluvias primaverales antes de la ocurrencia de este estado fenológico.

Tabla 2. Precipitación efectiva acumulada para los períodos de Siembra-Floración, Floración-Madurez y Siembra-Madurez.

Especie	Precipitación Efectiva acumulada [†] (mm)		
	Siembra-Floración	Floración-Madurez	Siembra-Madurez
Trigo	33	78	111
Triticale	33	78	111
Colza	33	78	111
Cártamo	111	117	228
Garbanzo	33	147	181
Arveja	33	52	86

[†] Calculada de acuerdo a Dardanelli et al., 1992.

PE alcanzó los 240 cm (Tabla 3). En cártamo, no pudo determinarse la PE, pero los datos sugieren que esta pudo alcanzar una profundidad superior a los 260 cm, ya que el perfil del suelo quedó con un contenido volumétrico de agua equivalente al PMP hasta esa profundidad (Figura 1). Esto puede sustentarse en lo reportado por Montoya Coronado (2010) que menciona que las raíces de este cultivo poseen una gran capacidad para profundizar, pudiendo llegar hasta los 370 cm. La imposibilidad de establecer la PE en cártamo, se debió a que los tubos de acceso de la sonda permitieron explorar solo hasta esa profundidad. En el resto de los cultivos la PE se alcanzó a mediados del período de llenado del grano.

Tabla 3. Velocidad de avance del frente de absorción radical (VA), profundidad máxima de enraizamiento (PE) y tasa de absorción de agua (TA) para este estudio. También se presentan datos de otros estudios.

Especie	VA (cm d ⁻¹)	PE (cm)	TA (d ⁻¹)	
Trigo	2,6	240	0,045	
Triticale	3,5	240	0,034	
Colza	2,9	240	0,043	
Cártamo	3,3	>260	0,039	
Garbanzo	2,5	240	0,017	
Arveja	1,8	160	0,012	
Otros Estudios				Fuente
Cultivos				
Trigo	2,1	290	0,039	Cantarero et al., 2008
Girasol	4,4	250-290	0,084-0,110	Dardanelli et al., 1997
Soja	3,4	130-230	0,082-0,098	Dardanelli et al., 1997
Maíz	3,0	190	0,088	Dardanelli et al., 1997
Maní	2,3	150	0,058	Dardanelli et al., 1997

La TA promedio para el estrato 40-160 cm de suelo, varió entre 0,012 d⁻¹ (i.e. una absorción diaria de 1,2% del agua útil remanente) para arveja y 0,043 d⁻¹ para colza y

0,045 d⁻¹ para trigo (Tabla 3). En la mayoría de los cultivos la TA decreció con la profundidad, salvo en cártamo en donde esta aumentó hasta 140 cm, y a partir de esta profundidad disminuyó, pero se mantuvo en valores más altos respecto al resto de los cultivos (Figura 2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Esta característica conjuntamente con la mayor duración del ciclo fueron las causas del agotamiento del agua útil hasta la profundidad monitoreada en este cultivo (Figura 1).

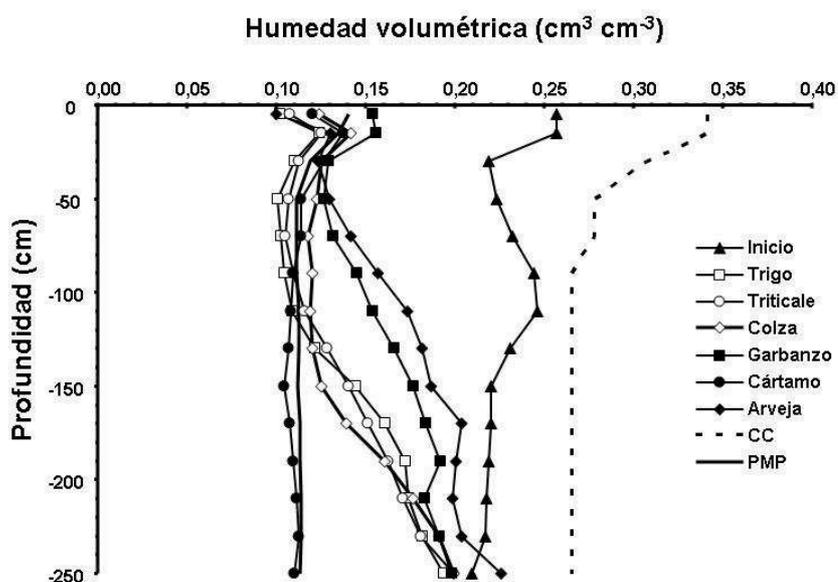


Figura 1. Mínimo contenido volumétrico de agua en función de la profundidad encontrado en cada cultivo. La línea punteada sin símbolo, representa la capacidad de campo (CC) y la línea continua sin símbolo, el punto de marchitez permanente (PMP).

La combinación de VA, PE, TA y la longitud del ciclo de cada especie establecieron diferentes patrones de consumo de agua. En la Figura 3 se observa el contenido de agua útil para la profundidad de 60 a 260 cm en función del tiempo desde la siembra. La arveja fue el cultivo que dejó el mayor contenido de agua en el perfil producto de su baja VA, PE, TA y de su menor duración de ciclo. En el otro extremo puede observarse el cártamo quien posee un patrón más agresivo de absorción de agua producto de una mayor VA, PE, TA y duración de ciclo a madurez (más de 50 d respecto a arveja; Tabla 1).

Si se comparan los patrones de absorción de especies invernales como las evaluadas en este estudio, con los patrones de especies estivales obtenidos por otros autores (Tabla 3), se aprecia que las diferencias están principalmente asociadas a TA.

Los cultivos invernales presentan siempre menores valores de TA. Esta característica representa una ventaja adaptativa, ya que previene un agotamiento prematuro de las reservas de agua del suelo antes del comienzo del período crítico para la definición del rendimiento.

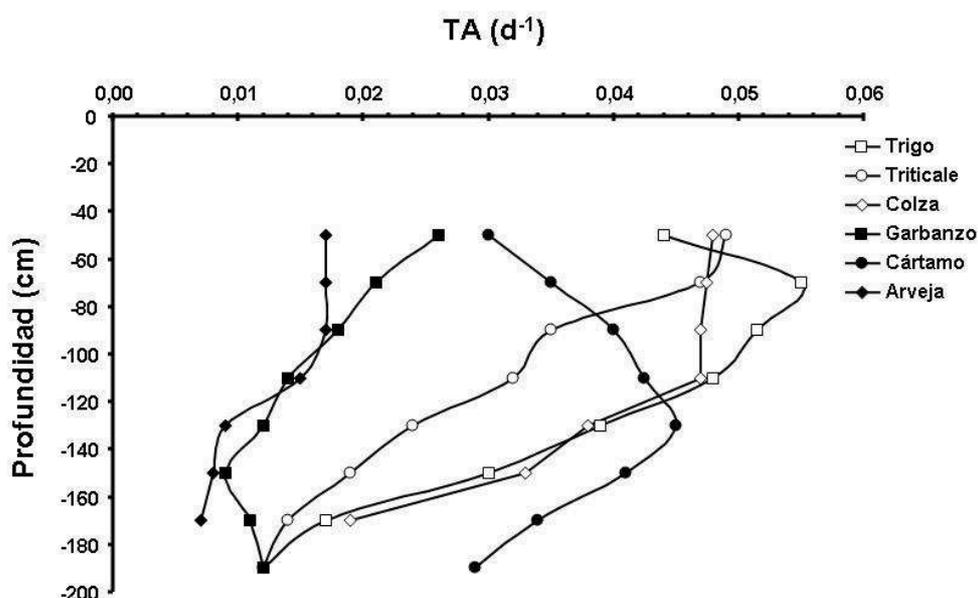


Figura 2. Tasas de absorción (TA) para cada capa de suelo de cada especie en función de la profundidad.

Como resultado de estas estrategias el C presentó un valor máximo en cártamo y mínimo en arveja (Tabla 4). Los cultivos que más rendimiento lograron fueron cártamo, triticale, garbanzo y trigo, y el de menor productividad fue la arveja, mientras que colza se ubicó en una posición intermedia (Tabla 4). Los cultivos que lograron la mayor EUA_{RTO} fueron garbanzo, triticale y trigo, seguidos por el resto de los cultivos. No se encontró asociación entre la EUA_{RTO} y EUA_{PST} . En el caso particular del garbanzo, este fue un cultivo de alto rendimiento y un PST intermedio. Esta característica se evidencia en una mayor partición hacia destinos reproductivos (IC) en garbanzo respecto al resto de los cultivos (Tabla 4).

Los hallazgos de este estudio pueden contribuir a la toma de decisiones acerca de las estrategias de manejo de estos cultivos. Un ejemplo de aplicación práctica lo constituye el estado hídrico del suelo con que cada cultivo llega a madurez. El

conocimiento de la capacidad de agotar las reservas de agua del perfil de suelo de las diferentes especies permite una mejor planificación de los cultivos que continúan en la secuencia, lo que resulta de gran importancia en una región donde la probabilidad de recarga del perfil de suelo hacia fin del invierno y comienzos de primavera es baja. En este sentido, la arveja fue el cultivo que mayor contenido de agua dejó al finalizar su ciclo, mientras que el cártamo por su mayor agresividad y largo de ciclo, fue el que menos

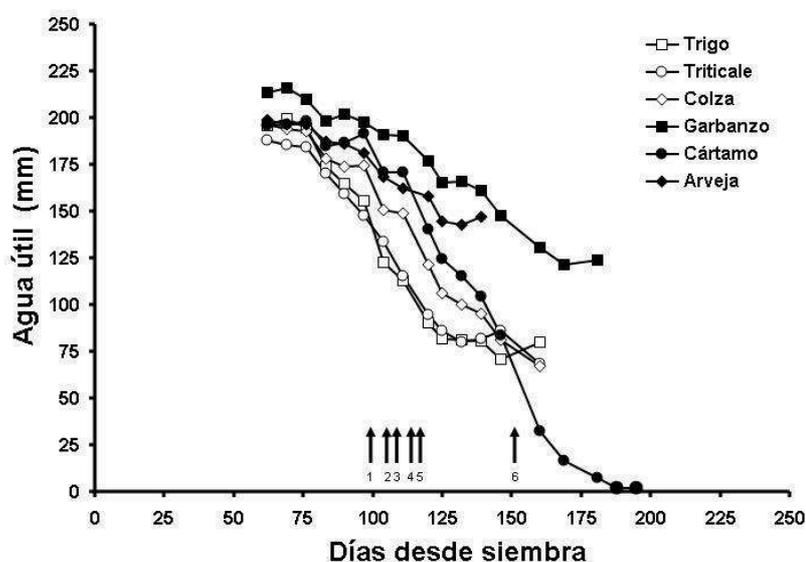


Figura 3. Contenido de agua útil para la capa de suelo 60-260 cm de profundidad en función del tiempo desde siembra. Las flechas hacia arriba indican el momento de floración para colza (1); arveja (2); triticale (3); trigo (4); garbanzo (5) y cártamo (6).

Tabla 4. Rendimiento seco (0% de humedad; RTO); peso seco total del cultivo a madurez (PST); índice de cosecha (IC); consumo total de agua (C) y eficiencia de uso del agua expresada en función del rendimiento (EUA_{RTO}) y del peso seco total del cultivo (EUA_{PST}) para cada especie.

Especie	RTO (kg ha ⁻¹)	PST (kg ha ⁻¹)	IC (%)	C (mm)	EUA_{RTO} (kg mm ⁻¹)	EUA_{PST} (kg mm ⁻¹)
Trigo	3601	10336	35	331	10,5	30,5
Triticale	4137	11296	37	334	11,8	32,7
Colza	2386	7611	31	337	6,6	21,8
Cártamo	4142	18342	22	523	6,6	33,9
Garbanzo	3942	8797	45	290	14,4	31,6
Arveja	1080	3983	26	187	6,9	24,7
DMS _{0,05}	1540	2010	8	21	6,0	14,5

DMS_{0,05}: Diferencia mínima significativa al 5% para comparar entre medias

reserva dejó en el suelo. Otro aspecto de importancia lo constituye el conocimiento de la TA para estos cultivos, la cual expresa la máxima cantidad de agua que un cultivo puede absorber en un día. La evapotranspiración del cultivo puede estar limitada por la oferta de agua del suelo o por la demanda atmosférica. En el caso de que la demanda atmosférica sea mayor a TA, la evapotranspiración del cultivo estará determinada por TA, y en el caso contrario en que la primera sea menor a TA, el consumo será igual a la demanda atmosférica, y el cultivo no sufrirá estrés. Si absorción, determinada por TA y el contenido de agua útil del suelo, es inferior a la demanda atmosférica y el cultivo se encuentra en su período crítico de determinación del rendimiento, la aplicación de riego suplementario tendría su mayor impacto. Esto puede permitir una mejor interpretación de los balances hídricos de los cultivos.

En conclusión, los resultados obtenidos en este trabajo permiten contribuir al conocimiento de los procesos y relaciones causales que determinan el consumo y la eficiencia de uso del agua, a fin de incrementar el rendimiento de cultivos invernales en la región central de Córdoba y mejorar la sustentabilidad de los sistemas productivos.

4. Bibliografía

- Abbate, P; Cantarero, M. 2001. Efectos del estrés hídrico en trigo. Conferencia. Actas V Congreso Nacional de Trigo y III Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-Invernal. Carlos Paz, Córdoba.
- Andrade, F. 2011. La tecnología y la producción agrícola. El pasado y los actuales desafíos. INTA Balcarce. Ediciones INTA. EEA Balcarce, Centro Regional Buenos Aires Sur.
- Bolsa de Cereales de Córdoba. 2012. Situación de los cultivos de trigo y garbanzo. Informe 47.
- Cantarero, M; Dardanelli, J; De Luca, M; Collino, D; Abbate, P; Racca, R. 2008. Patrones de absorción de agua edáfica en diferentes cultivares de trigo en un suelo Haplustol Típico. XIII Reunión Latinoamericana y XXVII Reunión Nacional de Fisiología. p 57.
- Dardanelli, J; De la Casa, AC; Ateca, MR; Zanvetor, R; Nuñez Vazquez, F; Salas, HP. 1992. Validación del balance hidrológico versátil para la sucesión sorgo-soja bajo dos sistemas de labranza. Rev. Agr. de Manfredi y Marcos Juárez, Argentina, 7: 20-29.
- Dardanelli, J; Bachmeier, O; Sereno, R; Gil, R. 1997. Rooting depth and soil water extraction patterns of different crops in a silty loam Haplustoll. Field Crops Res. 54, 29-38.

- Dardanelli, JL; Ritchie, JT; Calmon, M; Andriani, JM; Collino, DJ. 2004. An empirical model for root water uptake. *Field Crops Res.*, 87:59-71.
- FAO. 2009. High-Level Expert Forum on "How to Feed the World in 2050". http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf
- Hatfield, J; Boote, K; Kimball, B; Ziska, L.; Izaurralde, R; Ort, D; Thomson, A; Wolfe, D. 2001. Climate Impacts on Agriculture: Implications for Crop Production. *Agron. J.* 103:351–370.
- Martellotto, E; Salinas, A; Salas, PH; Lovera, E; Giubergia, JP; Capuccino, V; Lopez, C; Signorile, O; Lingua, S; Alvarez, C; Cantarero, M; Viotti, G. 2005. Un aporte a la sustentabilidad de los sistemas productivos. Evaluación de cultivares y estrategias de manejo en 8 localidades de la Provincia de Córdoba. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Boletín N° 9. E.E.A. INTA Manfredi – Area Recursos Naturales y Agronomía. Proyectos Regionales de Agricultura Sustentable.
- Montoya Coronado, L. 2010. El cultivo del cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) en México. INIFAP, Campo Experimental Norman Borlaug. Libro Técnico N°5, 98 pp.
- Passioura, J. 1983. Roots and drought resistance. *Agric. Water Manag.* 7: 265-280.
- Soil Survey Staff. 2003. Keys to Soil Taxonomy. 9th ed. Washington, DC: USDA and Natural Resources Conservation Service.