

ESTRÉS HÍDRICO: SUS EFECTOS SOBRE EL RENDIMIENTO DE GRANO Y LA EFICIENCIA DE USO DEL AGUA DE TRIGO PAN (*Triticum aestivum* L.), TRIGO FIDEOS (*Triticum durum* Desf.) Y TRITICALE (X *Triticosecale*, Wittmack).

WATER STRESS EFFECTS ON GRAIN YIELD AND WATER-USE EFFICIENCY OF BREAD WHEAT (*Triticum aestivum* L.), DURUM WHEAT (*Triticum durum* Desf.) AND TRITICALE (X *Triticosecale*, Wittmack).

Fernández M.A.^{1*}

RESUMEN

El triticale y el trigo candeal pueden ser alternativas para estabilizar y aumentar los rendimientos en grano, sobre la base de una mayor eficiencia en el uso del agua (EUA) originada en una mayor tolerancia al estrés hídrico.

En el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la UNLPam se realizaron ensayos durante ocho años, en los que se evaluó la EUA, el consumo de agua diario en distintas etapas fenológicas y los componentes del rendimiento de triticale, trigo pan y trigo candeal. El triticale mostró mayor rendimiento que trigo pan y candeal, con diferente disponibilidad hídrica. El triticale basó su rendimiento en mayor número de granos por espiga y en un buen peso de los granos. Además, mostró una mayor eficiencia en el uso del agua promedio que trigo pan y candeal en los tratamientos fertilizados (8,98 vs 6,97 y 5,89 kg grano ha⁻¹ mm⁻¹, respectivamente). Se pueden obtener los máximos rendimientos para las condiciones de la zona de estudio con 300 mm de agua útil durante el ciclo y distribuidos de acuerdo al consumo necesario en cada etapa ontogénica. En conclusión, existen especies no tradicionales que permitirían aumentar la producción, mejorar la estabilidad del rendimiento y aumentar la diversidad de los cultivos invernales para la región semiárida pampeana central.

PALABRAS CLAVE: cereales de invierno, estrés hídrico, eficiencia uso agua.

ABSTRACT

The triticale and durum wheat may be alternatives to stabilize and increase the grain yields, on the basis of greater water use efficiency caused in a greater tolerance to water stress.

In the Agronomy Faculty of UNLPam Experimental Field, the tests were conducted for eight years, in which compared daily water consumption at different phenological stages and yield components the three species (triticale, bread and durum wheat). Triticale showed a higher grain yield than bread and durum wheat with different water availability. The strategy of triticale for improved yield was based on a larger number of grains per spike than bread and durum wheat, and a good grain weight compared to bread wheat. Also, it showed a greater water use efficiency, average of the fertilized treatments than bread and durum wheat (8,98 vs 6,97 y 5,89 kg grain ha⁻¹ mm⁻¹, respectively). With 300 mm of available water during the entire cycle, and distributed according to consumption required at each stage of the crop ontogeny, you can get a maximum grain yield for the conditions of the study area. In conclusion, there are non-traditional species that would increase production, improve yield stability and increase the diversity of winter crops in the semiarid central pampas.

KEY WORDS: winter cereals, water stress, water use efficiency.

¹ Cátedra de Cultivos II, Facultad de Agronomía, UNLPam. Ruta Nac. N° 35 km 334. CC 300 (CP 6300), Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

* E-mail: mfernandez@agro.unlpam.edu.ar

INTRODUCCIÓN

Los cereales de invierno son importantes en los sistemas de producción agropecuaria en la región semiárida pampeana. Las variables ambientales son más limitantes en la definición del rendimiento en ambientes de bajo potencial, observándose una gran interacción entre el genotipo y el ambiente (Jordaan, 1999).

El rendimiento está asociado principalmente al número de granos por unidad de superficie, aunque cuando cuajan pocos, normalmente, se obtienen granos de mayor peso individual que compensan en pequeña proporción (Evans & Wardlaw, 1976). Durante el Siglo XX el rendimiento promedio de trigo en Argentina aumentó de 1,0 a 2,5 t ha⁻¹ (SAGPyA, 2012). El incremento de rendimiento de trigo desde la década del '50 hasta la del '80 se debió a la mejora genética y de las prácticas de manejo en proporciones semejantes (Simmons, 1987).

Loss & Siddique (1994) consideraron a la eficiencia en el uso del agua (EUA) como la cantidad de materia seca producida por unidad de agua utilizada (AU).

El aumento de la EUA resultará en un mayor rendimiento cuando el AU y el Índice de Cosecha (IC) se mantienen. Existen algunos mecanismos genéticos para incrementar la transpiración y la EUA. El vigor temprano de un cultivar de trigo aprovecha la mayor EUA que ocurre en el invierno y primavera temprana, debido a un menor déficit de presión de vapor que existe en esta época entre la hoja y el aire que la rodea (French & Schultz, 1984). Sin embargo, esta característica depende mucho del patrón de distribución de las precipitaciones, por lo que, no todos los investigadores concuerdan en el beneficio de aumentar el AU antes de la antesis (Passioura, 1977; Loss & Siddique, 1994). El triticale granífero (X *Triticosecale*, Wittmack) y el trigo candeal (*Triticum durum*, Desf.), pueden ser alternativas válidas para estabilizar los rendimientos de los cereales invernales en 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.

En los suelos de texturas gruesas, existe mayor posibilidad de encontrar una deficiencia en el suministro de algunos nutrientes. Es el caso del nitrógeno, cuyo mayor aporte proviene de la materia orgánica, especialmente en años de buena disponibilidad hídrica para los cereales invernales (Feyh & Lamond, 1992).

La fertilidad nitrogenada aumenta generalmente la EUA, la biomasa aérea y el rendimiento de grano en ambientes sin limitaciones de humedad o con un moderado déficit; pero en lugares de baja disponibilidad de agua puede resultar perjudicial ya que puede aumentar el consumo durante el crecimiento vegetativo y agotar las reservas de agua para los momentos de mayores demandas (Nielsen & Halvorson, 1991).

La producción de los cultivos invernales anuales aumentará con la incorporación de especies más adaptadas a zonas semiáridas (Triticale y Trigo candeal). Este aumento en la producción estará dado por un aumento en la eficiencia del uso de agua.

Los objetivos fueron: evaluar el rendimiento en grano y los componentes del mismo. También, su variación con la especie, fertilidad nitrogenada y el año. Además, evaluar el consumo de agua en distintas etapas y eficiencia en el uso en el agua de los distintos tratamientos.

MATERIALES Y MÉTODOS

1- Descripción de los experimentos

El estudio fue realizado en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, ubicado en 36° 46' S y 64° 17' W, a 210 msnm. El sitio experimental se encuentra en el límite sur de la subregión fisiográfica de las planicies con tosca. El suelo es un haplustol éntico, familia franco grueso mixta térmica, en el que se encuentra un horizonte petrocálcico entre 0,8 y 1,0 m de profundidad. La caracterización climática de la zona de estudio se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Precipitación, evapotranspiración potencial y temperatura media mensual de Santa Rosa

Table 1. Precipitation, potential evapotranspiration and monthly average temperature of Santa Rosa

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	mm mes ⁻¹											
P. M. 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 ²	191,0	146,0	110,0	64,0	33,0	26,0	24,0	48,0	74,0	110,0	152,0	194,0
1997	67,7	13,1	136,5	42,8	92,0	81,0	55,0	7,0	13,8	95,3	50,0	88,7
2000	66,7	65,8	124,7	32,5	93,0	11,9	6,0	25,2	22,7	190,2	32,6	23,2
2002	176,4	19,2	70,9	68,5	45,0	16,4	20,0	93,0	41,0	73,0	40,4	84,2
2003	50,7	13,0	55,5	54,0	13,3	0,3	3,2	14,4	4,8	53,6	64,7	50,3
2004	40,8	64,8	83,8	81,6	7,0	2,7	79,3	33,6	8,0	89,6	85,9	130,8
2005	35,9	27,2	82,8	0,2	29,3	20,6	6,8	13,6	58,4	49,9	24,0	61,5
2006	62,0	171,8	106,8	33,7	0,2	2,1	3,0	19,2	7,0	141,7	14,9	65,0
2007	57,1	72,6	203,6	16,3	0,6	5,7	2,4	12,5	108,1	57,8	66,9	23,0
	°C											
T.M. ³	23,0	22,1	19,5	15,3	11,5	8,1	7,6	9,8	12,3	15,8	19,0	22,1
1997	23,3	21,2	19,8	16,9	13,8	9,0	10,3	10,0	12,3	14,7	18,0	20,4
2000	23,2	21,1	18,4	15,4	11,1	8,4	6,3	8,2	10,7	14,1	17,2	21,7
2002	23,2	20,7	18,7	15,3	11,5	8,1	7,5	9,5	12,5	16,8	18,7	21,0
2003	24,3	22,8	21,6	14,7	11,8	9,1	7,4	8,3	12,3	17,7	19,6	21,7
2004	24,8	20,6	21,4	15,4	9,7	9,3	8,6	9,6	13,4	15,1	18,1	20,9
2005	22,5	23,5	19,5	14,7	10,9	8,4	8,4	9,8	11,9	15,3	21,0	21,6
2006	23,8	22,3	18,6	16,4	10,5	9,6	9,7	10,0	13,6	17,5	19,6	23,4
2007	24,2	22,1	19,6	15,8	8,9	7,2	6,1	7,0	13,2	15,5	17,6	22,0

Fuente: ¹ P.M. = precipitación media elaborada en base a datos del Gobierno de la Provincia de La Pampa (2008) del período 1921-2002.

² ETP = evapotranspiración potencial determinada por la ecuación propuesta por FAO (Allen *et al.*, 1998).

³ T.M. = temperatura media, período 1977-2001 (Vergara & Casagrande, 2002).

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 8 años. Se seleccionaron variedades de ciclo fenológico semejante. La variedad de triticales “Eronga 83 TCL” fue elegida en base a información previa propia de buen comportamiento comparado a otros triticales graníferos 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 triticales también fue elegida por Reynolds *et al.* (2004) para estudiar la interacción genotipo por ambiente. La variedad de trigo can-

deal “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. 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).

A los tratamientos fertilizados se les agregó nitrógeno (46 kg ha⁻¹) en forma de urea granulada al voleo durante el macollaje temprano (Estado Z22 de Zadoks *et al.*, 1974). La siembra fue realizada en parcelas de 6 m de largo y 7 surcos de ancho distanciados a 0,20 m, en labranza con-

vencional con barbecho previo en base a labores mecánicas de repaso. La época fue a principios de julio con una densidad de 300 semillas viables por m². El diseño experimental fue completamente aleatorizado, con cuatro réplicas de cada tratamiento por año.

2-Mediciones realizadas:

2.1-Observaciones fenológicas:

La determinación de la fecha de los estados fenológicos fue realizada de acuerdo al criterio de Bell & Fischer (1994): a) Z10, emergencia de las plántulas, b) Z31, primer nudo visible, c) Z49, aristas visibles, d) Z59, emergencia total de la espiga, e) Z89, madurez fisiológica (nomenclatura de acuerdo Zadoks *et al.*, 1974).

2.2-Observaciones a cosecha:

Los componentes a cosecha se registraron de una superficie de 1 m² dentro de la parcela, tal como lo recomiendan Bell & Fischer (1994): a) Número de espigas por m²: Se realizó el recuento total de espigas en una superficie de 1 m², b) Número de granos por espiga: Para determinar este componente se eligieron 10 espigas al azar dentro del m². Se trillaron las 10 espigas y se contaron los granos (Hobbs & Sayre, 2001), c) Peso de los granos a cosecha. Se tomaron al azar dos muestras de 200 granos por parcela y fueron colocadas en estufa a una temperatura de 70°C, llevadas a peso constante (Hobbs & Sayre, 2001), d) Rendimiento de grano. Se determinó trillando 1 m² de la zona central de la parcela con igual procedimiento que en el ítem anterior, e) Índice de cosecha: Fue calculado dividiendo la producción de grano por parcela por la biomasa aérea total (secadas ambas en estufa a 70°C) por 100 (Bell & Fischer, 1994). No se tuvo en cuenta el peso de las raíces. La biomasa y el rendimiento se expresan en base seca.

2.3-Evaluaciones en el suelo:

a) Humedad: Se determinó por el método gravimétrico en cuatro momentos claves dentro del desarrollo del cultivo (Bell & Fischer, 1994): Z10; Z31; Z59 y Z89. El consumo de agua (ET) en cada período fue calculado:

$$ET = AUI - AUF + \text{Lluvias (pluviómetro)}$$

Donde,

AUI: agua útil al inicio

AUF: agua útil al final

Se consideró un 100 % de infiltración de las precipitaciones, ya que las lluvias invierno-primaverales poseen escorrentía menor que las estivales (French & Schultz, 1984; Zhang & Wang, 2002; Dardanelli *et al.*, 2003).

Las características promedio del suelo en el lugar del ensayo, en los años analizados fueron: Materia orgánica 1,42 %, PBray1 10,8 ppm. La composición mineralógica fue: Arcilla, 12,0 %; Limo, 19,4 % y Arena 68,6 %. La densidad aparente fue de 1,19 g.cm⁻³. El muestreo de humedad fue realizado en un bloque de profundidad uniforme (aprox. de 0,8 a 1,0 m), para no introducir un efecto de covarianza sobre la humedad de los distintos tratamientos. La profundidad de la tosca a lo largo de todos los años fue de 0,8 m como mínimo, profundidad a partir de la cual no afecta el rendimiento del trigo pan (Sadras & Calviño, 2001).

3-Análisis estadístico:

El análisis estadístico de los experimentos se realizó por medio de Análisis de la Varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en cada variable. Se estudiaron las asociaciones posibles entre los distintos componentes y el rendimiento mismo con regresiones lineales simples y cuadráticas (Steel & Torrie, 1989). Se utilizó el paquete estadístico INFOSAT (2011).

RESULTADOS Y DISCUSION:

1-Fenología:

Los genotipos elegidos de las tres especies mostraron un ciclo total semejante. Sólo se encontraron diferencias en algún período parcial dentro del desarrollo de los mismos. Por ejemplo, en el período comprendido entre Z49 y Z59 de Zadoks *et al.* (1974) y en el que comprende desde Z59 a Z89. Buck Cristal mostró un período más prolongado entre Z49 y Z59, que el de Eronga 83. En cambio desde Z59 a Z89 se extendió más el genotipo Eronga 83. Cuando se dividió el período total del ciclo en dos, desde Z10 hasta Z31 y desde Z31 hasta Z89, los ciclos de las tres especies se mostraron muy semejantes (Tabla 2). La diferenciación estadística de las

Tabla 2. Duración de los períodos fenológicos más importantes de las tres especies
Table 2. Length of most important phenological stages of the three species.

Período	Buck Cristal		Eronga 83		Buck Guaraní	
	Media	Int. C. ⁽²⁾	Media	Int. C.	Media	Int. C.
	días					
Z00 - Z10 ⁽¹⁾	18,3	± 4,23	16,1	± 3,52	18,9	± 4,36
Z10 - Z31	62,6	± 5,22	60,8	± 4,54	59,6	± 4,63
Z31 - Z49	23	± 4,59	19,5	± 4,14	24	± 4,37
Z49 - Z59	11	± 1,41	8,5	± 0,77	8,8	± 1,16
Z59 - Z89	34	± 3,86	41,1	± 4,96	34,1	± 4,29
Z00 - Z31	80,9	± 5,49	76,9	± 5,79	78,5	± 5,55
Z31 - Z89	68	± 6,97	69,1	± 6,41	66,9	± 6,96
Z00 - Z89	148,9	± 9,39	146	± 8,68	145,4	± 9,50

(1) Estado determinado de acuerdo con Zadoks *et al.* (1974).

(2) Intervalo de confianza de la media para una $P \leq 0,05$ 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 = 8).

(1) Phenological stage according to Zadoks *et al.* (1974).

(2) Confidence interval of the mean for a given $P \leq 0.05$ with "t" table from Student's t distribution multiplied by the standard deviation and divided by the square root of the number of observations (N = 8).

medias de ocurrencia de estados fenológicos se realizó por medio de un Intervalo de confianza:

$$\pm = t_c * \frac{S}{\sqrt{n}}$$

donde:

t_c = 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 del trabajo.

2-El consumo de agua y su efecto sobre el rendimiento:

En ambientes semiáridos el rendimiento está asociado a la AU (Agua Utilizada), la eficiencia de la evapotranspiración y al IC (Passioura, 1977):

Rendimiento = AU * Eficiencia en el Uso del Agua (EUA) * Índice de Cosecha (IC)

2.1-Agua utilizada:

Se considera AU al total que sale del "sistema cultivo": la evaporada por el suelo, la transpirada

por el cultivo, el drenaje profundo y la escorrentía (estas dos últimas son despreciables en ambientes semiáridos y por lo tanto son ignoradas) (French & Schultz, 1984; Zhang & Wang, 2002; Dardanelli *et al.*, 2003). En trigo pan se han registrado valores de evapotranspiración (ET) de 480 a 800 mm, (Musick *et al.*, 1994; Singh *et al.*, 1979; Kang *et al.*, 2002; Liu *et al.*, 2002). Por otra parte, Zhang & Oweis (1999) reportaron consumos máximos de 600 mm para trigo pan y de 650 mm para trigo candeal.

En la zona de estudio, durante los meses de crecimiento de los cultivos aquí analizados, la precipitación media total es de 228 mm (Tabla 1). Además se debe sumar a ésta la capacidad de almacenaje del suelo por medio del barbecho, cuyo máximo de agua útil se registró el año 1997 con 150 mm (Tabla 4). Este almacenaje coincide con la capacidad de campo de este suelo. Por lo que, en un año con precipitaciones medias el cultivo dispondrá de 378 mm y se presentará de acuerdo con la bibliografía al menos algún déficit de agua parcial durante el ciclo del cultivo.

Existe una estrecha relación entre el AU por un cultivo de trigo y el rendimiento del mismo (Nielsen & Halvorson, 1991; Musick *et al.*,

Tabla 3. Eficiencia en el uso del agua de las tres especies en ocho años

Table 3. Water use efficiency of each of the three species during a period of eight years.

Año	DMS (P<0.05)	B. Cristal		Eronga 83		B. Guaraní	
		Fert.	Test.	Fert.	Test.	Fert.	Test.
		kg grano ha ⁻¹ .mm ⁻¹					
1997	1.93	9.03abc	7.66 bcd	10.34a	9.55ab	8.53abcd	6.83 c
2000	2.02	9.52 bc	8.30 c	12.98a	11.26ab	11.26ab	8.84 c
2002	2.67	9.50 bc	7.90 c	12.32a	11.16ab	11.06ab	10.59ab
2003	NS	1.18	1.23	2.29	2.34	1.65	1.72
2004	1.52	6.64 bc	6.03 c	9.81a	7.74 b	6.95 bc	5.94 c
2005	2.06	0.78 d	0.47 c	4.92ab	6.00a	2.78 cd	3.00 bc
2006	2.14	4.25 c	5.02 bc	9.24a	9.33a	5.84 bc	6.83 b
2007	2.51	6.21 c	5.74 c	9.97a	9.56ab	7.66abc	8.03abc
Promedio		5.89	5.29	8.98	8.44	6.97	6.47

Los valores seguidos de letras diferentes en la hilera son estadísticamente diferentes a una P<0.05 con el Test de Tukey (HSD). NS: No significativo

Values followed by different letters in the row are statistically different at P ≤ 0.05 with the Tukey test (HSD). NS: Not significant

1994; Araus *et al.*, 2003). Para Musick *et al.* (1994) se necesitaron 208 mm de AU para obtener un rendimiento cosechable de trigo. Zhang & Oweis (1999) lograron 350 kg.ha⁻¹ de trigo pan y 600 kg.ha⁻¹ de trigo candeal con 200 mm de ET durante el ciclo del cultivo. Shunqing *et al.* (2003) lograron un rendimiento de trigo pan de 521,6 kg.ha⁻¹, con 168,8 mm almacenados en

el perfil del suelo a la siembra y sin aportes de lluvias posteriores. En este trabajo, con 180 mm de AU durante el ciclo del cultivo (el año 2003) solo se pudo recolectar de 200 a 400 kg.ha⁻¹ según la especie (Tabla 4 y 6). Se consideró en cada año el rendimiento del cultivo fertilizado y el testigo, ya que si bien no hubo diferencias significativas en el consumo de agua, si las hubo en

Tabla 4. Consumo hídrico diario estimado en distintas etapas, de las tres especies, en ocho años

Table 4. Estimated daily water consumption by species at different stages during a period of eight years

Año	AU Z00	Agua total consumida			Z10 a Z31			Z31 a Z59			Z59 a Z90		
		mm			mm d ⁻¹								
		Cri	Ero	Gua	Cri	Ero	Gua	Cri	Ero	Gua	Cri	Ero	Gua
1997	150	304,2	303,4	299,7	1,29	1,31	1,42	2,85	2,94	3,12	3,19	2,90	2,89
2000	127	392,8	396,3	391,9	1,16	1,34	1,31	5,44	5,57	5,51	3,56	3,47	3,51
2002	80	323,9	328,4	324,6	1,75	2,05	1,96	3,47	3,28	3,55	2,36	2,59	2,38
2003	43	178,5	179,9	181,3	0,87	0,84	0,99	1,78	1,73	1,79	2,37	2,35	2,32
2004	118	354,2	355,1	357,8	1,91	1,60	2,16	2,24	2,23	2,28	3,64	3,54	3,57
2005	40	188,6	183,7	187,1	0,65	0,71	0,74	2,46	2,61	2,46	1,65	1,36	1,58
2006	116	282,0	279,7	279,6	0,78	0,90	0,66	3,42	3,30	3,55	3,03	2,84	3,05
2007	130	365,2	345,3	370,2	1,20	1,12	1,14	4,83	4,80	5,26	3,16	2,92	3,33

Estado Zxx = clave de Zadoks *et al.* (1974). Cri = B. Cristal; Ero = Eronga 83 y Gua = B. Guaraní.

AU Z00 = Agua útil a la siembra.

State Key Zxx = Zadoks *et al.* (1974). Cri = B. Crystal; Ero = Eronga 83 and Gua = B. Guarani.

AU Z00 = Water planting useful.

Tabla 5. Consumo hídrico estimado adecuado en distintas etapas de las tres especies
Table 5. Estimated optimal water consumption by species at different phenological stage.

Período	Consumo diario adecuado			Consumo total		
	B. Cristal	Eronga 83	B. Guaraní	B. Cristal	Eronga 83	B. Guaraní
	mm d ⁻¹			mm		
Z10 a Z31	1,2	1,12	1,14	75,1	68,1	67,9
Z31 a Z59	2,73	3,3	3,55	92,8	92,4	116,4
Z59 a Z89	3,64	2,9	3,51	123,8	119,2	119,7
Z10 a Z89				291,7	279,7	304,1

el rendimiento de grano. La ecuación observada fue semejante a la obtenida por Zhang & Oweis (1999) (Figura 1). Las pendientes y las ordenadas al origen fueron muy semejantes a la de aquellos autores (Rendimiento = $16x - 2.497$; $R^2 = 0,68$; $P < 0,05$). Utilizando la pendiente se pudo determinar que se lograron $17,92 \pm 1,31$ kg.ha⁻¹ (Error estándar) por mm de agua adicional consumido; $15,46 \pm 1,78$ kg.ha⁻¹ y $14,26 \pm 1,62$ kg.ha⁻¹ de grano de triticale, trigo pan y trigo candeal, respectivamente. Estos valores fueron inferiores a los obtenidos por Angus *et al.* (1980) de 20 kg.ha⁻¹ por mm de agua en trigo pan.

Las pendientes de las ecuaciones de las tres especies fueron estadísticamente iguales (Prueba

“t” de Student; $P < 0,01$; $g.l = 16$) (Figura 1). Con 350 mm de agua consumida durante el ciclo se puede esperar 3.770 kg ha⁻¹ de Eronga 83; 3.019 kg ha⁻¹ de Buck Guaraní y 2.602 kg.ha⁻¹ de Buck Cristal, es decir, un 24.9 % más rendimiento de triticale que trigo pan. Esto podría complementar la estimación propuesta por Hede (2000) en la cual menciona que el triticale es capaz de producir la misma cantidad de biomasa que trigo pan con un 30% menos de agua.

2.2-Eficiencia en el uso del agua (EUA):

En este ambiente, no es tan importante la capacidad de profundización de las raíces como la eficiencia con que la planta usa el agua debido a un manto petrocálcico sub-superficial a aproxi-

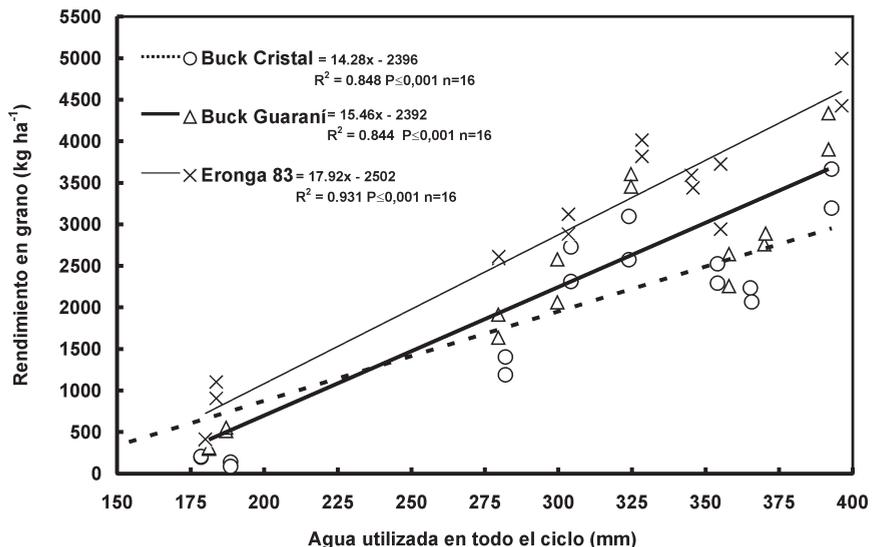


Figura 1. Relación entre el agua utilizada y el rendimiento en grano por especie.
Figure 1. Water use as a function of grain yield of each of the three species.

Tabla 6. Efecto del momento del estrés hídrico sobre el rendimiento de las tres especies
Table 6. Effect of water stress period on grain yield in each of the three species

Año	Momento del estrés hídrico	B. Cristal		Eronga 83		B. Guaraní	
		Rinde (kg ha ⁻¹)	(%) merma	Rinde (kg ha ⁻¹)	(%) merma	Rinde (kg ha ⁻¹)	(%) merma
2000	Óptimo estudiado	3.552 b	-	4.873 a	-	4.033 ab	-
1997	Z31 a Z90	2.728 b	23,2	3.123 a	35,9	2.577 b	36,1
2002	Z59 a Z90	2.712 b	23,6	3.729 a	23,5	3.415 ab	15,3
2003	Todo el ciclo, severo en Z31 a Z59	198 c	94,4	405 a	91,7	300 b	92,6
2004	Z31 a Z59	2.407 b	32,2	3.783 a	22,4	2.610 b	35,3
2005	Todo el ciclo, severo en Z59 a Z90	138 c	96,1	906 a	81,4	512 b	87,3
2006	Z10 a Z31 y Z59 a Z90	1.189 b	66,5	2.588 a	46,9	1.635 b	59,5
2007	Z59 a Z90	2.235 b	37,1	3.590 a	23,3	2.759 ab	31,6

Los valores seguidos de letras distintas en la hilera son estadísticamente diferentes a una $P \leq 0.05$ con el Test de Tukey (HSD). El rendimiento esta expresado en materia seca, secada a estufa hasta peso const ante. Values followed by different letters in the row are statistically different at $P \leq 0.05$ with the Tukey test (HSD). The yield is expressed as dry matter, oven-dried to constant weight.

madamente 1 m de profundidad (Condon *et al.*, 2002). Aquí, las precipitaciones están caracterizadas por su escasez y la variabilidad entre años y distribución dentro de ellos (Casagrande & Conti, 1980). Esto no permite definir un patrón específico de ocurrencia de las precipitaciones para adecuar el ciclo del cultivo o buscar un tipo de resistencia, ya sea de escape o tolerancia (Levitt, 1980). También se han reportado grandes

oscilaciones en la EUA para la producción de grano de trigo pan, entre 1,4 y 10,4 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (Fagioli *et al.*, 1986). Oweis *et al.* (2000) trabajaron con trigo pan en secano y riego, observando un rango más estrecho (8,1 a 11,0 kg ha⁻¹ mm⁻¹). En este estudio se observaron variaciones semejantes a las encontradas por Fagioli *et al.* (1986) (Tabla 3). En un año con sequía en el llenado de los granos, Fernández *et*

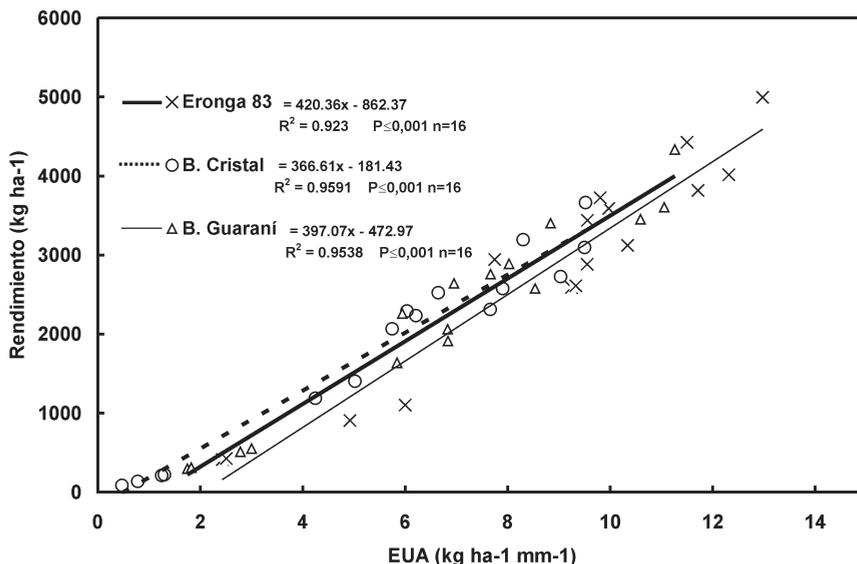


Figura 2. Relación entre el rendimiento de grano y la eficiencia en el uso del agua (EUA) de las tres especies.

Figure 2. Grain yield as a function of water use efficiency (WUE) in each of the three species

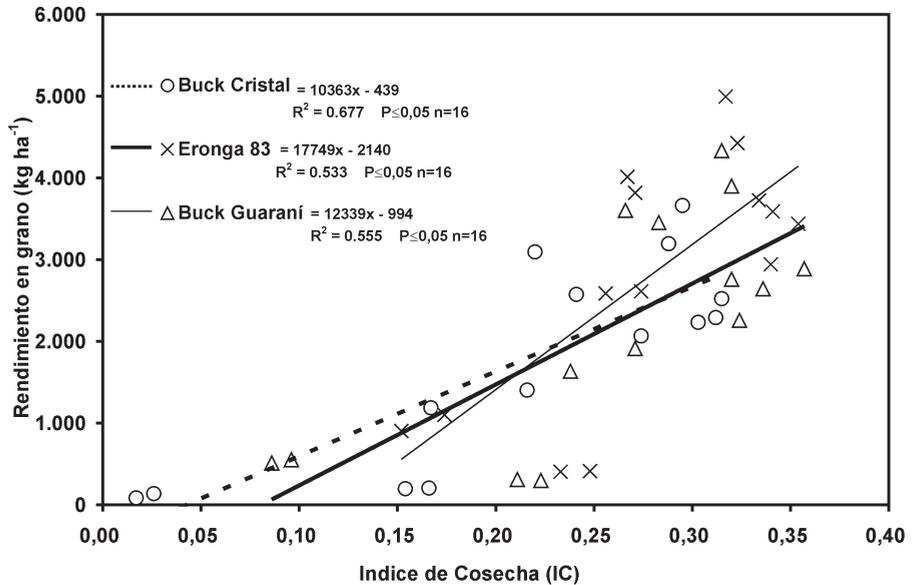


Figura 3. Relación entre el rendimiento de grano y el Índice de Cosecha (IC) de las tres especies
Figure 3. Grain yield as a function of Harvest Index (HI) in each of the three species

al. (2004), obtuvieron un rendimiento levemente superior al testigo, fertilizando trigo pan.

El año 2000, a pesar de un consumo de agua superior en el momento crítico (desde Z31 a Z59) (Tabla 4) que el año 2002, la EUA fue semejante debido a un consumo suntuoso del agua como lo propusieron Abbate *et al.* (2004). En su trabajo los ambientes con baja disponibilidad mostraron mayor EUA que los de alta disponibilidad. En los demás años el déficit hídrico fue lo suficientemente severo en algún momento del ciclo como para afectar el rendimiento (Tabla 4).

El triticale Eronga 83 mostró mayor EUA que las otras dos especies (Tabla 3). Esto podría explicar su mayor tolerancia a la sequía. La EUA fue extremadamente baja en los años 2003 y 2005. En estos años el desarrollo foliar de las plantas fue muy reducido, lo que disminuyó la radiación interceptada por el cultivo y aumentó la evaporación del suelo disminuyendo la EUA.

En la Figura 2 se observa una fuerte asociación entre la EUA y el rendimiento (R^2 de 0,94 a 0,96, según la especie; $P < 0.01$). Una relación semejante obtuvieron Zhang & Oweis (1999) en trigo pan y candeal. Ellos reportaron $16,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ como la máxima EUA en trigo pan cultivado en se-

cano. Sobre la base de esto se puede inferir que existe un margen para mejorar en esta variable, tal como lo proponen Slafer & Calderini (2005).

2.3-Índice de Cosecha

La relación entre el IC y el rendimiento de grano fue positiva pero con menor porcentaje de explicación que el AU y la EUA (Figura 3). La ecuación propuesta por Passioura (1977) posee el problema que la variable dependiente (rendimiento) está incluida tanto en la EUA y como en el IC. Por ello, en este trabajo se estudió el consumo de agua en distintos períodos del desarrollo porque es una variable independiente del rendimiento de grano.

2.4-Consumo de agua en distintas etapas del desarrollo

Fagioli & Bono (1984) reportaron para esta región grandes variaciones en el AU en las distintas etapas del cultivo de trigo, al igual que en este trabajo. En la Tabla 4 se muestra el AU (mm d^{-1}) en las distintas etapas fenológicas de las tres especies, en los tratamientos fertilizados, en los 8 años en los cuales se evaluó la humedad edáfica.

Una mayor utilización de agua en las primeras

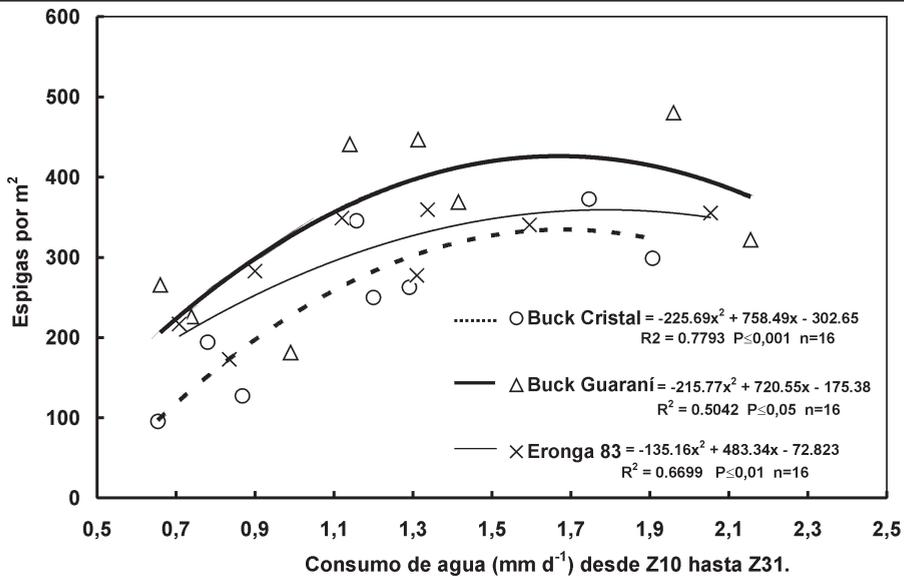


Figura 4. Relación entre el consumo de agua diario estimado desde la emergencia hasta el principio de la encañazón y el número de espigas por m^2

Figure 4. Estimated daily water consumption from emergence to early stem elongation period as a function of the number of spikes per square meter

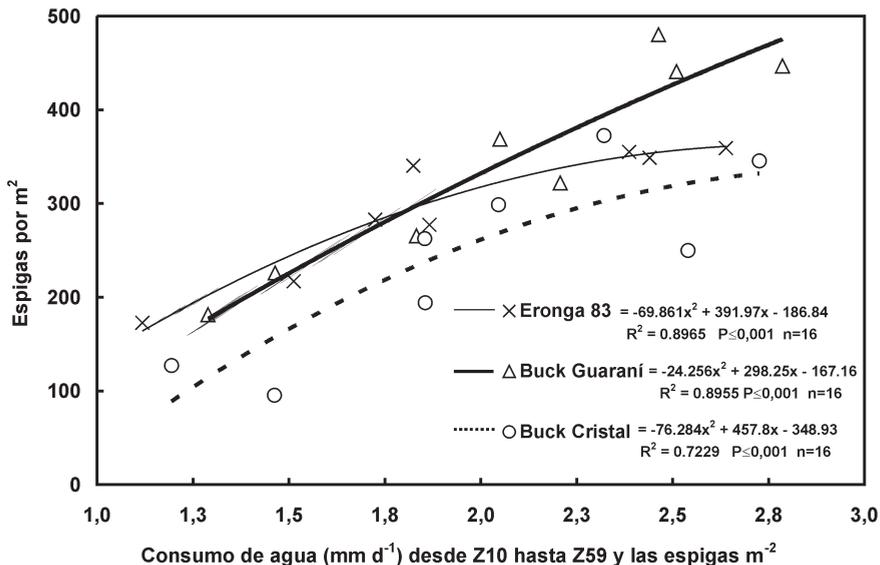


Figura 5. Relación entre el consumo de agua diario estimado desde la emergencia a la espi-gazón y la cantidad de espigas por m^2

Figure 5. Estimated daily water consumption from emergence to heading as a function of the number of spikes per square meter

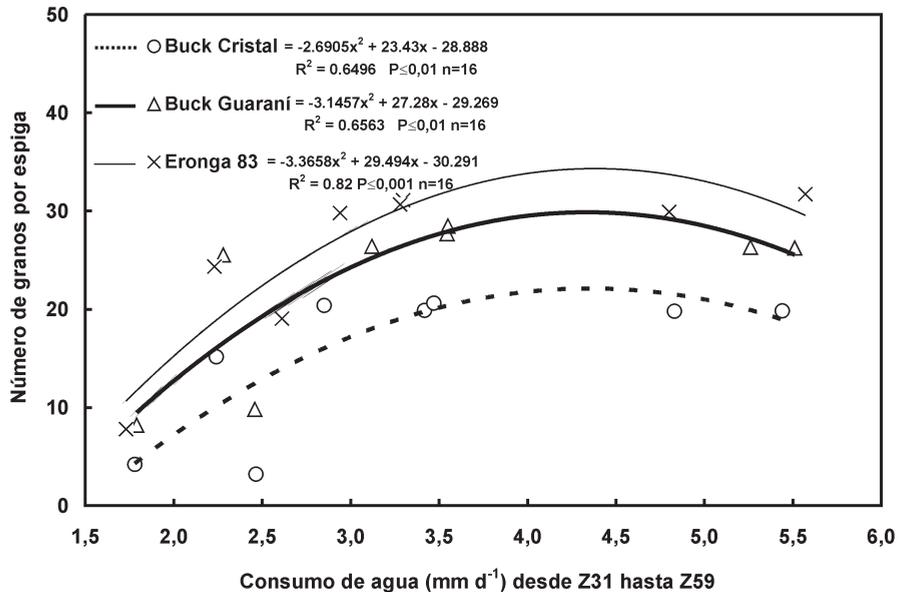


Figura 6. Relación entre el consumo de agua diario desde Z31 hasta Z59 y la cantidad de granos por espiga

Figure 6. Daily water use from Z31 to Z59 as a function of the number of grains per spike

etapas del cultivo hasta encañazón, podrían mejorar el macollaje y por ende la cantidad de espigas por m². En la Figura 4 se puede observar que a medida que aumentó el consumo de agua en esta etapa se incrementó la cantidad de espigas por m², especialmente en el trigo pan al igual que lo observado por Aggarwal & Sinha (1987). A partir de un consumo de 1,2 mm.d⁻¹ no habría grandes cambios en la cantidad de espigas por m², convirtiéndose en un consumo de agua que no reporta beneficios. La explicación puede hallarse si se agrega el consumo de agua durante la encañazón, donde se produce la muerte de macollos (Figura 5).

Cuando se sumó el agua consumida en este período a la consumida desde la emergencia al fin del macollaje, se observó una cantidad creciente de espigas por m² a medida que aumentó el consumo diario en éste período (Figura 5). Esta relación mostró un R² mayor debido a que incluyó el período de encañazón en el cual varios macollos pueden no dar espigas (Camussi & Marano, 2008).

El trigo pan tuvo mayor capacidad para formar espigas con el aumento del consumo de agua (la máxima cantidad de espigas por m² se logró con 2,46 mm.d⁻¹). Las especies, trigo candeal y triticale tuvieron aparentemente un techo de producción de espigas a partir de 2,32 mm.d⁻¹ y 1,82 mm.d⁻¹, respectivamente. Es importante lograr una buena cantidad de espigas, en años húmedos, ya que con el número de granos por espiga y el peso de los granos la compensación en el rendimiento ante una escasez de espigas es menor (Zhang *et al.*, 2007). Igualmente el consumo previo a la antesis puede asociarse a la cantidad de granos por espiga. Fagioli & Bono (1984) encontraron en este período consumos tan variables como aquí, desde 2,62 a 5,26 mm.d⁻¹. Un consumo entre 1,73 y 2,28 mm.d⁻¹ (correspondiente a los años 2003 y 2004) (Figura 6) fue limitante para lograr un buen número de granos por espiga por encima del cual se torna en un consumo suntuoso del agua. Se invierte aquí el comportamiento de las especies; el triticale posee la mayor capacidad de sostener granos por espiga, que es uno de los componentes más importantes en la genera-

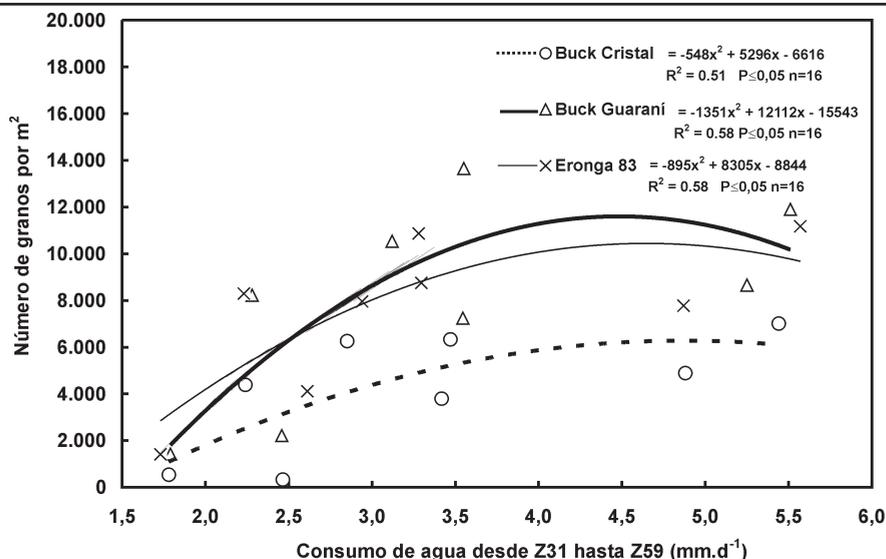


Figura 7. Relación entre el consumo de agua diario desde Z31 hasta Z 59 y la cantidad de granos por m^2

Figure 7. Daily water use from Z31 to Z 59 as a function of the number of grains per square meter

ción de rendimiento de grano y en la selección de variedades para ambientes semiáridos (Ratley & Shorter, 2010; Estrada-Campuzano *et al.*, 2012).

Numerosos autores mostraron que el período que coincide con el rápido crecimiento de la espiga y el tallo es importante en el establecimiento del número de granos por m^2 (Day & Intalap, 1970; Fischer & Stockman, 1986; Kirby, 1988). En la Figura 7 se combinan los dos componentes anteriores (espigas por m^2 y número de granos por espiga) en el número de granos por m^2 . Por debajo de $3,5 \text{ mm d}^{-1}$ tuvo un comportamiento lineal en respuesta al consumo de agua diario. A medida que se reduce el consumo diario en esta etapa las tres especies se acercaron en la cantidad de granos producidos, coincidente a los resultados de Zhang & Oweis (1999). El triticale y el trigo pan lograron mayor cantidad de granos por m^2 que el trigo candeal (Figura 7). Según lo reportado por Gaju *et al.* (2009) fue importante poseer espigas con capacidad para llevar mayor número de granos ante sequías tempranas que dejen baja densidad de espigas por m^2 . El estrés hídrico previo a la antesis provoca una reducción en el número de granos por

m^2 (Estrada-Campuzano *et al.*, 2012). Por otro lado, en ambientes de precipitaciones predominantemente invernales (mediterráneos) el rendimiento está relacionado en mayor medida con el consumo de agua post-antesis afectando el número de granos por m^2 y el peso de los mismos (Zhang & Oweis, 1999; Loss & Siddique, 1994). El déficit hídrico durante el llenado del grano acelera la senescencia foliar y reduce la eficiencia de conversión de la radiación interceptada disminuyendo el peso (Royo & Blanco, 1998; Santiveri *et al.*, 2002; Estrada-Campuzano *et al.*, 2012) pero esto sucede en mayor medida cuando el número de granos por m^2 es alto (Abbate *et al.*, 1994). Fagioli & Bono (1984) observaron en la etapa de llenado menores valores de consumo de agua diaria que alrededor de floración.

El consumo de agua durante el llenado muestra una relación positiva con el peso de los granos logrados (Figura 8). El trigo candeal mostró el mayor peso de los mil granos (PMG), el triticale un valor intermedio y el de grano más chico fue el de trigo pan. Las tres especies mostraron un PMG siempre creciente ante incrementos del consumo de agua.

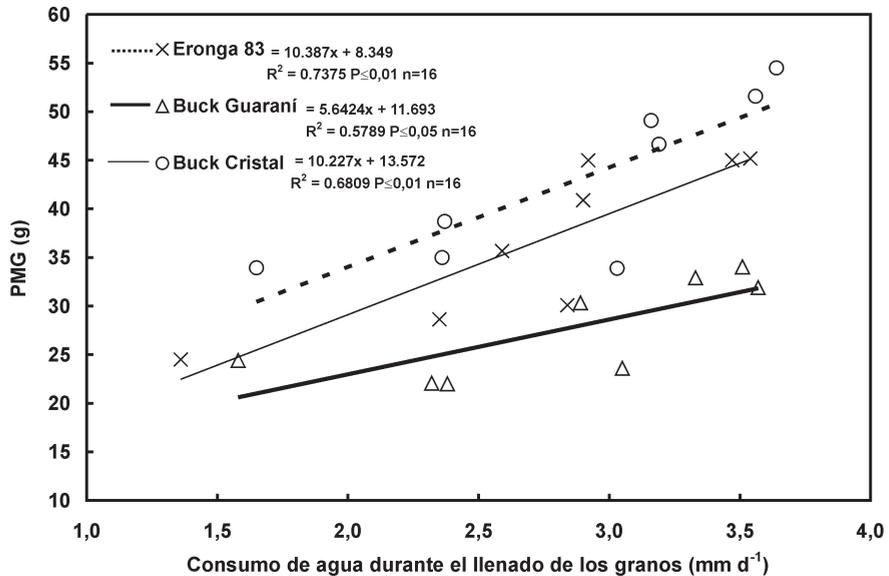


Figura 8. Relación entre el consumo de agua diario estimado durante el llenado del grano y el peso de mil granos (PMG) de las tres especies

Figure 8. Estimated daily water use during the grain filling period as a function of thousand grain weight (TGW) by species

Resulta dificultoso clasificar las precipitaciones de este lugar en un comportamiento típico de acuerdo a la clasificación de van Ginkel *et al.* (1998) (sequía temprana o mediterráneo). Esta gran variabilidad en las precipitaciones de año en año no permite encontrar características destacables que ayuden a avanzar fácilmente en el mejoramiento genético.

La Tabla 5 se construyó con los consumos hídricos parciales adecuados para las distintas etapas fenológicas de cada especie en este ensayo. Se consideró adecuado al consumo mínimo con el que se logró maximizar los distintos componentes del rendimiento. En el año 2004 y 2007 se logró el “óptimo” de Husman *et al.* (2000) con 354,2 y 365,2 mm consumidos en 138 y 135 días de ciclo respectivamente, pero no se logró el rendimiento del año 2000 en el que el consumo fue de 392,8 mm en 134 días de ciclo. Esto se puede explicar por el consumo parcial de las distintas etapas, es decir, cómo fue la distribución de esa utilización (Tabla 4).

El año 2000 fue elegido como referencia de condiciones de leve estrés hídrico en todo el ciclo y el 2002 y 2007 como ejemplos de sequía

de fin de ciclo y así se pudo cuantificar la reducción del rendimiento de 23,4%, 30,3% y 23,4% para triticale, trigo candeal y pan, respectivamente. Utilizando el mismo criterio, se puede elegir el año 2004 como ejemplo de sequía temprana desde principio de encañazón hasta floración (Tabla 4).

El triticale es la especie de menor reducción de rendimiento ante un estrés hídrico en encañazón (22,4%) comparado al trigo candeal y trigo pan (32,2 y 35,3%, respectivamente) (Tabla 6). El año 2004 (típico de sequía temprana) se pudo comprobar que a pesar de recuperar la disponibilidad hídrica del suelo en la última etapa (llenado de los granos) no pudo compensar la caída en el número de granos por m² con respecto al año 2000. En los años de sequía en todo el ciclo, el rendimiento del trigo candeal fue el más afectado, luego el de trigo pan y por último el de triticale. Para éste análisis, se utilizó el rendimiento de los tratamientos fertilizados para evitar esta limitante.

CONCLUSIONES

La producción de los cultivos invernales

anuales en la región semiárida pampeana central podrá ser aumentada con el triticale, una de las especies propuestas como más tolerante a la sequía. La estrategia para lograr mayor rendimiento por parte del triticale no fue similar a la clásica propuesta por los antecedentes para trigo pan: mayor cantidad de espigas por m² y mayor número de granos por espiga; sino que se basó principalmente en el último, complementado con el peso de los granos y lo logró sobre la base de una mayor EUA.

La disponibilidad de agua fue un factor muy importante en la determinación del rendimiento; tanto en el total de agua consumida como en la distribución del consumo del agua a través del ciclo del cultivo. Con 300 mm de agua consumidos durante el ciclo total, y distribuidos de acuerdo al consumo necesario en cada etapa ontogénica del cultivo, se pueden obtener los máximos rendimientos para las condiciones de la zona de estudio. Los cultivos estudiados tuvieron suficiente con 1,1-1,2 mm.d⁻¹ hasta Z31; 2,85-3,55 mm d-1 desde Z31 hasta Z59 y 2,92-3,64 mm d-1 desde Z59 hasta Z89, según la especie. Un consumo diario de agua superior no aportó beneficios, cuando existieron otros factores limitantes.

Por todo lo analizado se puede concluir que existen materiales genéticos no tradicionales que permitirían aumentar la producción, mejorar la estabilidad del rendimiento y aumentar la diversidad de los cultivos invernales en la sub-región de las planicies con tosca de la región semiárida pampeana central.

BIBLIOGRAFÍA

Abbate P.E., F. Andrade & J.P. Culot. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Boletín Técnico N° 133. INTA - EEA Balcarce, Argentina.

Abbate P.E., J.L. Dardanelli, M.G. Cantarero, M. Maturano, R.J.M. Melchiori & E.E. Suero. 2004. Climatic and water availability effects on water-use efficiency in wheat. *Crop Sci.* 44: 474-483.

Aggarwal P.K. & S.K. Sinha. 1987. Performance of wheat and triticale varieties. In: a variable soil water environment.

IV. Yield components and their association with grain yield. *Field Crops Res.* 17: 45-53.

- Angus J.F., H.A. Nix, J.S. Russell & J.E. Krusinga. 1980. Water use, growth and yield of wheat in a subtropical environment. *Aust. J. Agric. Res.* 31: 873-886.
- Allen R., L. Pereira, M. Smith & D. Raes. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO - Food and Agriculture Organization of the United. pp. 17-28.
- Araus J.L., D. Villegas, N. Aparicio, L.F. García del Moral, S. El Hani, Y. Rharrabti, J.P. Ferrio & C. Royo. 2003. Environment factors determining carbon isotope discrimination and yield in durum wheat under Mediterranean conditions. *Crop Sci.* 43: 170-180.
- Babinec F., G. Carosio & H. Catalani. 1998. Comportamiento de cultivares de trigo en la provincia de La Pampa. *En: Boletín Técnico N° 58.* INTA-EEA Anguil (Ed.) La Pampa, Argentina. pp. 19-24.
- Bell M.A. & R.A. Fischer. 1994. Guide to plant and crop sampling: measurements and observations for agronomic and physiological research in small grain cereals. Wheat Special Report 32. CIMMYT, D. F., México.
- Bozzini A. 1988. Origin, distribution and production of durum wheat in the world. *En: Durum wheat: chemistry and technology.* (G. Fabriani & C. Lintas Eds.). Am. Assoc. Cereal Chemist Inc. St. Paul, Min. EEUU. pp. 1-16.
- Camussi G.F. & R.P. Marano. 2008. Respuesta del trigo al riego suplementario en la región central de Santa Fé. *Rev. FAVE Cs. Agrarias.* 7: 7-21.
- Casagrande G. & H.A. Conti. 1980. Caracterización climática y agroclimática. *En: Inventario integrado de recursos naturales de la provincia de La*

- Pampa. INTA-Pcia. La Pampa-UNL-Pam. Buenos Aires, Argentina. pp. 19-32.
- Condon A.G., R.A. Richards, G.J. Rebetzke & G.D. Farquhar. 2002. Improving intrinsic water-use efficiency and crop yield. *Crop Sci.* 42: 122-131.
- Dardanelli J., D. Collino, M.E. Otegui & V. Sadras. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. *En: Producción de granos. Bases funcionales para su manejo* (E.H. Satorre, R.L. Benech Arnold, G.A. Slafer, E.B. de la Fuente, D.J. Miralles, M.E. Otegui & R. Savin Eds.). Facultad. de Agronomía. Buenos Aires, Argentina. pp. 375-440.
- Day A.D. & S. Intalap. 1970. Some effects of soil moisture stress on the growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agron. J.* 62: 27-29.
- Estrada-Campuzano G., G.A. Slafer & D.J. Miralles. 2012. Differences in yield, biomass and their components between triticale and wheat grown under contrasting water and nitrogen environments. *Field Crops Res.* 128: 167-179.
- Evans L.T. & I.F. Wardlaw. 1976. Aspects of the comparative physiology of grain yield in cereals. *Adv. Agron.* 28: 301-359.
- Fagioli M. & A. Bono. 1984. Variaciones en el uso consuntivo del agua y el contenido de nitrógeno de nitratos en el suelo, en el ciclo vegetativo de los cultivos de trigo y sorgo, en la región semiárida pampeana. Publicación Técnica N° 30. INTA - EEA Anguil. La Pampa, Argentina.
- Fagioli M., A. Bono & C. Castell. 1986. Principales problemas del cultivo de trigo en la región semiárida pampeana. III: Primer Congreso. Nac. de Trigo, Pergamino, Bs. As. pp. 303-306.
- Fernández M.A., M. Alles, M. Lincheta & J. Vicente. 2004. Efecto del genotipo y la fertilidad del suelo sobre el rendimiento del cultivo de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) en la región semiárida pampeana. *En: Actas VI Congreso Nacional de Trigo*. Bahía Blanca, Argentina. pp.59-60.
- Feyh R.L. & R.E. Lamond. 1992. Sulphur and nitrogen fertilization of winter wheat. *J. Prod. Agric.* 5: 488-491.
- Fischer R.A. & M. Stockman. 1986. Increased kernel number in Norin 10-derived dwarf wheat: Evaluation of a cause. *Aust. J. Plant Physiol.* 13: 767-784.
- French R.J. & J.E. Schultz. 1984. Water use efficiency of wheat in a Mediterranean type environment. I. The relationship between yield, water use and climate. *Aust. J. Agric. Res.* 35: 743-764.
- Gaju O., M.P. Reynolds, D.L. Sparks & M.J. Foulkes. 2009. Relationships between large-spike phenotype, grain number, and yield potential in spring wheat. *Crop Sci.* 49: 961-973.
- 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*. pp. 21-26.
- Hobbs P.R. & K.D. Sayre. 2001. Managing experimental breeding trials. *En: Application of physiology in wheat breeding* (J.I. Reynolds, Ortiz-Monasterio & A. McNab Eds.). CIMMYT publ. D. F., México. pp. 48-58.
- Husman S.H., M.J. Ottman, R.J. Wegener & M.T. Rogers. 2000. Durum response to soil water depletion levels. *En: Forage and grain*. Univ. Ariz. Coll. Agric. Coop. Ext. Report Series. pp. 103-107.
- INFOSTAT. 2011. Infostat profesional ver-

- sión 2.0. Manual del Usuario. Grupo INFOSTAT FCA. Univ. Nac. Córdoba. Córdoba, Argentina.
- Jordaan J.P. 1999. Breeding hybrid wheat for low-yielding environments. *En: Wheat ecology and physiology of yield determination* (E.H. Satorre & G.A. Slafer Eds.). Food Products Press. New York, EEUU. pp. 417-439.
- Kang S, L. Zhang, Y. Liang & H. Cai. 2002. Effects of limited irrigation on yield and water use efficiency of winter wheat on the loess plateau of China. *En: Regional water and soil assessment for managing sustainable agriculture in China and Australia*. ACIAR Monograph 84 (T.R. McVicar, L.Rui, J. Walker, R.W. Fitzpatrick & L. Changming Eds.). Yangling, China. pp. 105-116.
- Kirby E.J.M. 1988. Analysis of leaf, stem, and head growth in wheat from terminal spikelet stage to anthesis. *Field Crops Res.* 18: 127-140.
- Levitt J. 1980. Stress terminology. *En: Adaptation of plants to water and high temperature stress* (N.C. Turner & P.J. Kramer Eds.) John Wiley & Sons Inc. New York, EEUU. pp. 437-439.
- Liu C., X. Zhang & Y. Zhang. 2002. Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter. *Agric. For. Meteorol.* 111: 109-120.
- 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.
- Loss S.P. & K.H.M. Siddique. 1994. Morphological and physiological traits associated with wheat yield increase in Mediterranean environments. *Adv. Agron.* 52: 229-277.
- Morgan J.A. 1992. Drought stress in winter wheat mechanisms and strategies. *En: Wheat Technology Conference. Rangeland Resources Research.* Univ. Colorado. USA. p. 3.
- Musick J.T., O.R. Jones, B. Stewart & D.A. Dusek. 1994. Water-yield relationship for irrigated and dryland wheat in the U.S. Southern Plains. *Agron. J.* 86: 980-986.
- Nielsen D.C. & A.D. Halvorson. 1991. Nitrogen fertility influence on water stress and yield of winter wheat. *Agron. J.* 83: 1065-1070.
- Oettler G. 2005. Centenary review. The fortune of a botanical curiosity- triticale: Past, present and future. *J. Agric. Sci.* 143: 329-346.
- Oweis T., H. Zhang & M. Pala. 2000. Water use efficiency of rainfed and irrigated bread wheat in a Mediterranean environment. *Agron. J.* 92: 231-238.
- Passioura J.B. 1977. Grain yield, harvest index, and water use of wheat. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 43: 117-120.
- Ratley A. & R. Shorter. 2010. Evaluation of CIMMYT conventional and synthetic spring wheat germplasm in rainfed sub-tropical environments. I. Grain Yield. *Field Crops Res.* 118: 273-281.
- 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.
- Royo C. & R. Blanco. 1998. Use of iodide to mimic drought stress in triticale. *Field Crops Res.* 59: 201-212.
- Sadras V.O. & P.A. Calviño. 2001. Quantification of grain yield response to oil depth in soybean, Maite, sunflower, and wheat. *Agron. J.* 93: 577-583.
- SAGPyA. 2012. Estimaciones agrícolas. <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/scripts/0-2/icerical.idc>. Visitada en marzo de 2012.
- Santiveri F., C. Royo & I. Romagosa. 2002. Patterns of grain filling of spring and winter hexaploid triticales. *Eur. J.*

- Agron.* 16: 219-230.
- Shunqing A., L. Gengshan & G. Anhong. 2003. Consumption of available soil water stored at planting by winter wheat. *Agr. Water Manage.* 63: 99-107.
- Simmons S.R. 1987. Growth, development, and physiology. *En: Wheat and wheat improvement* (E.G. Heyne Ed.). *Agronomy* 13. 2ª edición. Am. Soc. Agron., Madison. Wis., USA. pp. 77-113.
- Singh N.T., A.C. Vig, R. Singh & M.R. Chaudhary. 1979. Influence of different levels of irrigation and nitrogen on yield and nutrient uptake by wheat. *Agron. J.* 71: 401-404.
- Slafer G.A & D.F. Calderini. 2005. Importance of breeding for further improving durum wheat yield. *En: Durum wheat breeding. Currents approaches and future strategies* (C. Royo, M.M. Nachit, N. Di Fonzo, J.L Araus, W.H. Pfeiffer & G.A. Slafer Eds.). Food Products Press. New York, EEUU. pp. 87-95.
- Steel R.G.D. & J.H. Torrie. 1989. Bioestadística: principios y procedimientos. Ed. Mc Graw-Hill/ Interamericana, D. F., México.
- van Ginkel M., D.S. Calhoun, G. Gebeyehu, A. Miranda, C. Tian-you, R. Pargas Lara, R.M. Trethowan, K. Sayre, J. Crossa & S. Rajaram. 1998. Plant traits related to yield of wheat in early, late, or continuous drought conditions. *Euphytica* 100: 109-121.
- Vergara G.T. & G.A. Casagrande. 2002. Estadísticas agroclimáticas de la Facultad de Agronomía, Santa Rosa, La Pampa, Argentina. *Rev. Fac. Agron. UNLPam.* 13(1,2): 1-74.
- 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. & T. Oweis. 1999. Water-yield relations and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agr. Water Manage.* 38: 195-211.
- Zhang X. & Y. Wang. 2002. Managing irrigation of winter wheat to maximise water use efficiency and net profit in the North China Plain. *En: 12th ISCO Conference.* Beijing, China. pp. 581-587.
- Zhang H., N.C. Turner, M.L. Pooley & S. Aseng. 2007. High ear number is key to achieving high wheat yields in high-rainfall zone of south-western Australia. *Aust. J. Agric. Res.* 58: 21-27.