

RESPUESTA DEL TRIGO AL RIEGO SUPLEMENTARIO EN LA REGIÓN CENTRAL DE SANTA FE

CAMUSSI, G. F.² & MARANO, R. P.¹

RESUMEN

El trigo (*Triticum aestivum*) es uno de los principales cultivos utilizados en las rotaciones agrícolas de la Región Central Santafesina. Su producción se ve limitada –especialmente- por déficit hídricos ocurridos en etapas críticas de definición del rendimiento. El objetivo del trabajo fue analizar la respuesta productiva del cultivo de trigo al riego suplementario, en condiciones de campo para la región central santafesina, con una variedad de ciclo largo. El método de riego empleado fue por inundación. Para estimar la evapotranspiración del cultivo (ETc) se aplicó balance hídrico. Se midió biomasa aérea (BA), índice de área foliar (IAF), índice de cosecha (IC), componentes del rendimiento (BG) y eficiencia de uso de agua (EUA). Las precipitaciones en el período agosto – octubre fueron menores a la histórica, lo que obligó a aplicar 160 mm en cuatro riegos. Hubo diferencias significativas de riego respecto a secano en consumo de agua, rendimientos, índice de cosecha y eficiencia de uso de agua.

Palabras clave: trigo, riego suplementario, eficiencia de uso de agua.

SUMMARY

Response wheat to supplementary irrigation in the central region of Santa Fe.

The wheat (*Triticum aestivum*) is one of the main crops used in the crops rotations of the Central Region of Santa Fe. Its production is especially limited by the water stress that happens in the critical stages for the yield determination. The objective of the work was to analyze the wheat productive response to additional irrigation in field conditions for the central region of Santa Fe. One variety, of long cycle, was used. The flow irrigation method was used. In order to estimate the crop evapotranspiration (ETc), the water balance was applied. The aerial biomass (BA), the foliar area index (IAF), the harvest index (IC), the yield components (BG), and efficiency of water use (EUA) were measured. The precipitations from August to October were smaller than the historical average, which forced to apply 160 mm in four irrigations. There were significant differences in water consumption, yields, harvest index, and efficiency of water use between the irrigated and the non-irrigated treatments.

Key words: wheat, supplementary irrigation, efficiency of water use.

1.- Profesor Adjunto Diagnóstico y Tecnología de Aguas de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNL).

2.- Tesinista. Becario Cátedra de Diagnóstico y Tecnología de Aguas de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNL) Kreder 2805. (3080) Esperanza. Tel. (03496)-426400. Email: germanfcamussi@yahoo.com.ar
Manuscrito recibido el 18 de abril de 2008 y aceptado para su publicación el 10 de septiembre de 2008.

INTRODUCCIÓN

El trigo (*Triticum aestivum L.*) es el cereal de mayor importancia en el mundo, ocupando la sexta parte del área total destinada a la agricultura (Slafer & Satorre, 1999).

Actualmente se estima que, la producción total de granos en Argentina alcanzaría las 100 millones de toneladas. En las cinco últimas campañas, Satorre (2007) indica que la producción de trigo en particular, ha alcanzado aproximadamente los 13,6 millones de toneladas año⁻¹.

La región central santafesina, se caracteriza por presentar un clima con precipitaciones medias anuales que pueden considerarse suficientes para cubrir los requerimientos hídricos de los cultivos (Cáceres, 1982). No obstante, la distribución de las precipitaciones no es homogénea a lo largo del año, presentándose períodos de escasez de agua que pueden coincidir con momentos críticos de definición del rendimiento, desde 20 días prefloración a 10 días post floración, para el caso del trigo (Slafer *et al.*, 2003), siendo necesaria la aplicación de agua por riego. Martellotto *et al.* (2004) afirman que el riego suplementario es quizá la tecnología que puede provocar el mayor impacto productivo, permitiendo aumentar los rendimientos y disminuir la variabilidad interanual.

En la región de estudio, donde se presentan momentos de estrés hídrico - como consecuencia de la alternancia de períodos húmedos y secos (Marano *et al.*, 1996)-, el tipo de riego a utilizar es el suplementario, que se define como aquel utilizado en regiones en las cuales las precipitaciones son suficientes en cantidad pero existen períodos de déficit hídricos que coinciden con el período crítico de definición del rendimiento en los cuales es necesario aplicar agua.

Para evaluar la respuesta del trigo al riego

suplementario se desarrolló un experimento a campo en el año 2004.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se llevó a cabo en Esperanza (Lat. 31°21' S; Long 61°08' W), Santa Fe, en el Campo Experimental de Cultivos Extensivos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Litoral (UNL). El suelo correspondió a un Argiudol-típico serie Esperanza, caracterizado mediante la carta de suelos (INTA, 1991). Para realizar un diagnóstico de fertilidad química se tomaron muestras compuestas (30) perturbadas del horizonte superficial (0-13 cm) y subsuperficial (13-30 cm), previo a la siembra del cultivo antecesor. Se evaluó: Nitrógeno total y activo con el método de Kjeldhal (Jackson, 1982), P disponible según Bray & Kurtz (1945), azufre y pH., con potenciometría relación 1:2,5. También se obtuvieron muestras no perturbadas para determinar la densidad de suelo de acuerdo al método del cilindro (Forshyte, 1975). Por otro lado, a fin de constatar la información brindada por la carta de suelos, se realizó una calicata por la cual se hizo la descripción del perfil.

La variedad de trigo sembrada -en directa- fue Buck Guapo de ciclo largo, el 05/06/04 con una densidad de semillas de 122 kg ha⁻¹ y espaciamiento de 17,5 cm entre líneas. Se realizaron dos tratamientos: secano (TS) y riego (TR) sobre parcelas de 18 m². Cada tratamiento tuvo tres repeticiones, comparándose los valores medios con el test de Tukey.

Las dosis de fertilizantes se calcularon de acuerdo al procedimiento descrito en Imhoff *et al.* (1996), atendiendo a la expectativa de rendimiento de biomasa cosechada, estimada en 4000 kg ha⁻¹.

Se siguió la fenología del cultivo cada 15 días, utilizando la metodología propuesta por Zadocks (1974).

Los datos meteorológicos de la campaña 2004 fueron obtenidos desde una estación meteorológica automática ubicada en el campo experimental, relevándose precipitación, humedad relativa, temperaturas, radiación solar y velocidad de viento. Con estos datos se obtuvo la evapotranspiración de referencia (ET_o) de acuerdo al método de Penman-Monteith (Allen, 2006).

Para estimar la evapotranspiración del cultivo (ET_c) se utilizó la siguiente ecuación simplificada de balance hídrico (Ali *et al.*, 2007):

$$DH = ET_c + LR_n + Per - Pe$$

Donde:

DH: variación del contenido de agua entre el inicio y el final del intervalo. Para ello se utilizó una sonda de capacitancia (FDR) modelo Diviner la cual permite lecturas hasta 1,6 m de profundidad. Las mediciones se realizaron a intervalos de 15 días en tubos de acceso ubicados a razón de uno por parcela (6 tubos totales). Las lecturas fueron corregidas mediante una calibración obtenida regionalmente (Marano, comunicación personal). Pe: precipitación efectiva, considerada como 0,8 de la precipitación total, cuando ésta supera 20 mm y Per: percolación profunda, estimada a través del análisis del perfil hídrico. No se considera aporte de flujo subsuperficial entrante ni saliente, dado que a la parcela irrigada se le construyó un bordo perimetral de 30 cm (Ali *et al.*, 2007). LR_n corresponde a la lámina de riego neta, para los tratamientos con riego suplementario. Con los datos de ET_c y ET_o se determinó el coeficiente de cultivo simplificado -K_c- (Allen, 2006).

Se calculó el cociente foto termal (Q), según Fischer (1985), para el período agosto-octubre, con el objetivo de conocer el potencial ambiental en que se ubicó el período crítico del trigo.

$$Q = R T^{-1}$$

siendo R la sumatoria de la radiación global diaria expresada en MJm⁻²día⁻¹, y T la sumatoria de las temperaturas medias diarias expresadas en °C.

El método de riego empleado fue por superficie, realizándose aforos volumétricos para cuantificar la dosis aplicada. Para determinar el momento oportuno de riego, se adoptó como criterio permitir el agotamiento del 40 al 50% del agua útil hasta los primeros 40 cm del suelo, reponiendo dicha lámina, es decir dosis fija e intervalo de riego variable. Para estimar la dosis de riego se utilizaron las constantes hídricas de suelo determinados por Marano (2000).

Para determinar Materia Seca aérea (MS) se tomaron muestras de plantas en dos momentos: Z5.8 y Z9.0, considerando en cada tratamiento una sub parcela de 0,175m². En laboratorio se procedió a separar hojas y tallos, que se colocaron en estufa a 45 °C hasta peso constante. Además se determinó índice de área foliar (IAF) en Z 5.8. A cosecha se procedió a separar vástagos, número de espigas, número de espiguillas por espiga, espiguillas fértiles e infértiles y el peso de los 1000 granos, que se referenció con 14% de humedad.

La relación entre la producción de materia seca (MS) o grano, y la ET_c, se denomina EUA (Della Maggiora *et al.*, 2000). El cálculo de la eficiencia de uso del agua (EUA) se realizó relacionando la biomasa seca de la parte aérea (EUA_a) y la biomasa de grano (EUA_g)-corregida por humedad comercial (14%)-, expresadas en kg MS ha⁻¹, con los mm de agua consumidos, expresados en m³ ha⁻¹.

También se determinó la EUA de TR (EUA_r), relacionando la biomasa aérea diferencial obtenida con riego respecto a la lámina de riego aplicada en el ciclo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

SUELO

De acuerdo al análisis de suelo (Cuadro 1), los niveles de nitrógeno total son moderados a bajos, el nivel de fósforo también es bajo (Echeverría & García, 1998), mientras que el de azufre es moderado. Por lo tanto, teniendo en cuenta que el rendimiento objetivo fue de 4000 kg ha⁻¹, para lograr altos rendimientos acorde a la utilización del riego, fue necesario fertilizar con 150 kg ha⁻¹ de fosfato diamónico y 100 kg ha⁻¹ de urea.

Por otra parte, a los 30 cm de profundidad el suelo no presenta impedimentos para el desarrollo normal de raíces. A partir de allí, la velocidad de profundización radical disminuye debido a la presencia de un horizonte con alto contenido de arcilla, que aumenta la resistencia a la penetración. La presencia de grietas, observadas cuando se realizó la calicata, permite que las raíces logren alcanzar la misma profundidad que en un suelo sin impedimentos físicos, aunque con unos días de retraso. (Orellana, 1992; Dardaneli *et al.*, 2003).

CONDICIONES AMBIENTALES

Con los datos obtenidos de la estación meteorológica en el año 2004 se confeccionaron las figuras 1 y 2 correspondientes a precipitaciones, ETo y temperaturas, durante el ciclo del cultivo.

Las precipitaciones ocurridas durante los

meses de abril y mayo permitieron recargar el perfil del suelo, y de esta manera, realizar la siembra en la fecha planeada. Durante los meses de agosto y septiembre, las precipitaciones fueron inferiores al promedio histórico (Fig. 1), coincidiendo con el estado de elongación del tallo (Z3.0) -etapa en que se definen las espigas y el número de flores fértiles (Slafer *et al.*, 2003; Fischer, 1985, 2004; Miralles, 2004)- agotando el agua disponible del suelo (Fig. 1) que obligaron a realizar riegos desde momentos muy tempranos del cultivo.

Es decir, si bien la precipitación acumulada durante el año fue superior al promedio histórico, en las etapas fenológicas más sensibles a déficit hídrico, las lluvias fueron inferiores a la demanda atmosférica.

Las temperaturas medias mensuales tuvieron un comportamiento similar a los datos históricos (Fig. 2), con pequeños períodos más fríos o más cálidos. Desde septiembre a mediados de octubre, las temperaturas medias fueron superiores, por lo cual las fases de desarrollo se aceleraron, acentuando el efecto del estrés hídrico.

CULTIVO

Consumo de agua (ETc). La evapotranspiración del trigo en secano fue sensiblemente más baja que las correspondientes a riego y a ETo (Cuadro 2), indicando períodos acotados de estrés hídrico que redujeron el consumo de agua. En este caso, es más apropiado referir el consumo como evapotrans-

Cuadro 1: Análisis de suelo realizado previo a la siembra del cultivo antecesor (Soja GM V).

Profundidad (cm)	0-13	13-30
N orgánico total %	0,156	0,116
N activo (ppm)	80	60
P disponible (ppm)	10,4	9,4
S disponible (ppm)	9,4	10,3
pH	6,09	6,08

piración real (E_{Tr}), antes que E_{Tc} . Las causas están originadas en la falta de lluvias en agosto y septiembre, dado que la P_e representó sólo el 54% de la E_{Tc} (tratamiento TS), por lo que el cultivo obtuvo el resto del agua desde el suelo (Fig. 3). Las raíces tuvieron

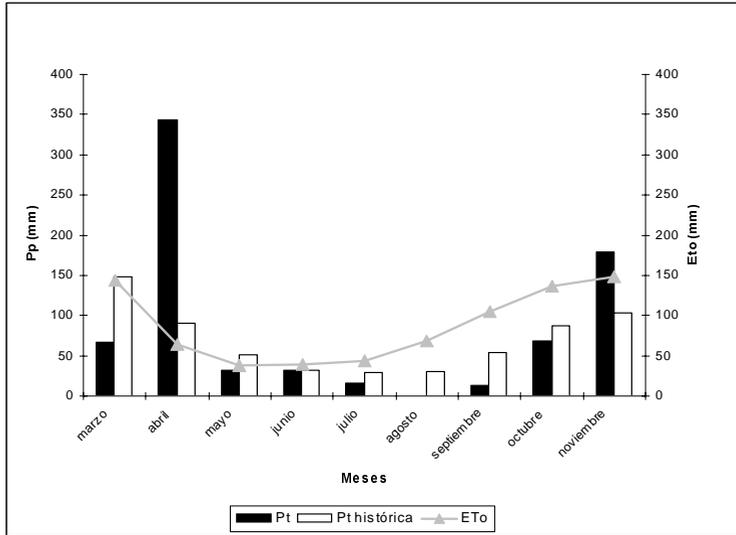


Fig. 1: Evapotranspiración de referencia (E_{To}) y precipitaciones (P_t) mensuales, para el periodo Marzo–Noviembre del año 2004 y P_t históricas(1920-1982) para iguales meses.

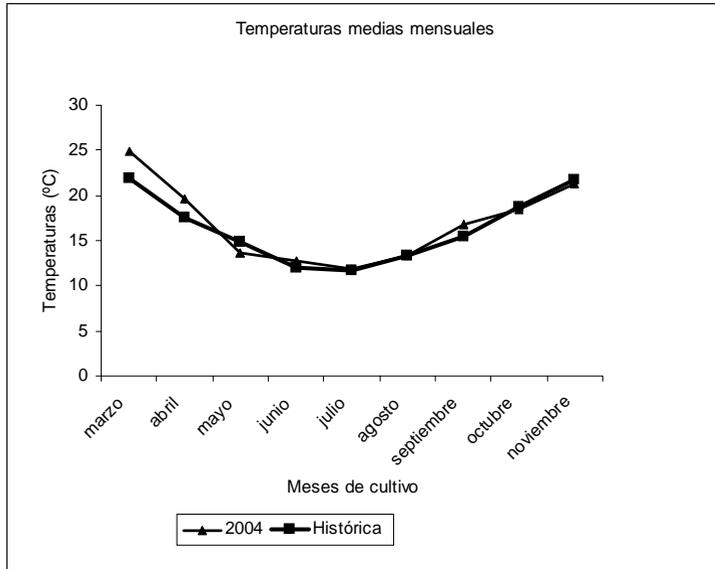


Fig. 2: Temperaturas medias mensuales para el periodo Marzo–Noviembre, e históricas de para el periodo 1941-1960 obtenidas de Cáceres (1980)

buena exploración, alcanzando la máxima profundidad de extracción a 1,5 metros -inferida a partir de los datos de extracción de agua- 30 días antes de la cosecha, límite considerado crítico, donde el agua dejó de estar fácilmente disponible (Fig. 4a).

En el caso de TR, la ETC superó ampliamente los valores de ETo (Cuadro 2) debido a los aportes por riego. De acuerdo al criterio establecido por el balance hídrico se determinaron cuatro riegos, aplicándose láminas netas de 29 y 35 mm en el primer y segundo riego, más otros dos de 50 mm cada uno. El primero se realizó el 20/08 (Z2.4), ya que en dicho mes las lluvias fueron nulas y en los dos meses previos llovieron 40 mm (Figura 1). El siguiente fue una semana posterior (27/08), lo que da cuenta del agotamiento de agua útil del suelo. El tercer y cuarto riego fueron realizados el 15/09 (Z3.5) y el 24/09

(Z4.5), respectivamente. Durante el mes de octubre no fue necesario regar dado que se produjeron precipitaciones suficientes (Fig. 1) que permitieron recargar el perfil y dejar a disposición del cultivo el agua necesaria para el período de llenado de granos.

De todos los riegos aplicados, se destaca que a partir del segundo es donde el consumo de agua comenzó a aumentar significativamente respecto a TS (Fig.a 5), resultando un incremento en todo el ciclo de 135 mm.

Coefficiente de cultivo (kc). El kc es el factor que integra el efecto de características morfológicas y fisiológicas del cultivo con la dinámica de evaporación desde el suelo, que afectado a la Eto resulta en la ETC (Dardanelli *et al*, 2003). Por lo tanto, dicho factor varía a lo largo del ciclo del cultivo,

Cuadro 2: Biomasa de granos (BG), evapotranspiración de referencia (Eto), evapotranspiración del cultivo (ETc), precipitación efectiva (Pe), lámina de riego (LR), fracción de ETc y eficiencia de uso del agua de grano (EUA grano); para ambos tratamientos.

Variable	Tratamiento	
BG (14%) kg ha ⁻¹	TR	3951 a
	TS	2433 b
Eto (mm)		441
ETc (mm)	TR	514
	TS	379
Pe (mm)	TR	203
	TS	203
LR (mm)		164
Fracción de ETc TR (%)	Riego	32
	Lluvias	39
	Suelo	29
Fracción de ETc TS (%)	Lluvias	54
	Suelo	46
EUA grano kg m ⁻³	TR	0,77
	TS	0,64

Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

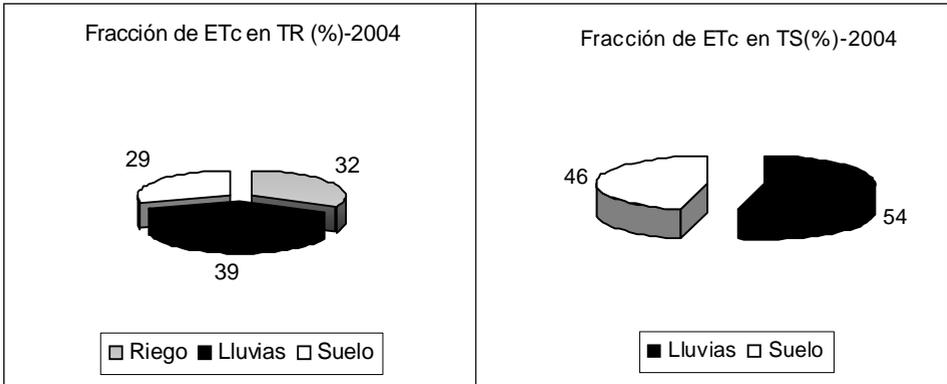


Fig. 3a: Porcentajes de aporte de agua por las precipitaciones, riego y suelo, a la ETc, en el año 2005 para el tratamiento TR.

Fig. 3b: Porcentajes de aporte de agua por las precipitaciones, riego y suelo, a la ETc, en el año 2004 para el tratamiento TR.

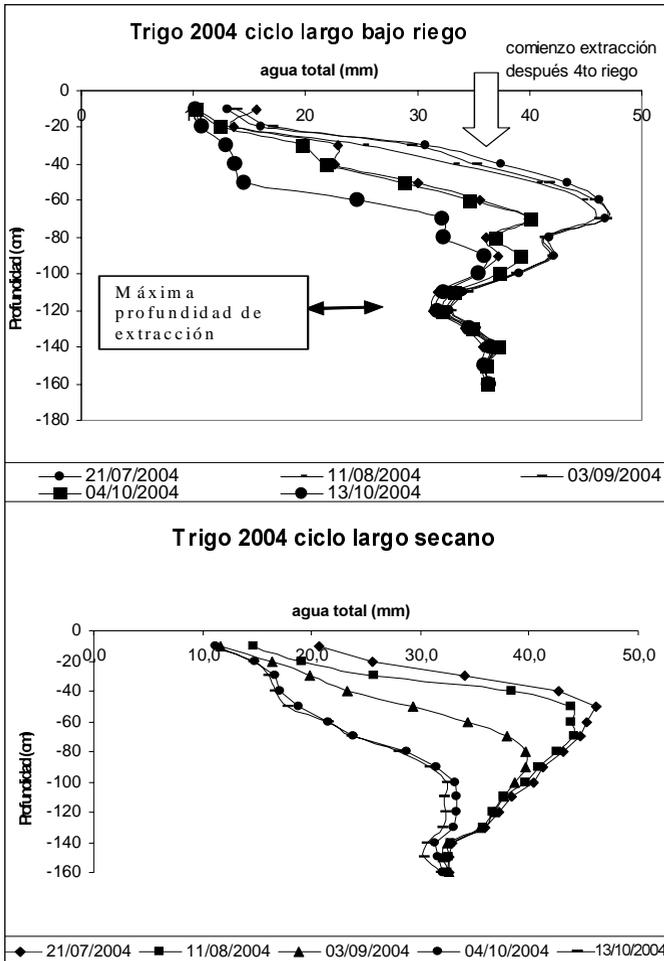


Fig. 4a: Contenido hídrico y profundidad de extracción del cultivo de trigo en diferentes fechas para el año 2004 bajo riego.

Fig. 4b: Contenido hídrico y profundidad de extracción del cultivo de trigo en diferentes fechas para el año 2004 en seco.

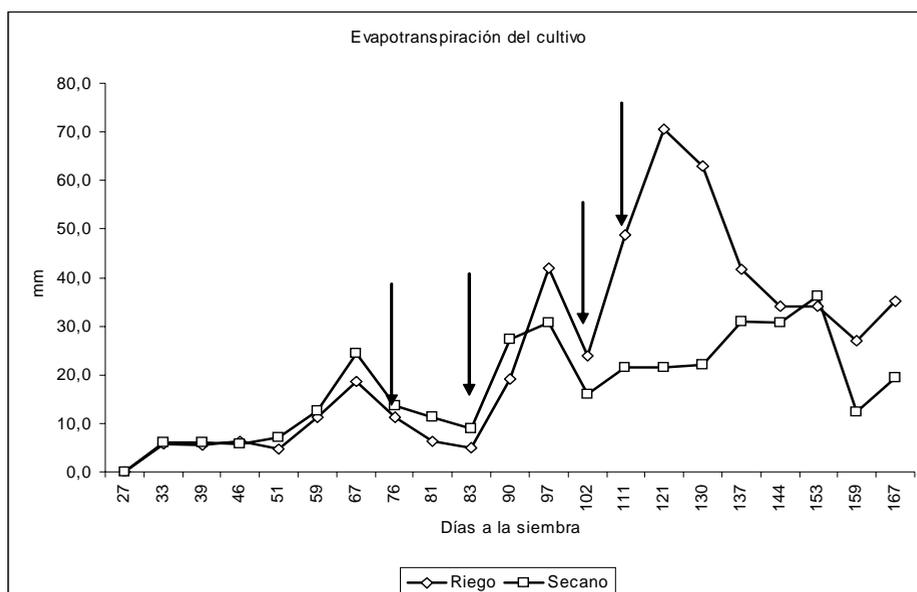


Fig. 5: Evolución de la ETC de trigo desde la siembra. Las flechas indican el momento riego.

con lo cual varía en cada cultivo y en cada año.

En TR la curva de kc representa la condición sin estrés hídrico, alcanzándose valores máximos (Fig. 6), muy superiores a 1,2 que refiere la bibliografía (Allen *et al.*, 2006). En secano, si bien los valores estuvieron próximos a 1,2, se detectaron momentos de déficit hídrico, por lo que se definió un coeficiente de estrés (kh) que relaciona el coeficiente de cultivo en secano, para ese período, con el kc máximo en riego.

En la Fig. 6 se puede observar las tres fases del kc. Es importante destacar que el primer riego no generó un impacto significativo en el desarrollo y crecimiento del cultivo -y por lo tanto en el rendimiento final-, debido a que en ese momento del ciclo (Z2.4), el trigo todavía tuvo a su disposición agua almacenada previo a la siembra. Por lo tanto, éste primer riego pudo haberse suprimido, de haber tenido otro criterio de riego que considere mayor profundidad de extracción.

Rendimientos. En cuanto a rendimientos, se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos, de 1338 kg ha^{-1} a favor del riego (Fig. 7). Dichas diferencias se debieron a que la aplicación de agua por riego en la etapa de elongación del tallo (Z 3.0) permitió la supervivencia de más macollos que en TS - y por lo tanto, de más espigas (Miralles, 2004), tal como se observa en el Cuadro 3. Dicha supervivencia -cuantificada indirectamente por el número de espigas logradas por unidad de superficie- puede haber respondido a la inexistencia de competencia intraespecífica por recursos, especialmente el agua, durante Z3.0, donde la persistencia de macollos depende principalmente de los fotoasimilados disponibles (Maddoni & De La Fuente, 2004).

En cuanto a las espiguillas por espiga y espiguillas fértiles por espiga, no se observaron diferencias entre tratamientos. Los resultados obtenidos en Esperanza coincidieron con los obtenidos por Salinas *et al.* (2004)

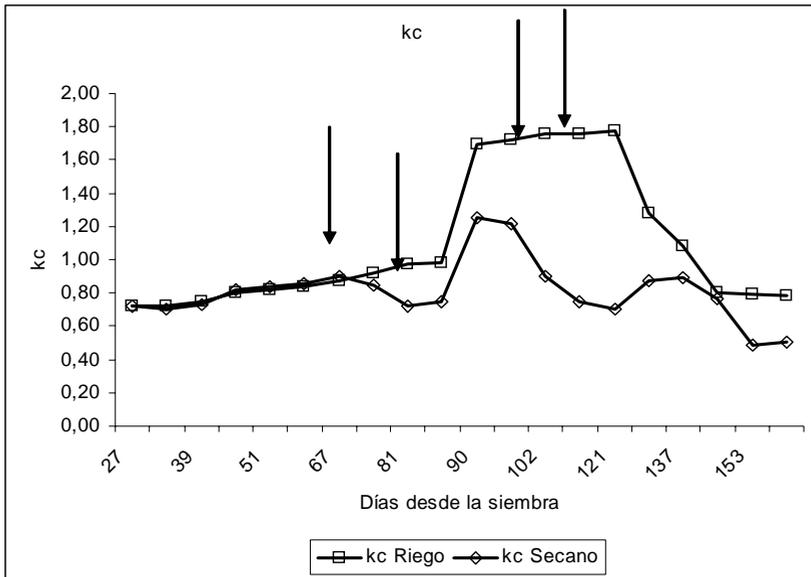


Fig. 6: Evolución del kc de para ambos tratamientos. Las flechas indican los momentos de riego.

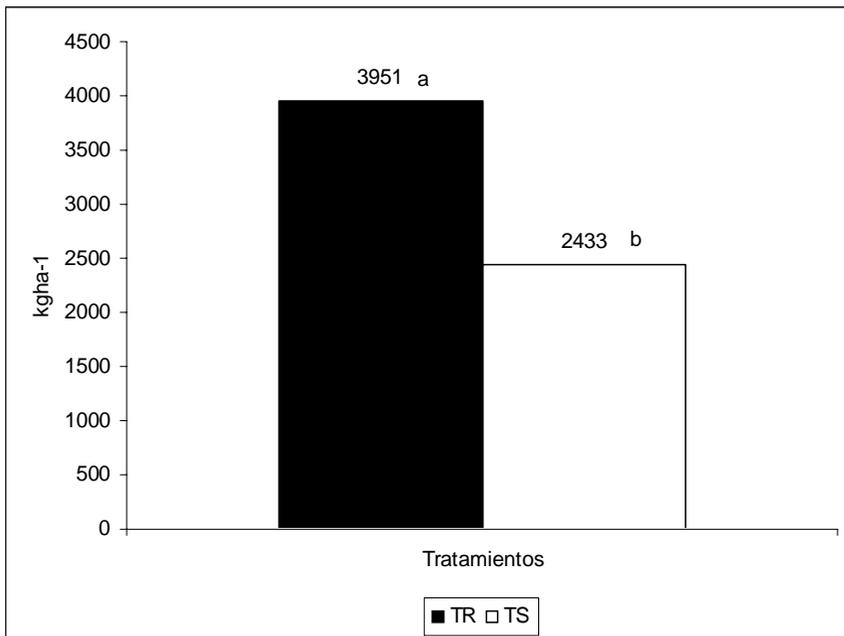


Fig. 7: Rendimientos (kg ha⁻¹) del cultivo de trigo, en los tratamientos bajo riego y seco, para el año 2004. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) de acuerdo a Tukey.

en la región central de Córdoba. Estos autores realizaron ensayos experimentales durante siete años (1996–2003), determinando que, de todos estos cultivos, el de mayor variabilidad de rendimiento a través de los años fue el trigo; y que, tanto para años húmedos como secos, éstos fueron explicados por el mayor número de granos antes que por el peso de los mismos.

Los dos últimos riegos, aplicados en la etapa reproductiva -Z3.5 y Z4.5, respectivamente- se realizaron considerando que este período es muy sensible al déficit hídrico, ya que ocurre la meiosis del grano de polen (Slafer *et al.*, 2003). Una vez que se diferenció la espiguilla terminal, comienza la diferenciación de flores -aproximadamente 7 a 11 por espiguilla- de las que sobreviven sólo 3 a 5, debido a la fuerte competencia entre el tallo y la espiga en crecimiento (Kirby, 1988; Slafer *et al.* 1996; Heinemann *et al.*, 2005). Por lo tanto, es probable que dichos riegos, hayan influido aumentando el número de flo-

res por espiguilla y el peso potencial de los ovarios, logrando aumentar el número de granos por superficie.

En cuanto a la fenología, se encontraron más macollos en TR, mientras que TS tuvo tendencia a adelantarse en el ciclo (Cuadro 3).

Índice de Área Foliar (IAF) e Índice de Cosecha (IC). La disponibilidad hídrica en momentos de máxima ETC, permitió aumentar significativamente ($P < 0,05$) el IAF en TR (3,61) respecto a TS (1,35). A partir de estos datos es posible inferir que esta mayor cantidad de hojas captó más radiación solar, generando mayor cantidad de asimilados disponibles para el llenado de granos, en TR respecto a TS. Con esto se logró baja competencia entre tallo y espigas, mayor participación de dichos asimilados a órganos reproductivos, y mayor tiempo de llenado, logrando un aumento del IC. Por lo que se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$)

Cuadro 3: Fenología en distintas fechas para ambos tratamientos, según escala de Zadoks.

Fecha	Tratamientos	Fenología
05/06/2004	TR/TS	Z0.0
10/06/2004	TR/TS	Z0.5
16/06/2004	TR/TS	Z1.0
10/09/2004	TR	Z3.3
	TS	Z3.2
13/10/2004	TR	Z5.8
	TS	Z6.0
19/10/2004	TR	Z6.2
	TS	Z6.2
27/10/2004	TR	Z7.05
	TS	Z1.0
23/11/2004	TR/TS	Z9.2

de IC entre tratamientos a favor de TR (Cuadro 4). Este comportamiento coincide con el encontrado por Zhang *et al.* (1998), quienes trabajando con riego suplementario en un cultivo de trigo, aumentaron el consumo de agua post antesis, y por lo tanto la BA, incrementando el IC de 0,34 a 0,40. De todos modos, el IC en seco, en ambientes de la región pampeana, es difícil de aumentar debido a que el agua almacenada en el suelo en post antesis es baja (Dardanelli *et al.*, 2003).

También se encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) en el peso de los granos (Cuadro 3). Éstas se originaron por la menor disponibilidad de agua en el período de llenado de granos para TS.

Eficiencia de uso de agua (EUA). TR tuvo mayor EUA (Cuadro 4), debido a que la aplicación de agua en momentos críticos del cultivo permitió aumentar la BG. La EUA_R

adicional producida por el riego -esto es la relación entre la diferencia de rendimientos entre riego y seco, y la lámina de riego-, fue mayor que la EUA_G de TR. Esto es muy importante ya que en caso de ser menor, la aplicación del riego no tendría el impacto productivo esperado, y no tendría diferencias significativas con TS.

Por otra parte, las pérdidas de agua no son sólo por transpiración, sino también por evaporación directa desde el suelo (Pergolini *et al.*, 2004), y por lo tanto, las condiciones en que se realizó el cultivo pueden generar diferencias en la EUA. Es decir que, para lograr mayores EUA, se debe tener en cuenta prácticas de manejo que reduzcan la evaporación desde el suelo (cultivos de cobertura –siembra directa-, siembras tempranas, etc.); y aquellas que aumenten la transpiración (control de malezas, riego suplementario, etc.)

Es importante tener en cuenta que el rie-

Cuadro 4: Espigas m^{-2} , espiguillas/espiga, espiguillas fértiles/espiga, Materia Seca (MS) grano, MS total, Índice de Cosecha (IC), Peso de 1000 granos, Eficiencia de uso del agua total (EUA_T), EUA de grano (EUA_G), EUA diferencial debida al riego (EUA_R) y Cociente foto termal (Q); para ambos tratamientos en el año 2004.

Tratamientos	TR	TS
espigas/ m^2	714a	604b
espiguillas/espiga	15 a	15 a
espiguillas fértiles/espiga	14 a	13 a
MS grano kg ha ⁻¹	3481a	2143b
MS total kg ha ⁻¹	11112a	7571b
IC	0,31a	0,28b
Peso 1000 granos (gr)	31a	29b
EUA_T	2,16	2
EUA_G	0,77	0,64
EUA_R	0,93	
$Q(MJ m^{-2} d^{-1} °C^{-1})$	1,4	1,4

Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) de acuerdo a Tukey

go no siempre genera una mayor eficiencia en el uso del agua. Zhang *et al.* (1998) encontraron que la EUA en un cultivo de trigo disminuyó cuando se combinó un tratamiento de fertilización y riego, en comparación a uno fertilizado sin riego. Esta respuesta, se debió a que el incremento en la tasa de transpiración fue proporcionalmente mayor que el incremento en la tasa de fotosíntesis. En todos los tratamientos fertilizados, con o sin riego, se elevó la EUA por aumento de la tasa fotosintética. Abatte *et al.* (2004) estudiando la EUA, determinaron que la misma fue mayor para los experimentos con limitación del agua, atribuyendo tales resultados al efecto del déficit de presión de vapor sobre el cierre estomático (resistencia estomática).

Por otra parte, Caviglia & Sadras (2001) y Caviglia *et al.* (2005) -estudiando la relación entre EUA, radiación y nitrógeno-, determinaron que existe una relación directa entre la EUA y la eficiencia del uso de la radiación (EUR), que explica el 60% de las variaciones en la EUA (Castellarín *et al.*, b, 2005). Para ser eficientes en el uso del recurso radiación, independientemente de la especie cultivada (sea C3 o C4), se debe conseguir su captación. La utilización del riego en etapas tempranas del cultivo logró aumentar rápidamente el IAF, cubriendo más rápidamente el suelo, contribuyendo de esta manera a elevar la EUA.

Cociente fotothermal (Q). Villar & Astegiano (2003), indican que la integración de la temperatura y la radiación en el cociente Q, para la etapa crítica de determinación del rendimiento, permite visualizar mejor las condiciones a que se expone al cultivo en dicha etapa, como así también las diferencias en el potencial de distintos ambientes para la producción. Si bien en el presente ensayo no se evaluaron distintos ambientes, es de importancia generar información acerca de dicho cociente –la cual es escasa-

ya que el mismo puede explicar en cierta medida, el comportamiento de un cultivo de trigo.

El Q promedio, obtenido para el trimestre agosto-septiembre-octubre del año 2004 fue $1,4 \text{ MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}\text{°C}^{-1}$, coincidiendo con los obtenidos por Magrín *et al.* (1993) en Paraná (Cuadro 4). Estos meses son de gran interés, ya que durante ellos ocurre el período crítico de definición del rendimiento.

En el mes de octubre, en el cual ocurrió el período crítico de determinación del rendimiento de trigo, Q fue de 1,6; mayor al obtenido en agosto y septiembre, los cuales fueron de 1,3. Por lo tanto, para el año 2004, el mes con mayor calidad ambiental (temperatura y radiación) para colocar el período crítico del trigo fue octubre.

Ambientes de menor calidad por menores valores de Q, probablemente presenten menores rendimientos. Así lo confirman varios autores (Fischer, 1985; Abbate *et al.*, 1994; Caviglia *et al.*, 2001), que indican que dicho cociente da cuenta de la mayor parte de las variaciones en el rendimiento potencial del trigo. Por lo tanto, haber colocado el período crítico en el mes de octubre (mes de mayor Q), significó –como se mencionó anteriormente- colocar al cultivo en el mes de mejores condiciones para la obtención de rendimientos objetivo.

Sin embargo no siempre las variaciones de rendimientos en trigo en condiciones no potenciales (sin riego y control de enfermedades) se deben sólo a variaciones en el Q (Milisich, 2004).

CONCLUSIONES

La región central de Santa Fe presenta momentos de déficit hídricos en los meses de septiembre y octubre que afectan los rendimientos del cultivo de trigo. El uso de riego suplementario permitió incrementar

significativamente en un 38 % la producción de grano. La lámina de riego aplicada fue superior a la necesaria si se considera el criterio de permitir el agotamiento del agua útil en los 40 cm superiores de suelo, en cualquier momento del ciclo. Se podría disminuir la cantidad de agua aplicada considerando una mayor profundidad de extracción de agua en suelo, y así disminuir costos de operación del riego.

Las diferencias de rendimientos se explicarían principalmente por un mayor número de espigas logradas, debido a la generación y supervivencia de más macollos como consecuencia de la mayor disponibilidad del recurso agua, respecto a secano. En cuanto a la eficiencia del uso del agua, los valores mayores obtenidos en riego permiten inferir un uso adecuado.

BIBLIOGRAFÍA

- ABBATE, P.; ANDRADE, J. & CULOT, J.P.** 1994. Boletín técnico N° 133. EEA Inta Balcarce. 17 pp.
- ABBATE, P.; DARDANELLI, J.; CANTARERO, M.; MATURANO, M.; MELCHIORI, R. & SUERO, E.** 2004. Climatic and Water Availability Effects on Water-Use Efficiency in Wheat. *Crop Sci.* 44:474-483
- ALI, M.H.; HOQUE, M.R.; HASSAN, A.A. & KHAIR, A.** 2007. Effects of deficit irrigation on yield, water productivity, and economic returns of wheat. *Agricultural water management* 92:151-161
- ALLEN, R.; PEREIRA, L.; RAES, D. & SMITH, M.** 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. Roma. 298 pp.
- ASTEGIANO, E.; VILLAR, J.; FRANA, J. & HERMANN, M.** 2005. Evaluación de paquetes tecnológicos en el cultivo de trigo en la región central de Santa Fe. I: Análisis del comportamiento hídrico y fertilización. *Información Técnica de Trigo*. Publicación Miscelánea N° 103. INTA Rafaela. Disponible en: www.inta.gov.ar/rafaela/
- BRAY R. & L. KURTZ.** 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorous in soils. *Soil Sci.* 59:29-45.
- CÁCERES, L. M.** 1982. Caracterización climática de la Prov. de Santa Fe. Min. Agr. y Gan., D.G. Suelos y Aguas.
- Castellarín, J.M.; Pedrol, H.M.; Andriani, J. & Salvagiotti, F.** (a) 2005. Influencia de los elementos climáticos –precipitaciones, temperaturas y radiación– sobre el rendimiento y las enfermedades del cultivo de trigo en Oliveros (Santa Fe). Serie N°28, p. 8-12. Disponible en: www.inta.gov.ar/oliveros/
- CASTELLARÍN, J.M.; SALVAGIOTTI, F.; ANDRIANI, J.; PEDROL, H.M.; ROSSO, O. & DIGNANI, D.** (b) 2005. Influencia de la disponibilidad de agua y de la radiación sobre parámetros fisiológicos en cultivares de trigo con diferente estructura de canopeo. 7ª Conferencia Mundial de Trigo. Mar Del Plata (Buenos Aires). INTA EEA Oliveros. Serie N° 31, p. 11-13. Disponible en: www.inta.gov.ar/oliveros/
- CAVIGLIA, O.P.; MELCHIORI, R.J.M. & PAPANOTTI, O.F.** 2005. Vínculos entre la eficiencia en el uso del nitrógeno, el agua y la radiación en trigo”. INTA EEA Paraná. Disponible en: www.inta.gov.ar/parana
- CAVIGLIA, O.P. & SADRAS, V.O.** 2001a. Effect of nitrogen supply on crop conductance, water- and radiation-use efficiency of wheat. *Field Crops Research* 69: 259-266.

- CAVIGLIA, O. P.; ABBATE, P. E.; PAPA-ROTTI, O. F.; MELCHIORI, R. J. F. & BARBAGELATA, P. A.** 2001. Actas del V Congreso Nacional de Trigo / III Simposio Nacional de Cereales de siembra otoño-invernal. Carlos Paz, Córdoba.
- DARDANELLI, J.; COLLINO, D.; OTEGUI, M. E. & SADRAS, V. O.** 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano". (p:375-440). En Pascale, J.A.(ed). "Producción de Granos: Bases Funcionales para su Manejo. Ed. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- DELLA MAGGIORDA, A. I.; GARDIOL, J. M. & IRIGOYEN, A. I.** 2000. Requerimientos hídricos. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Andrade, F. E. & Sadras, V. O, editores.
- ECHEVERRÍA, H. & GARCÍA, F.** 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. Boletín Técnico No. 149. EEA INTA Balcarce. Buenos Aires, Argentina. 16 pp.
- FISCHER, R. A.** 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci.* 105:447-461.
- HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; TRINDADE, M. DA G.; SOARES, B. B.; MOREIRA, J. A. A. & CÁNOVAS, A. D.** 2005. Eficiência de uso da radiação solar na produtividade do trigo decorrente da adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.10, n.2, p.352-356. Campina Grande. Disponible en: www.agriambi.com.br
- IMHOFF, S.; M. PILATTI & M. SOSA.** 1996. Nitrógeno orgánico en molisoles del centro de Santa Fe. *Revista FAVE*, 9 : 10-18.
- INTA RAFAELA.** 1991 Carta de suelos de la República Argentina. Santa Fe. 135 pp
- KIRBY, E. J. M.** 1988. Analysis of leaf, stem and ear growth in wheat from terminal spikelet stage to anthesis. *Field Crops Res.* 18:127-140.
- JACKSON, M. L.** 1982. Análisis químico de suelos. 4a. edición. Edit. Omega, Barcelona. 663 p.
- MADDONNI, G. A. & DE LA FUENTE.** 2004. Estructura del cultivo. (p:375-440). En Pascale, J.A. (ed). *Producción de Granos: Bases Funcionales para su Manejo.* Ed. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- MAGRÍN, G. O.; HALL, A. J.; BALDY, C. & GRONDONA, M. O.** 1993. Spatial and interannual variations in the photothermal quotient: implications for the potential kernel number of wheat crops in Argentina. *Agric. For. Meteorol.* 67:29-41.
- MARANO, R. P. et al.** 1996. Riego suplementario en la cuenca lechera del centro-este Santa Fe. *Revista Miscelánea.* N° 77. EEA INTA Rafaela.
- MARTELLOTTO, E. SALINAS, A; GIUBERGIA, J. P.; SALAS, P. & LOVERA, E.** 2004. Riego suplementario en cultivos extensivos en la Provincia de Córdoba. Proyecto regional de Agricultura sustentable e impacto ambiental. EEA INTA Manfredi: www.inta.gov.ar/manfredi/
- MILISICH, H. J.; CAVIGLIA, O. P. & SALUSO, J. H.** 2004. Evaluación de las relaciones entre el rendimiento de trigo y variables sanitarias y ambientales. INTA EEA Paraná. Disponible en: www.inta.gov.ar/paraná
- MIRALLES, D. J.** 2004. Consideraciones sobre ecofisiología y manejo de Trigo. INTA Rafaela. Publicación Miscelánea N° 101. Disponible en www.inta.gov.ar/rafaela
- ORELLANA, J.** 1992. El problema de los horizontes B texturales y sus posibles soluciones. *FAVE.*
- SALAS, C.** 2005. Tendencias en el mejoramiento del cultivo de trigo. Disponible en www.acopiadores.com

- SALINAS, A.; GIUBERGIA, J.; MARTELOTTO, E.; LOVERA, E.; MASANTA, M.; LINGUA, S., ALVAREZ, C. & VIGLIANCO, O.** 2007. Densidad de siembra y rendimiento en grano de diferentes variedades de trigo bajo riego. Boletín de divulgación técnica N° 1. Abril. INTA EEA Manfredi. Disponible en: www.riego.org.ar/resuCult/Trigo2007BoletinNro1
- SALINAS, A; MARTELOTTO, E.; GIUBERGIA, J. P.; SALAS, P. & LOVERA, E.** 2004. Producción de trigo con riego suplementario en el área centro norte de la provincia de Córdoba. Proyecto regional de agricultura sustentable e impacto agroambiental. INTA EEA Manfredi. Disponible en: www.inta.gov.ar/manfredi/
- SATORRE, E.** 2007. Patrón de distribución y comportamiento de cultivares de trigo en las distintas áreas productivas de Argentina. 2ª Jornada de Trigo de la Región Centro. Anales Bolsa de Comercio de Rosario.
- SLAFER, G. A.; MIRALLES, D.J.; SAVIN, R.; WHITECHURCH, E. M. & GONZÁLEZ, F. G.** 2003 Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y calidad en trigo. En: Producción de Granos: Bases Funcionales para su Manejo. Pascale, A. (Ed.) Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. pp: 99-132.
- SLAFER, G. A. & SATORRE, E. H.** 1999. An introduction to the Physiological-Ecological analysis of wheat yield; en Satorre, E.H. y Slafer, G.A. (eds.) Wheat ecology and physiology of yield determination. Food products Press, Nueva York.
- SLAFER, G. A.; CALDERINI, D. F. & MIRALLES, D. J.** 1996. Yield components and compensation in wheat: opportunities for further increasing yield potential. In: Increasing Yield potential in wheat: Breaking the Barriers. M.P. Reynolds, S. Rajaram, A. Mac Nab (eds.). Mexico, D.F. Cimmyt. Pp 101-133.
- VENTIMIGLIA, L.** 2004 Seminario Crompton 2004 Trigo al día: El rol de la fertilidad y la rotación de cultivos sobre la sostenibilidad del sistema de producción. Argentina. pp: 1-9
- VILLAR, J. & ASTEGIANO, E.** 2004. Evolución de algunos parámetros climáticos durante las campañas trigueras 2002 y 2003 como condicionantes de los rendimientos. Información Técnica de trigo. Publicación Miscelánea 101. INTA Rafaela. Disponible en: www.inta.gov.ar/rafaela/
- ZADOKS, J., T. CHANG & C. KONZAK.** 1974. A decimal code for the growth stage of cereals. Weed Research 14:415-421.
- ZHANG, H.; OWEIS, T.Y.; GARABET, S. & PALA, M.** 1998. Water-use efficiency and transpiration efficiency of wheat under rain-fed conditions and supplemental irrigation in Mediterranean-type environment. Plant Soil 201:295-305.
