

EL USO CONSUNTIVO EN EL PERÍODO CRÍTICO PARA LA PREDICCIÓN DEL RENDIMIENTO EN GRANO DE TRIGO PAN, TRIGO CANDEAL Y TRITICALE EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA PAMPEANA

CONSUMPTIVE WATER USE IN THE CRITICAL PERIOD AS PREDICTOR OF GRAIN YIELD OF BREAD WHEAT, DURUM WHEAT AND TRITICALE IN THE PAMPEAN SEMIARID REGION

Fernández Miguel Angel ^{1*} & Osvaldo Zingaretti ¹

Recibido 15/10/2015
Aceptado 16/12/2015

RESUMEN

El trigo pan es el cultivo invernal de mayor importancia en la región semiárida pampeana. El trigo candeal y el triticale granífero no se cultivan en la zona pero poseen antecedentes de mejor comportamiento en ambientes semiáridos. Los rendimientos de trigo pan muestran gran variabilidad interanual en la zona (989 a 2664 Kg.ha⁻¹). El CFT de Fischer durante el periodo crítico (PC) es un indicador simple relacionado al potencial de rendimiento, pero pierde precisión en ambientes con estrés. La incorporación del Uso Consuntivo (UC) a la ecuación de CFT durante el PC mejoraría la explicación del rendimiento en grano logrado en esta región. Los ensayos se realizaron en el campo de la Facultad de Agronomía, de la UNLPam (36° 46' S y 64° 16' W; 210 msm) sobre un suelo haplustol éntico. El UC mostró una relación lineal positiva significativa con el rendimiento de grano. Por cada mm.d⁻¹ de UC adicional se lograron 1175 Kg.ha⁻¹. Cuando se utilizaron el CFT y el UC en una misma ecuación no aumentó el grado de explicación. Es así que la producción de los cultivos invernales anuales en la región semiárida pampeana podrá ser estimada con el UC en el PC sin la utilización del CFT.

PALABRAS CLAVE: trigo, uso consuntivo, coeficiente foto termal.

ABSTRACT

Bread wheat is the most important winter crop in the Pampean semiarid region. Durum wheat and grain triticale have not been commercially grown in that region in spite of their background of good performances in semiarid environments. Bread wheat yields observed in the region show a high interannual variability (989 to 2664 kg.ha⁻¹). The Fischer photo-thermal quotient (PTQ) during the critical period (CP) is a simple indicator of grain yield potential, but loses accuracy for conditions of environmental stress. Some evidences indicate that adding the variable consumptive water use (CWU) into the same prediction equation together with PTQ could improve the explanation of grain yield observed in the region. Field tests were performed in the Agronomy Faculty of the Universidad Nacional de La Pampa (36° 46' S and 64° 17' W; 210 m above sea level) on an Entic Haplustoll soil. Measured CWU showed a significant positive correlation with grain yield. An additional yield of 1175 kg.ha⁻¹ was observed per every unit (mm.d⁻¹) of CWU. The degree of explanation of grain yield was not improved when PTQ and CWU were used together in the same prediction equation. It is concluded that, during the CP, grain production of winter annual crops in the Pampean semiarid region can be adequately predicted by the variable CWU without using PTQ.

Como citar este trabajo:

Fernández M.A. & O. Zingaretti. 2015. El uso consuntivo en el período crítico para la predicción del rendimiento en grano de trigo pan, trigo candeal y triticale en la región semiárida pampeana. *Semiárida Rev. Fac. Agron. UNLPam.* 25(2): 29-39

KEY WORDS: wheat, consumptive use, photo-thermal quotient.

¹ Facultad de Agronomía. UNLPam. * mfernandez@agron.unlpam.edu.ar

INTRODUCCIÓN

El trigo pan (*Triticum aestivum*. L) es el cultivo invernal de mayor importancia en la región semiárida pampeana central, pero los rendimientos presentan gran variabilidad interanual, desde 989 Kg.ha⁻¹ (año 2009) hasta 2664 Kg.ha⁻¹ (año 2012) (SIIA, 2015).

Existe un período crítico en la definición del rendimiento que varía según los investigadores, para Fischer (1985), quien trabajó en Australia, va desde los 20 días previos a la antesis hasta los 10 días posteriores a la misma; mientras que para Dhillon & Ortiz-Monasterio (1993), lo ubicaron 30 días antes de floración. Nix (1976) propuso por primera vez el Coeficiente fototermal (CFT) en el período crítico (PC) como un indicador simple relacionado al potencial de rendimiento. Durante este período la radiación fotosintéticamente activa interceptada afecta al número de granos por m² a través de una relación lineal positiva con la tasa de crecimiento del cultivo (para un nivel determinado de partición entre el tallo y la espiga en pre-floración gobernado, principalmente, por el genotipo), mientras que, la temperatura media diaria lo hace negativamente, acelerando el desarrollo. Fischer (1985) definió a partir de estas ideas, el CFT, representado por la ecuación $CFT = R / (T - T_b)$; donde, R es la radiación solar media diaria en el dosel del cultivo (MJ m⁻².d⁻¹) para el intervalo definido como crítico; y T es la temperatura media diaria y T_b es una temperatura base para el desarrollo de 4,5 °C. Este método de calcular el CFT fue utilizado por Solis Moya *et al.* (2004). Rawson (1988) y Richards (2000) también propusieron que el CFT en los 30 días previos a la antesis explica en mayor medida el rendimiento de trigo en ambientes templados y tropicales. Mediante el uso de modelos, Nalley *et al.* (2009) reportaron que por cada MJ m⁻².d⁻¹ que aumentó la radiación se incrementó el 1,25% el número de granos por m², mientras que el aumento de un grado en la temperatura media disminuyó el 2,8% el número de granos por m². Fischer (1985) encontró una reducción en el número de granos por unidad de superficie de 4% por cada grado de aumento en la temperatura en los 30 días previos a la floración. Otros

autores también han concluido que hay una relación directa entre el crecimiento del trigo y el CFT en el período crítico (Khichar & Ram, 2007; Ahmed *et al.*, 2010). Sin embargo, en un ensayo realizado en la zona de estudio, el CFT solo tuvo una asociación positiva con el rendimiento cuando se aplicó riego, no así en secano (Brevedan *et al.*, 2008).

El CFT podría ser válido en condiciones libres de estrés y con un índice de área foliar que intercepte completamente la radiación solar (Magrin *et al.*, 1993; Acevedo *et al.*, 2002). Por otro lado, Calviño & Sadras (2002) observaron que el CFT no estuvo relacionado al rendimiento de grano durante el período crítico de fijación del número de granos excepto cuando el déficit hídrico en ese momento fue menor a 10 mm. En otro sentido, la respuesta a buenas condiciones hídricas puede estar condicionada por el CFT (Villar & Astegiano, 2004). La variación del consumo de agua por el cultivo trigo y triticale en la región semiárida pampeana produjo que existiera nula asociación entre el CFT y el rendimiento de grano (Fernández, 2007).

Los estudios realizados para determinar el estado de desarrollo en el cual el rendimiento es más sensible al estrés hídrico, han producido resultados todavía inconsistentes. Sin embargo, en la mayoría de los casos el número de granos por unidad de área es generalmente el componente más determinante del rendimiento. De acuerdo a esto, los períodos durante el cual el rendimiento de trigo responde más al estrés hídrico es: a) el período de muerte de macollos, b) cuando las flores se forman y los granos cuajan y c) durante el llenado de grano temprano cuando estos pueden abortar debido a falta de asimilados (Turner, 1997; Dennet, 1999). Varios autores han sugerido que el trigo es más sensible al estrés hídrico desde principio de encañazón hasta grano lechoso (Intalap, 1968; Erc, 1988; Li, 1990; Zhang *et al.* 1999; Zhang *et al.*, 2006). El déficit hídrico provoca principalmente una disminución en la capacidad de captura de radiación, determinando una menor producción de biomasa y consecuentemente del rendimiento en grano (Fernández, 2013).

Cuando se redujo el consumo de agua en floración o en grano lechoso también cayó el ren-

dimiento de grano, aunque el período de mayor sensibilidad a la caída del Uso Consuntivo (UC) fue la encañazón (Intalap, 1968; Passioura & Angus, 2010). En un trabajo realizado en la Planicie del norte de China, Zhao *et al.* (2007) encontraron valores mayores de UC en el período de espigazón a madurez que de inicio de encañazón a espigazón, por lo que se puede esperar que el período crítico pueda variar de acuerdo a la zona estudiada.

El triticale granífero (X *Triticosecale*, Wittmack) y el trigo candeal (*Triticum durum*, Desf.) son cereales adaptados a zonas de alta variabilidad hídrica, puesto que el triticale requiere alrededor de un 30% menos de agua para lograr igual cantidad de biomasa que el trigo (Hede, 2000). A su vez, el trigo candeal (Bozzini, 1988) y el triticale (Morgan, 1992; Oettler, 2005) son más resistentes a la sequía que el trigo pan. Por otro lado, Giunta *et al.* (1993) encontraron una reducción más abrupta del rendimiento en trigo candeal que en triticale ante un estrés hídrico. Con estas especies podría esperarse una mayor respuesta a un mayor CFT en el PC.

Hipótesis:

- El agregado del UC a la ecuación de CFT durante el período crítico mejorará la explicación del rendimiento en grano de trigo pan logrado en la región semiárida pampeana.
- El triticale y el trigo candeal al poseer mayor adaptación a ambientes con estrés hídrico se independizarán del UC y tendrá mayor explicación el CFT por sí sólo.

Objetivo:

- Evaluar la capacidad de predicción del CFT del UC y de ambos juntos sobre el rendimiento en grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron en el campo experimental de la Facultad de Agronomía, de la UNLPam (36° 46' S; 64° 16' W), Los datos climáticos medios se vuelcan en la Tabla 1. Cada uno de los ensayos anuales se sembró en parcelas de siete surcos a 0,20 m, de 10 m de longitud. Se utilizó un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones. La siembra fue en la primera quin-

cena de julio, con una densidad de 300 semillas viables por metro cuadrado. Se utilizaron tres especies en experimentos a campo: *Triticum aestivum* L var "Buck Guarani", *Triticum durum* Desf. var. "Buck Cristal" y X *Triticosecale* Wittmack var. "Eronga 83 TCL"; las que fueron evaluadas durante un período de 13 años. Se seleccionaron variedades de ciclo fenológico semejante. La variedad de triticale "Eronga 83 TCL" fue elegida en base a información previa propia de buen comportamiento comparado a otros triticales en el lugar de estudio y confirmando este comportamiento ha sido utilizada como testigo en ensayos de inscripción de variedades en México (Lozano del Río *et al.*, 2002). Esta variedad de triticale también fue elegida por Reynolds *et al.* (2004) para estudiar la interacción genotipo por ambiente. La variedad de trigo candeal "Buck Cristal" fue elegida por su buen comportamiento en ensayos previos en el sitio de estudio comparado a otras 5 variedades de trigo candeal argentinas (Fernández, 2008). La variedad de trigo pan "Buck Guarani" fue elegida por poseer un ciclo fenológico semejante al de las otras dos especies y a su vez es recomendada como estable para la zona de estudio, dentro de los ciclos intermedios-cortos para la época de siembra elegida (Babinec *et al.*, 1998).

El lugar de los ensayos fue siempre un lote de 20 has (Campo experimental) dividido en cuadrantes con rotación con pastura en base a una asociación entre alfalfa y festuca manejado con labranza convencional. El suelo se clasifica como un haplustol éntico, familia franco grueso mixta, térmica, con escasa pendiente superficial y un manto de tosca en el subsuelo, a una profundidad que varió entre 1,0 y 1,2 m. El análisis químico y mineralógico del suelo en el lugar del ensayo mostró los siguientes resultados: rangos de materia orgánica: 1,42-1,87%; de P-Bray Kurtz 1: 8,8-12,7 ppm. Los rangos de porcentajes de arena, limo y arcilla fueron de: 66,5-68,6; 19,4-20,7 y 12,0-12,8, respectivamente determinación realizada al inicio del ensayo. Para la determinación de los estados fenológicos se utilizó la clase decimal de Zadoks *et al.* (1974).

El rendimiento de grano se determinó tri-

Tabla 1. Precipitación, evapotranspiración potencial y temperatura media mensual de Santa Rosa, La Pampa
 Table 1. Rainfall, potential evapotranspiration and monthly average temperature for Santa Rosa, La Pampa

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
P.M. (mm.mes ⁻¹)	70,0	68,0	84,2	51,6	29,5	20,8	19,4	21,4	36,9	71,9	78,2	79,9
ETP (mm.mes ⁻¹)	191	146	110	64	33	26	24	48	74	110	152	194
T.M. (°C)	23,2	22,2	19,7	15,4	11,4	8,2	7,7	9,7	12,4	15,8	19,2	22,0

Referencias:

P.M.= precipitación media elaborada en base a datos del Gobierno de la Provincia de La Pampa (2008) del período 1921-2002

ETP = evapotranspiración potencial determinada por la ecuación propuesta por la FAO (Allen *et al.*, 1998)

T.M.= temperatura media, período 1977-2011 (Vergara & Casagrande, 2012)

llando 1 m² de la zona central de la parcela cuyas muestras luego fueron colocadas en estufa a una temperatura de 60 °C, llevadas a peso constante.

El CFT fue calculado para el período de 30 días previo a la antesis y la ecuación utilizada fue la propuesta por Dhillon & Ortiz-Monasterio (1993):

$$\text{Si la } T^{\circ} \text{ es } > 10,0 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{CFT} = \text{RFAinc} / T^{\circ}$$

$$\text{Si la } T^{\circ} \text{ es } \leq 4,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{CFT} = 0$$

$$\text{Si la } T^{\circ} \text{ es } 4,5 \text{ }^{\circ}\text{C} < T^{\circ} \leq 10,0 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow \text{CFT} = \text{RFAinc} * 1/5,5 * ((T^{\circ} - T^{\circ}b)/5,5)$$

La RFAinc fue determinada por la fórmula de Penman (1948), de acuerdo a la siguiente ecuación: **RFAinc = Qa * (0,22 + (0,49 * Ii/Io))**

Donde: **RFAinc**, es la radiación fotosintéticamente activa incidente en el dosel del cultivo (MJ m⁻².día⁻¹).

T°, es la temperatura media diaria (Tmax +Tmin)/2 (en °C).

T°b, la temperatura base de crecimiento del trigo de 4,5 °C en el PC.

Qa, es la radiación solar global que incide al tope de la atmósfera en MJ.m⁻².d⁻¹.

0,22 y **0,49**, son constantes estimadas para la localidad de Anguil a 30 Km. del lugar de estudio (Cuello & Casagrande, 1998).

Ii, es la cantidad de horas de radiación efectiva diaria.

Io, es la cantidad de horas de radiación teórica.

La sumatoria térmica fue determinada de la siguiente manera: T° media diaria - 4,5 °C (base térmica) en los 30 días del PC.

Se determinó la humedad del suelo por el método gravimétrico en dos momentos dentro del desarrollo del cultivo: principio de encañazón (Z31) y antesis (Z65); con el objeto de la valoración del UC en

el periodo de los 30 días previos a la antesis. La evapotranspiración del cultivo (ETPc) fue considerada semejante al término UC ya que la cantidad de agua utilizada por el cultivo para actividades metabólicas es despreciable. El UC en el período fue calculado por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{UC} = \text{P} + \text{I} + \text{Cp} - \text{Dp} - \text{Rf} - \Delta\text{s} \text{ (Islam, 1991; Sarkar } et al., 2013; Behera \& \text{ Sharma, 2014)}$$

Donde: **UC** es el uso consuntivo en mm, **P** es la precipitación, **I** es la lámina de riego aplicada, **Cp** es la contribución del ascenso capilar desde la napa, **Dp** es la pérdida por percolación profunda, **Rf** es la escorrentía superficial, y **Δs** es cambio de contenido de agua útil en el suelo entre dos momentos de muestreo. La **Cp** fue asumida como despreciable ya que no se encontró napa en ningún momento del ensayo cerca de la profundidad de las raíces. Se consideró un 100% de infiltración de las precipitaciones, ya que las lluvias invierno-primaverales poseen escorrentía menor que las estivales (Zhang & Wang, 2002). El drenaje profundo también se consideró despreciable debido a la presencia de tosca, por lo que la ecuación queda resumida a lo propuesto por Israelsen & Hansen (1962):

$$\text{UC} = (\theta 2 - \theta 1) * \text{Bd} * \text{ERZ}$$

Donde: **θ2** es el porcentaje de humedad del suelo al final del período, **θ1** es el porcentaje de humedad del suelo al inicio del período, **Bd** es la densidad aparente (g.cm⁻³) y **ERZ** es la profundidad efectiva de la exploración de las raíces.

La densidad aparente varió de 1,17-1,25 g.cm⁻³. El muestreo de humedad fue realizado hasta la profundidad de la tosca (osciló de 1,0 a 1,2 m). Sadras & Calviño (2001) observaron que con esta profundidad de la tosca no se afecta el rendimiento del trigo pan.

El análisis estadístico de la asociación entre el CFT, el UC y el rendimiento por medio de regresiones lineales simples (Steel & Torrie, 1989). Se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT (2012). La diferenciación estadística de las medias de ocurrencia de estados fenológicos se realizó por medio de un intervalo de confianza (\pm):

$\pm = tc * \frac{S}{\sqrt{n}}$ donde: tc= es el valor de tabla de distribución "t" de Student para n-1 grados de libertad. S= desvío estándar, n= número de muestras. No se muestra el efecto del año sobre la fenología debido a la extensión permitida del trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El período crítico de 30 días previo a la antesis fue coincidente a grandes rasgos con la encañazón (período de Z31 a Z65; Zadoks *et al.*, 1974).

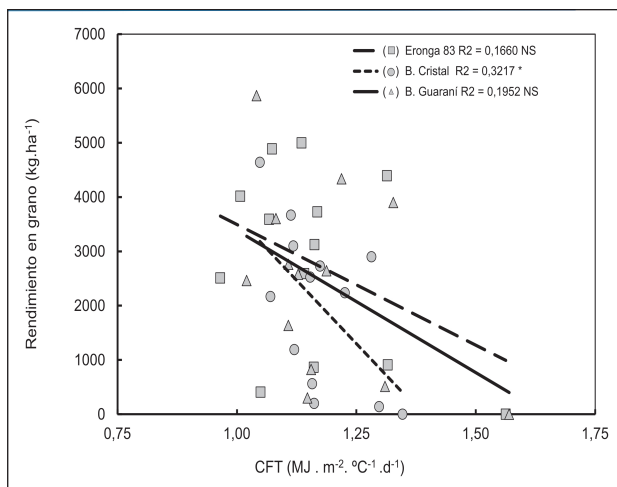


Figura 1. Relación entre el coeficiente foto termal diario en el período crítico y el rendimiento en grano

Figure 1. Relationship between the daily photothermal quotient and grain yield in the critical period.

Tabla 2. Fecha de floración promedio de las tres especies
Table 2. Average flowering date of the three species of winter crops assayed.

Estado Fenológico	Buck Cristal		Eronga 83		Buck Guaraní	
	Media	Int.C. (días)	Media	Int.C. (días)	Media	Int.C. (días)
Z65 ⁽¹⁾	1-Nov ± 2,52		22-Oct ± 2,48		27-Oct ± 2,19	

Referencias:

(1) Estado determinado de acuerdo con Zadoks *et al.* (1974).
Int.C.: Intervalo de confianza de la media para una p< 0,05 determinado con "t" de tabla de la distribución t de Student multiplicado por el desvío estándar y dividido por la raíz cuadrada del número de observaciones (N= 13)

En el triticale el período fue exactamente de 30,3 ± 2,3 días, mientras que en el trigo pan este período fue de 31,7 ± 2,7 días y en el trigo candeal de 34,2 ± 2,9 días. La fecha calendario promedio en la que ocurrió la floración se puede observar en la Tabla 2. Esta fecha ubica al PC coincidente aproximadamente con el mes de Octubre, igual a lo observado por Camussi & Marano (2008).

El CFT en el PC no mostró una relación positiva significativa con el rendimiento de grano en Eronga 83 y B. Guaraní (entre 0,965 y 1,570 MJ.m⁻².°C⁻¹.día⁻¹ en el PC), mientras que se encontró una relación negativa en B. Cristal (entre 1,048 y 1,347 MJ.m⁻².°C⁻¹.día⁻¹ en el PC) (Figura 1, Tabla 3 y 4). Estos datos son contradictorios con los encontrados por varios autores en otras regiones (Khichar & Ram, 2007; Ahmed *et al.*, 2010; Sandaña & Pinochet, 2011).

Por otra parte, en ensayos realizados en distintos ambientes de Italia, el triticale tuvo mejor performance que el trigo candeal en ambientes con mayores precipitaciones y menor CFT (20 días preantesis) e igual al trigo candeal en ambientes de menores precipitaciones con mayor CFT (20 días preantesis) (Motzo *et al.*, 2015). De acuerdo a la respuesta obtenida por Rawson (1988) utilizando el CFT obtenido en este ensayo

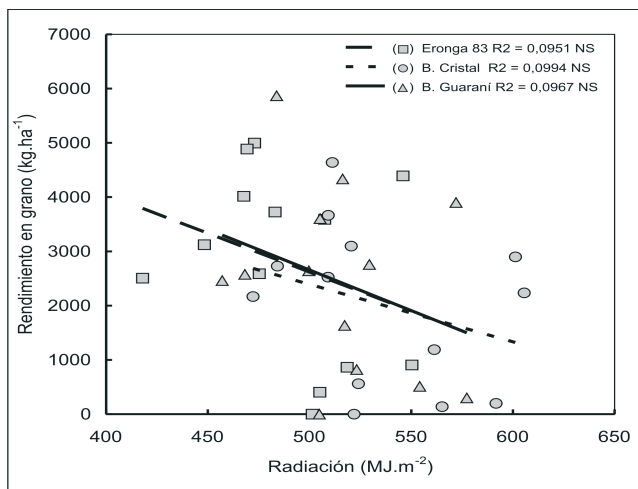


Figura 2. Relación entre la RFAinc en el período crítico y el rendimiento en grano
 Figure 2. Relationship between PARinc and grain yield in the critical period.

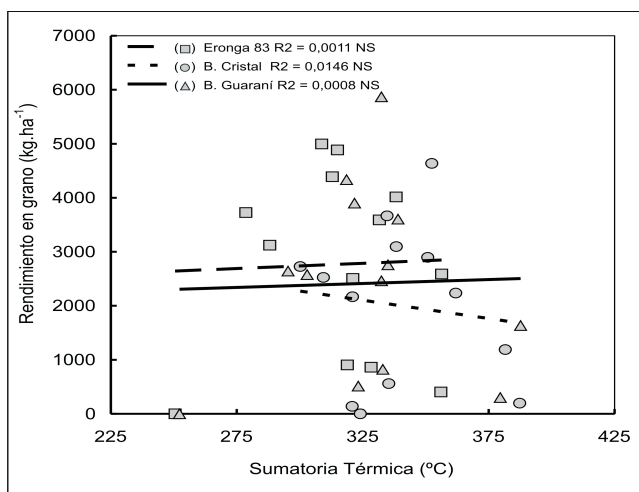


Figura 3. Relación entre la sumatoria térmica en el período crítico y el rendimiento en grano
 Figure 3. Relationship between thermal summation and grain yield in the critical period.

(desde 1,0 a 1,6 MJ.m⁻².°C⁻¹.día⁻¹) se hubiera esperado un rendimiento de entre 6 y 10 tn.ha⁻¹; siendo que aquí se logró un máximo de 5,87 tn.ha⁻¹.

En la zona de estudio no se pudieron lograr

los rindes predichos por la ecuación de Rawson (1988), evidentemente por la limitación en el consumo de agua en el PC. En Esperanza (Santa Fe), Camussi & Marano (2008) encontraron para el mes de octubre un CFT de 1,6 MJ.m⁻².°C⁻¹.día⁻¹, mientras que en los años estudiados aquí oscilaron entre 1,41 y 2,50 MJ.m⁻².°C⁻¹.día⁻¹ para el trigo pan por el método de Fischer (datos no mostrados) es decir que los valores registrados son en general mayores a aquellos. En un ensayo multiambiental realizado en Italia, encontraron una relación inversa entre el CFT y el déficit de lluvia en los 20 días previo a la antesis, es decir que fue muy difícil separar estos factores en seco (Motzo *et al.*, 2015).

La radiación fotosintéticamente activa a disposición de la canopia no tuvo una asociación con el rendimiento de grano (Figura 2, Tabla 3 y 4). En el rango de 418 a 550 MJ.m⁻² acumulados en el PC no se observaron diferencias significativas en el rendimiento del triticale Eronga 83. Buck Guarani tampoco mostró diferencias significativas en el rendimiento en el rango de 457 a 577 MJ.m⁻² ni Buck Cristal en el rango de 472 a 606 MJ.m⁻² (Tabla 4). Por otro lado, la sumatoria

térmica durante el PC no arrojó resultados significativos (Figura 3, Tablas 3 y 4).

El UC en el PC mostró una relación positiva significativa con el rendimiento de grano de los tres genotipos (Figura 4, Tablas 3 y 4). Eronga

Tabla 3. Parámetros y significación de las ecuaciones de regresión entre las variables regresoras y el rendimiento de las tres especies

Table 3. Parameters and significance of the regression equations obtained to predict grain yield of the three species of winter crops assayed.

Variables Regresoras	B. Cristal			B. Guaraní			Eronga 83		
	b	R ²	valor p	b	R ²	valor p	b	R ²	valor p
Radiación FA en el Período Crítico	-10.597	0,099	0,2940 ns	-14.913	0,096	0,3013 ns	-14.301	0,095	0,3051 ns
Sumatoria térmica en el Período Crítico	-6.7726	0,015	-0,4000 ns	-1,4560	0,001	0,9262 ns	1,9308	0,001	0,9136 ns
CFT en el Período Crítico	-9321,5	0,322	0,0430 *	-5227,4	0,195	0,1305 ns	-4445,4	0,166	0,1667 ns
UC en el Período Crítico	920,23	0,478	0,0090 **	1174,9	0,631	0,0012 **	1149,4	0,679	0,0005 **
CFT*UC en el PC	706,062	0,398	0,0289 *	908,85	0,533	0,0065 **	904,46	0,556	0,0034 **
Lluvias en el Período Crítico	18,919	0,423	0,0160 *	24,105	0,490	0,0077 **	22,404	0,431	0,0147 *

b= pendiente de la recta

R²= explicación de la recta por el método de los cuadrados mínimos

Valor p = valor probabilidad de que la pendiente sea significativamente distinta de cero

Tabla 4a. Efecto de las variables climáticas sobre el rendimiento en grano de las tres especies

Table 4a. Effect of climatic variables on grain yield of the three species of winter crops assayed.

Año	Radiación en el PC ⁽¹⁾			Sumatoria Térmica en el PC ⁽²⁾			CFT en el PC ⁽³⁾			Rendimiento en grano ⁽⁴⁾		
	Cristal	Guaraní	Eronga	Cristal	Guaraní	Eronga	Cristal	Guaraní	Eronga	Cristal	Guaraní	Eronga
1997	484,2	468,2	448,3	300,2	303,0	288,1	1,174	1,128	1,162	2728 b	2577 b	3123 a
2000	509,2	516,3	473,0	334,7	318,6	308,7	1,113	1,219	1,135	3665 b	4336 ab	4996 a
2002	520,5	505,2	467,7	338,3	339,0	338,3	1,118	1,082	1,007	3097 b	3604 ab	4015 a
2003	591,7	577,3	505,1	387,3	379,6	356,0	1,162	1,148	1,050	198 b	300 ab	405 a
2004	509,1	499,7	483,0	309,4	295,4	278,6	1,154	1,187	1,168	2525 b	2642 b	3726 a
2005	565,2	554,2	550,3	320,8	323,2	318,9	1,298	1,310	1,316	138 c	512 b	906 a
2006	561,3	517,3	475,3	381,6	387,7	356,3	1,120	1,108	1,141	1189 b	1635 b	2588 a
2007	605,6	529,4	507,4	361,9	335,1	331,6	1,226	1,108	1,068	2235 b	2759 ab	3590 a
2008	524,0	523,2	518,5	335,4	333,0	328,4	1,158	1,155	1,161	560 b	823 a	864 a
2009	521,9	504,8	501,4	324,1	252,3	250,5	1,347	1,570	1,563	0	0	0
2010	601,2	572,0	546,0	350,8	321,8	312,9	1,282	1,327	1,314	2898 b	3914 a	4390 a
2011	472,2	457,0	417,9	321,0	332,5	321,1	1,070	1,020	0,965	2167 b	2462 ab	2507 a
2012	511,2	483,8	469,3	352,4	332,4	315,0	1,048	1,041	1,073	4638 b	5868 a	4886 b

Referencias

(1) Radiación Fotosintéticamente Activa expresada en MJ*m⁻² en los 30 días del PC (Período Crítico)

(2) Sumatoria térmica= T° media diaria - 4,5 °C (base térmica) en los 30 días del PC

(3) CFT= Cociente Foto-Termal (MJ.m⁻².°C⁻¹.d⁻¹)

(4) Rendimiento en grano (Kg.ha⁻¹)

Letras iguales no difieren estadísticamente dentro del año con el test de Tukey (p ≤0,05)

Tabla 4b. Lluvias, uso consuntivo y combinación del coeficiente fototermal y el uso consuntivo en el período crítico de las tres especies

Table 4b. Rainfall, consumptive water use and the last one combined with the photothermal quotient in the critical period of the three species of winter crops assayed

Año	Lluvias en el PC (mm)	UC en el PC ⁽¹⁾			CFT x UC en el PC ⁽²⁾			Rendimiento en grano ⁽³⁾		
		Cristal	Guaraní	Eronga	Cristal	Guaraní	Eronga	Cristal	Guaraní	Eronga
1997	102	2,61	2,65	2,94	3,06	2,99	3,37	2728	2577	3123
2000	190	5,25	5,50	5,57	5,84	6,70	6,32	3665	4336	4996
2002	73	3,47	3,55	3,28	3,88	3,84	3,30	3097	3604	4015
2003	58	1,65	1,68	1,73	1,92	1,93	1,82	198	300	405
2004	88	2,36	2,29	2,27	2,72	2,72	2,65	2525	2642	3726
2005	84	2,57	2,48	2,60	3,34	3,25	3,42	138	512	906
2006	141	3,74	3,82	3,69	4,19	4,23	4,21	1189	1635	2588
2007	57	4,02	4,03	3,89	4,93	4,46	4,15	2235	2759	3590
2008	107	2,51	2,73	2,37	2,91	3,15	2,75	560	823	864
2009	23	1,38	1,38	1,26	1,86	2,16	1,97	0	0	0
2010	127	4,14	4,06	4,36	5,31	5,39	5,73	2898	3914	4390
2011	67	2,31	2,53	2,00	2,47	2,58	1,92	2167	2462	2507
2012	192	3,82	4,44	4,41	4,00	4,62	4,73	4638	5868	4886

Referencias

(1) UC= Uso consuntivo en mm d⁻¹ en el PC

(2) CFT x UC= Cociente Foto-Termal (MJ m⁻².d⁻¹.°C.d⁻¹ multiplicado por el UC (mm.d⁻¹) en el PC

(3) Rendimiento en grano (Kg.ha⁻¹)

83 mostró una relación lineal con un R²= 0,68** en el rango del consumo hídrico desde 1,26 mm.día⁻¹ hasta 5,57 mm.día⁻¹. B. Guaraní mostró una relación semejante con un R²= 0,63** con un rango de UC entre 1,38 mm.día⁻¹ y 5,50

mm.día⁻¹. B. Cristal mostró mayor variabilidad de la ecuación de la recta (R²= 0,478**) con una oscilación del UC entre 1,38 mm.día⁻¹ y 5,25 mm.día⁻¹.

En trabajos realizados sobre trigo en Bangladesh

(Khan 2002), se observó un consumo máximo superior al encontrado aquí de 6,4 mm.día⁻¹ y mayor al encontrado por Meterfi *et al.* (2014) de 5,32 mm.día⁻¹ en el período crítico. Los cultivos estudiados por cada mm d⁻¹ adicional consumido lograron aumentar 1.175, 1.149 y 920 kg ha⁻¹ de B. Guaraní, Eronga 83 y B. Cristal, respectivamente (Tabla 3).

El triticale fue más tolerante al déficit de agua en el período de 20 días previo a la antesis que el trigo candeal (Motzo *et al.*, 2015), semejante a lo encontrado aquí, en que para un mismo valor de UC produjo más rendimiento

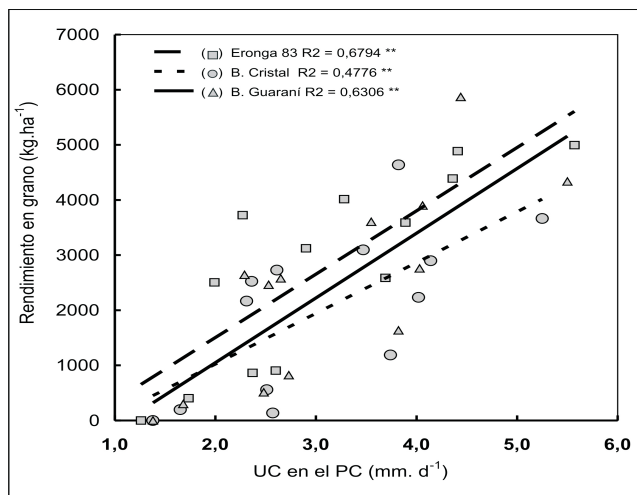


Figura 4. Relación entre el uso consuntivo diario en el período crítico y el rendimiento en grano

Figure 4. Relationship between daily consumptive use in the critical period and grain yield

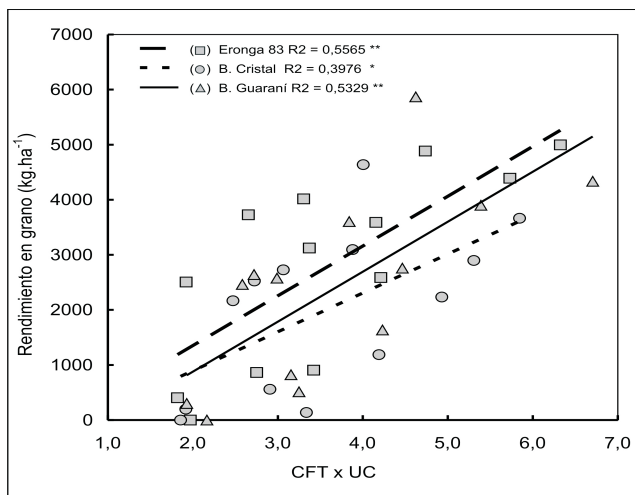


Figura 5. Relación entre el coeficiente fototermal y el uso consuntivo combinados en el período crítico sobre el rendimiento en grano

Figure 5. Relationship shown by the combined variables Photothermal quotient and consumptive use of water with grain yield in the critical period

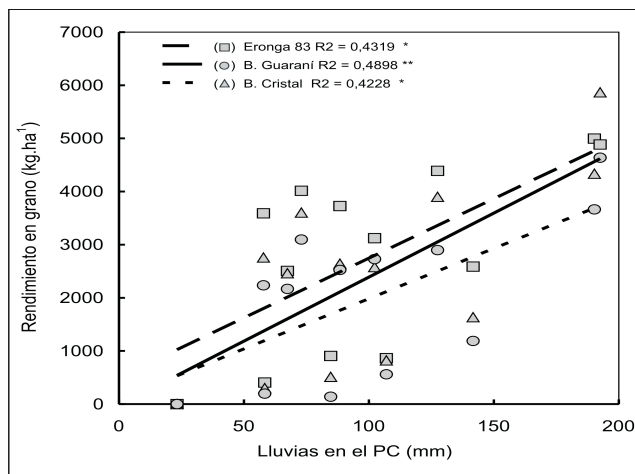


Figura 6. Relación entre las lluvias durante el período crítico y el rendimiento en grano

Figure 6. Relationship between rainfall and grain yield during the critical period

(Figura 4). Por ejemplo, para lograr un rendimiento de grano de 3000 kg.ha^{-1} , el triticale lo obtuvo con un UC de $3,30 \text{ mm día}^{-1}$; el trigo pan con un UC de $3,75 \text{ mm día}^{-1}$ y el trigo candeal con un UC de $4,25 \text{ mm.día}^{-1}$.

Cuando se unieron estas dos últimas variables en una sola ecuación multiplicativa hubo una asociación positiva pero de menor explicación que el UC por si solo, por lo que no tiene sentido incluir el CFT en la misma (Figura 5).

Se determinó también la asociación entre el rendimiento y las lluvias ocurridas en el PC, cuya variable es más simple de medir que el UC durante el mismo período. Si bien hubo una asociación positiva y significativa de las mismas con el rendimiento tienen una menor explicación que el UC en el PC (Figura 6, Tabla 4).

CONCLUSIONES

La hipótesis planteada no pudo ser aceptada porque el agregado al CFT del UC en el período crítico no mejoró la predicción del UC por sí solo. Es así que la producción de los cultivos invernales anuales en la región semiárida pampeana central podrá ser estimada solamente con el UC en el PC. Por cada mm.día^{-1} adicional consumido se logró aumentar 1175, 1149 y 920 kg.ha^{-1} el rendimiento de grano de B. Guaraní, Eronga 83 y B. Cristal, respectivamente. También las precipitaciones durante el período crítico explicaron las variaciones del rendimiento; datos que se pueden obtener con mayor facilidad, pero con menor grado de explicación que el UC. El triticale y el trigo candeal a pesar de ser más resistentes al estrés hídrico no mejoraron la explicación del rendimiento de grano sobre la base del CFT.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo E., P. Silva & H. Silva. 2002. Wheat growth and physiology. En FAO Plant Production and Protection Series N° 30, Bread wheat (Eds. B.C. Curtis; S. Rajaram & H. Gómez MacPherson) Improvement and production. Roma, Italia.

Allen R., L. Pereira, M. Smith & D. Raes. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper N° 56. FAO - Food and Agriculture Organization of the United. pp. 17-28.

Ahmed M., F. Hassan, M. Asim, M. A. Aslam & M. N. Akram. 2010. Correlation of photothermal quotient with spring wheat yield African J. Biotech. 9: 7869-7852.

Babinec F., G. Carosio & H. Catalani, 1998. Comportamiento de cultivares de trigo en la provincia de La Pampa. En: Bol. Div. Téc. 58, Actualización técnica del cultivo de trigo en la provincia de La Pampa. INTA-EEA Anguil . La Pampa. pp. 19-24.

Behera U.K. & A.R. Sharma. 2014. Productivity and water use efficiency of wheat (*Triticum aestivum*) under different resource conservation techniques and irrigation regimes. *Cereal Res. Communications* 42: 439-449.

Bozzini A. 1988. Origin, distribution and production of durum wheat in the world. p. 1-16. En-Durum wheat: chemistry and technology. : (Eds. Fabriani & C. Lintas). Am. Assoc. Cereal Chemist Inc. St. Paul, Min. EEUU.

Brevedan R., M.A. Fernández, O. Zingaretti, C. Ferrero, M. Faraldo, M. Fioretti, J. Dedurana, H. Mirassón, S. Zugasti & G. Rondini. 2008. El efecto de la época de siembra el Cociente Foto-Termal en el período crítico de trigo en el oeste de la región semiárida pampeana central. VII Congreso Nac. Trigo. EF12 Santa Rosa, La Pampa, Arg. En CD 5p.

Calviño P.A. & V.O. Sadras. 2002. On-farm assessment of constraints to wheat yield in the south eastern Pampas. *Field Crops Res.* 74: 1-11

Camussi G.F. & R.P. Marano. 2008. Respuesta del trigo al riego suplementario en la región central de Santa Fe. *Rev. FAVE Cs. Agrarias* 7: 7-21.

Cuello P. & G. Casagrande. 1998. Valores de radiación solar estimados de la heliofanía relativa. UNLPam, Dep. de Geografía. 5 pp.

Dennett M.D. 1999. Effects of sowing date and the determination of optimum sowing date. *En: Wheat ecology and physiology of yield determination.* (Eds. E.H. Satorre & G.A. Slafer). pp. 45-65. Food Products Press, New York, EEUU.

Dhillon S.S. & J.I. Ortiz-Monasterio. 1993. Effects of date of Sowing on the yield and yield components of spring wheat and their relationship with solar radiation and temperature at Ludhiana, Punjab, India. Wheat special Report 23b.

Erc H.V. 1988. Winter wheat response to nitrogen and irrigation. *Agron. J.* 80: 902-908.

Fernández M.A. 2007. Estrategias para mejorar el rendimiento de cereales graníferos invernales en la región semiárida pampeana central. Tesis Magíster en Cs. As. 156 p UNS, Bahía Blanca.

Fernández M.A. 2008. La estabilidad del rendimiento de trigo candeal (*Triticum durum* Desf.) en la región de las planicies con tosca de la provincia de La Pampa. *Rev. Fac. Agron. UNLPam.* 19: 41-62.

Fernández M.A. 2013. Estrés hídrico: sus efectos sobre el rendimiento de grano y la eficiencia de uso del agua de trigo pan (*Triticum aes-*

- tivum* L.), trigo fideos (*Triticum durum* Desf.) y triticale (X *Triticosecale*, Wittmack). *Rev. Fac. Agron. UNLPam.* 23: 7-23.
- Fischer R.A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci.* 105: 447-461.
- Giunta F., R. Motzo & M. Deidda. 1993. Effect of drought on yield and yield components of durum-wheat and triticale in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.* 33: 399-409.
- Hede A.R. 2000. A new approach to triticale improvement. *En: Research highlight of the CIMMYT wheat program 1999-2000.* pp. 21-26.
- INFOSTAT 2012. Infostat profesional versión 2.0. Manual del Usuario. Grupo INFOSTAT FCA. Univ. Nac. Córdoba. Ed. Brujas, Córdoba, Argentina.
- Intalap S. 1968. Some effects of soil moisture on the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) http://arizona.openrepository.com/arizona/bitstream/10150/318110/1/AZU_TD_BOX52E9791_1968_191.pdf. Arizona Univesrsity. Thesis Magister Science. 42 p.
- Islam T. 1991. Water use of a winter wheat cultivar (*Triticum aestivum*) *Agricult. Water Manag.* 19: 77-84.
- Israelsen O.W., & V.E. Hansen. 1962. Irrigation principles and practices. John Wiley & Sons, New York, USA. pp. 55-123.
- Khan B.R. 2002. Consumptive use of wheat crop. *Pakistan J. Agricultural Res.* 17: 101-108.
- Khichar, M.L & N. Ram, 2007. Thermal effect on growth and yield of wheat under different sowing environments and planting systems. *Indian J. Agric. Res.* 41: 92-96.
- Li H. 1990. Analysis and study of crop sensitivity index and sensitivity coefficient. *Irrigation Drain.* 9: 7-14.
- Lozano del Río A.J., M. Colín Rico, W.H. Pfeiffer, M. Megoum, A. Hede & M. H. Reyes-Valdés. 2002. Registration of TCLF-AN-31' Triticale. *Crop Sci.* 42: 2214-2215.
- Magrin G.O., A.J. Hall, C. Baldy & M.O. Grondona. 1993. Spatial and interannual variations in the photothermal quotient: implications for the potential kernel number of wheat crops in Argentina. *Agr. Forest Meteorol.* 67: 29-41
- Meterfi B., N.L. Belaroussi, S. Lebid, Y. Amar, K. Moueddene & M. Anani. 2014. Wheat culture water needs diagnosis carried out in the Sidi Bel Abbes Semi Arid Valley. *American J. Exp. Agriculture.* 4: 457-468.
- Morgan J.A. 1992. Drought stress in winter wheat mechanisms and strategies. *En: Wheat Technology Conference.* Rangeland Resources Research. Univ. Colorado. USA. 3 p.
- Motzo R., G. Pruneddua, A.Virdis & F. Giunta. 2015. Triticale vs durum wheat: A performance comparison in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.* 180: 63-71.
- Nalley L.L., A.P. Barkley & K. Sayre. 2009. Photothermal Quotient Specifications to Improve Wheat Cultivar Yield Component Models. *Agron. J.* 101: 556-563.
- Nix H.A. 1976. Climate and crop productivity in Australia. *In: Climate and Rice.* (International Rice Research Institute: Philippines). pp. 495-506.
- Oettler G. 2005. Centenary review. The fortune of a botanical curiosity- triticale: Past, present and future. *J. Agric. Sci.* 143: 329-346.
- Passioura J.B. & J.F. Angus. 2010. Improving productivity of crops in water-limited environments. *Adv. Agron.* 106: 37-75.
- Penman H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proc. Roy. Soc.* 193: 120-146.
- Rawson H.M. 1988. Effects of high temperatures on the development and yield of wheat and practices to reduce deleterious effects. *In: Wheat production constraints in tropical environments* (Ed. A.R. Klatt). pp. 44-61. CIMMYT, México.
- Reynolds M.P., R. Trethowan, J. Crosa, M. Vargas & K.D. Sayre. 2004. Physiological factors associated with genotype by environment interaction in wheat. *Field Crops Res.* 85: 253-274.
- Richards R.A. 2000. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. *J. Exp. Botany* 51: 447-458.
- Sadras V.O. & P.A. Calviño. 2001. Quantification of grain yield response to soil depth in soybean, Maite, sunflower, and wheat. *Agron. J.* 93: 577-583.
- Sandaña, P. & D. Pinochet. 2011. Ecophysiological determinants of biomass and grain yield of wheat under P deficiency. *Field Crops Res.* 120: 311-319.
- Sarkar P.K., M.S.U. Talukder, S.K. Biswas & A. Khatun. 2013. Growth and yield of wheat (*Triticum aestivum*) under deficit irrigation. *Bangladesh J. Agril. Res.* 38: 719-732.
- SIIA. 2015. Estimaciones agrícolas. Sistema In-

- tegrado de Información Agropecuaria. www.siiia.gov.ar/_aaps/siiia/estimaciones. Visitada en Octubre de 2015.
- Solís Moya E., M. Hernández Martínez, A. Borodanenko, J.L. Aguilar Acuña, Ó.A. Grajeda Cabrera. 2004. Duración de la etapa reproductiva y el rendimiento de trigo. *Rev. Fito-tecnia Mexicana* 27: 323-332.
- Turner N.C. 1997. Further progress in crop water relations. Duración de la etapa reproductiva y el rendimiento. *Adv. Agron.* 58: 293-338
- Steel R.G.D. & J.H. Torrie. 1989. Bioestadística: principios y procedimientos (Ed. Mc Graw-Hill/ Interamericana) D.F., México.
- Vergara G.T. & G.A. Casagrande. 2012. Estadísticas agroclimáticas de la Facultad de Agronomía, Santa Rosa, La Pampa, Argentina, 1977-2010. *Rev. Fac. Agron. UNLPam.* 22: 1-75.
- Villar J.L. & E. Astegiano. 2004. Evolución de algunos parámetros climáticos durante las campañas trigueras 2002 y 2003 como condicionante de los rendimientos. *En: INTA* EEA Rafaela. Publ. Misc. 101. Inf. Téc. Trigo. Campaña 2004. pp. 8-14.
- Zadoks J.C., T.T. Chang & C.F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.
- Zhang H., X. Wang, M. You & C. Liu. 1999. Water yield relations and water-use efficiency of winter wheat in the North-China Plain. *Irrigation Sci.* 19: 37-45.
- Zhang X. & Y. Wang. 2002. Managing irrigation of winter wheat to maximise water use efficiency and et profit in the North China Plain. p 581-587. *En: 12th ISCO Conference, Beijing, China.*
- Zhang B.C., Li F.M. & Huang, G.B. 2006. Yield performance of spring wheat improved by regulated deficit irrigation in an arid area. *Agric. Water Manage.* 79: 28-42.
- Zhao F., G. Yu, S. Li, C. Ren, X. Sun, N. Mi, J. Li & Z. Ouyang. 2007. Canopy water use efficiency of winter wheat in the North China Plain. *Agric. Water Manage.* 93: 99-108.