

La estabilidad del rendimiento de trigo candeal (*Triticum durum* desf.) en la región de las planicies con tosca de la provincia de La Pampa.

Yield stability of durum wheat (*Triticum durum* desf.) in the region of the plains with petrocalcic subsoil layer of La Pampa province.

Fernández, M. A.^{1*}

RESUMEN

El propósito de este trabajo fue analizar el rendimiento de grano de trigo candeal (*Triticum durum* Desf.) y su estabilidad en la región de las planicies con tosca de La Pampa. Se utilizaron cinco genotipos de trigo candeal y dos controles (un trigo pan y un triticale) durante cinco estaciones de crecimiento. La variabilidad del rendimiento de grano fue aportada en proporciones semejantes entre el ambiente, el genotipo y la interacción del genotipo por el ambiente. Las variaciones del rendimiento de algunos genotipos se pudieron explicar con las lluvias de Octubre, sin embargo, para otros fueron más importantes las heladas inverno-primaverales. El triticale Eronga 83 mostró un mayor rendimiento a través de todas las condiciones ambientales. Los trigos candeales Buck Cristal y Bonarense INTA Cumenay mostraron una mayor estabilidad con un rendimiento medio, mientras que el trigo pan Buck Guaraní mostró la mayor inestabilidad. Eronga 83 fue el único que mostró un componente de rendimiento preponderante: el número de granos por espiga. Los resultados mostraron que los rendimientos más altos y la estabilidad no son mutuamente excluyentes. Se concluye que existen genotipos no tradicionales de cereales invernales para la planicie con tosca que permitirían aumentar la producción, la estabilidad y la diversidad.

Palabras Clave: trigo candeal, estabilidad de rendimiento, interacción genotipo por ambiente.

ABSTRACT:

The objective of this work was to analyze the grain yield of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) and its stability in the plains region, with petrocalcic subsoil layer, of La Pampa, Argentina. Five genotypes of durum wheat and two controls

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

(bread wheat and triticale) were used during five growing seasons. Variability in grain yield was contributed in similar proportions by the environment, the genotype and the genotype x environment interaction. Variability of yield for some genotypes could be explained by the rainfall in October; however, winter-spring freezes should be taken into account in other cases. Triticale variety Eronga 83 showed the highest yield in all the environmental conditions. Durum wheats varieties Buck Cristal and Bonaerense INTA Cumenay presented good stability with intermediate yield, while the bread wheat variety Buck Guaraní showed a significant instability. Eronga 83 was the only variety showing a preponderant yield component: the number of grains per spike. The results showed that high yields and stability are not mutually excluding. In conclusion, there are some non-traditional winter cereal genotypes for the plains region that could allow farmers to increase production, stability and diversity.

Key words: durum wheat, yield stability, genotype by environment interaction.

INTRODUCCION

Los cereales de invierno son importantes en la producción agropecuaria de la región semiárida pampeana central (RSPC) y dentro de ellos el más difundido es el trigo pan (*Triticum aestivum* L.). En esta zona no se cultiva aún el trigo candeal (*Triticum durum* Desf.) (Lorda *et al.*, 2001), mientras que en la subregión IV triguera se realizan cerca de 65.000 has (INDEC, 2002). El trigo candeal se difunde en zonas semiáridas y de alta variabilidad climática del mundo, que reciben menos de 350 mm durante el ciclo y es considerado más tolerante a la sequía que el trigo pan (Bozzini, 1988). Además la diversificación de los cultivos aumenta la estabilidad y reduce el riesgo de los sistemas agropecuarios (Loomis & Connor, 2002).

El rendimiento está fuertemente asociado al número de granos por unidad de superficie, aunque cuando se fijan pocos, normalmente, se obtienen granos con un mayor peso individual y el ambiente tiene gran influencia sobre éstos (Evans & War-

dlaw, 1976). El efecto ambiental constituye una variable emergente en la definición del rendimiento, observándose una gran interacción entre el genotipo, el año y la localidad (Fowler & de la Roche, 1975). Walsh (1984) agregó que, frecuentemente, resulta dificultoso identificar y separar el efecto de uno u otro componente. El estudio de esta interacción permite clarificar sobre la adaptación a varios o a un ambiente en específico (Kang, 1998).

La estabilidad se puede determinar por medio de una regresión lineal entre el rendimiento de cada especie con respecto a un índice ambiental (rendimiento promedio de todos los genotipos en cada ambiente). El coeficiente de regresión obtenido, en cada caso, es una medida de la estabilidad de los genotipos a través de los ambientes analizados (Finlay & Wilkinson, 1963). Según estos autores él o los cultivares a elegir son aquellos que presentan el mayor rendimiento medio y la mayor estabilidad (coeficiente de regresión, $b \cong 1$). Eberhart &

Russell (1966) agregaron que los genotipos son estables cuando las desviaciones de la regresión son mínimas. También para el análisis de la estabilidad se han utilizado otros parámetros como los propuestos por Wricke (1962), Shukla (1972) y Francis & Kannenberg (1978). Tollenaar & Lee (2002) propusieron que aquellos genotipos con $b < 1$ son considerados de alta estabilidad. En cambio, aquellos con $b > 1$ poseen baja estabilidad. Los agricultores necesitan de los genotipos con $b = 1$ que responden a la mejora de las condiciones ambientales, mientras que, los genotipos con $b > 1$ son muy sensibles a cambios en el ambiente y los genotipos con $b < 1$ no responden a las mejoras del mismo (Okuyama *et al.*, 2005).

La interpretación de la interacción genotipo por ambiente (IGxA) basada en la técnica de la regresión lineal de Finlay & Wilkinson (1963) fue criticada por varios autores (Lin *et al.*, 1986; Zobel *et al.*, 1988; Crossa, 1990; Annicchiarico, 1997) debido a que la estabilidad de un determinado genotipo depende del comportamiento del grupo de genotipos con que esté comparado y no es capaz de predecir la respuesta no lineal de los genotipos a los ambientes. Lin *et al.*, (1986) denominaron a este tipo de estabilidad estática o de Tipo I. Este análisis de la estabilidad puede ser útil si se comparan genotipos dentro de ambientes no muy diferentes entre sí. Lin *et al.*, (1986) denominaron estabilidad de tipo IV en el caso de que se estudien genotipos en un mismo lugar pero a través de diferentes años, y se habla de un componente no predecible de la interacción. Lin & Binns (1989) demostraron que para estudiar la variación ambiental no predecible no se puede reemplazar los años agrícolas por las épocas de siembra, si bien se pueden utilizar en combinación.

Este tipo de investigaciones requieren de varios años de información para el muestreo completo del ambiente objetivo (Cooper *et al.*, 1997). Para seleccionar genotipos superiores la vía más fácil y segura es probar ampliamente el ambiente (Troyer, 1996) y seleccionar por rendimiento medio y estabilidad (Lin & Binns, 1994). Existen otros estimadores de la estabilidad como los propuestos por Wricke (1962), Shukla (1972) y Francis & Kannenberg (1978).

En los últimos 20 años se ha comenzado a utilizar el análisis estadístico multivariado de componentes principales como herramienta para estudiar la IGxA como el realizado por Zobel *et al.*, (1988) para ensayos de soja. También Crossa *et al.*, (1990) utilizaron este tipo de análisis para ensayos multiambientales de maíz con el objetivo de detectar los efectos multiplicativos de la IGxA, ya que los efectos aditivos se los puede estudiar solamente por medio del análisis de la varianza.

La estabilidad de la producción de granos de los cultivos invernales anuales, aumentará con la incorporación de la especie *Triticum durum* Desf. más adaptada a zonas semiáridas que *Triticum aestivum* L. El objetivo de este trabajo fue evaluar la estabilidad de rendimiento de trigo candeal, el rendimiento de grano (kg ha^{-1}) y sus componentes. También, su variación por el efecto del año agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los ensayos fueron realizados en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la UNLPam., ubicado en $36^{\circ} 46'$ de Lat. Sur y $64^{\circ} 17'$ de Long. Oeste, a 210 msnm. El suelo es un haplustol éntico, con escasa pendiente superficial y un

manto de tosca en el subsuelo, a una profundidad que varía entre 0,7 m y 1,0 m. El rango de algunos parámetros del suelo fueron: materia orgánica entre 1,35 y 1,46 %; fósforo disponible (Bray I) entre 8,4 y 10,5 ppm y las proporciones de arcilla, limo y arena, 10%, 20% y 70%, respectivamente. Los genotipos fueron evaluados durante cinco años con el objetivo de registrar respuestas diferentes debidas al ambiente.

Tratamientos

Bonaerense Valverde (Liberada al mercado en el año 1980 por la Chacra Barrow).

Bonaerense Quilacó (Liberada al mercado en el año 1988 por la Chacra Barrow).

Buck Cristal (Liberada al mercado en el año 1988 por José Buck s.a.).

Buck Ambar (Liberada al mercado en el año 1995 por José Buck s.a.).

Bonaerense INTA Cumenay (Liberada al mercado en el año 1995 por la chacra Barrow/Conv. MAA-INTA).

Testigo N° 1 - Eronga 83-TCL (variedad de triticale granífero X *Triticosecale*, Wittmack, liberada en 1983 por el CIMMYT).

Testigo N° 2 - Buck Guarani (variedad de trigo pan liberado en el año 1994 por José Buck s.a.).

Las cinco variedades de trigo candeal utilizadas fueron las disponibles en el mercado al inicio del ensayo, de aquí en adelante se resumirá el nombre de los genotipos a una sola palabra. El testigo N°1 fue elegida en base a ensayos previos comparado a otros triticales graníferos en el lugar de estudio. El testigo N°2 fue elegida por tener un ciclo fenológico semejante a las variedades de trigo candeal utilizadas.

La fecha de siembra elegida fue la primera quincena de julio. El diseño fue re-

alizado en bloques completamente aleatorizados, con cuatro réplicas de cada tratamiento por año en parcelas de 6 x 1,4 m; con 7 surcos a 0,20 m entre hileras. Uno de los años se encontró respuesta significativa al fertilizante (100 kg ha⁻¹ de PDA + 100 kg ha⁻¹ de urea) y se consideraron dos ambientes. La siembra fue realizada sobre una cama de siembra convencional con barbecho previo en base a labores mecánicas de repaso. Todos los años el antecesor fue una pastura asociada entre alfalfa (*Medicago sativa* L.) y festuca (*Festuca arundinacea* Schreb.).

Estados fenológicos

Se utilizó el criterio de Bell & Fischer (1994) para observar la ocurrencia de los siguientes estados descriptos por Zadoks *et al.*, (1974):

- a) Estado 10, emergencia de las plántulas.
- b) Estado 31, primer nudo visible.
- c) Estado 49, comienzo de aristas visibles.
- d) Estado 59, emergencia total de la espiga.
- e) Estado 89, madurez fisiológica.

Componentes de Rendimiento

Los componentes se valoraron sobre una superficie de un m², tal como lo recomiendan Bell & Fischer (1994).

- a) Número de plantas: El conteo se realizó entre 10 y 14 días después de la emergencia.
- b) Número de espigas: Se realizó el recuento total de espigas fértiles a cosecha.
- c) Número de granos por espiga: Se tomaron 10 espigas al azar.
- d) Peso de los granos: Se tomaron al azar dos muestras de 200 granos por parcela y

fueron llevadas a peso constante en estufa a 70 °C durante 48 h. e) Rendimiento de grano: Se determinó trillando 1 m² con igual procedimiento que en el ítem anterior.

Otras determinaciones

Se determinó el peso hectolítrico con la balanza de Schöpfer.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de cada experimento se realizó por medio de Análisis de la Varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de los tratamientos en cada variable (Steel & Torrie, 1989).

Interacción genotipo por ambiente

Para realizar el análisis como grupo de experimentos, primeramente se realizó un ANOVA año por año (Pimentel Gomes, 1978). La comparación de las varianzas se realizó por medio del criterio de Box citado por Pimentel Gomes (1978) quien menciona que el cociente entre la varianza mayor y la menor no debe ser superior a un valor de 3 o 4. El análisis de grupo de experimentos se basó en un modelo donde el año se consideró un factor aleatorio como el desarrollado por Lamadji *et al.*, (1995).

Estabilidad de los genotipos

El análisis de la estabilidad de los genotipos en los distintos ambientes se realizó primeramente por medio de una regresión lineal como la propuesta por Finlay & Wilkinson (1963). También se calcularon las desviaciones de la regresión como la

que realizaron Eberhart & Russell (1966). Los distintos ambientes fueron los años y dentro de cada uno de éstos se consideró un ambiente distinto cuando hubo respuesta al agregado de fertilizantes. También se utilizaron otros estimadores de la estabilidad como los propuestos por Wricke (1962), Shukla (1972) y Francis & Kannenberg (1978).

Se realizó un análisis de componentes principales y se aplicó un modelo AMMI (del inglés, additive main effects and multiplicative interaction), como el realizado por Zobel *et al.*, (1988) utilizando el "software" estadístico INFOGEN (2005). En este modelo aquellos genotipos que tengan valores cercanos a 0 en el componente principal (CP1) son interpretados como adaptados a los ambientes de prueba o de menor contribución a la IGxA. También se utilizó la metodología de Yan *et al.*, (2000) quienes propusieron los gráficos GGE biplots (del inglés, genotype + genotype x environment) para visualizar los patrones de la interacción con remoción de los efectos del ambiente. Así, se pueden identificar mega-ambientes y genotipos adaptados o superiores a un determinado ambiente. Además, se utilizó la metodología propuesta por Yan & Hunt (2002) mediante la cual se puede realizar una interpretación con la construcción de un polígono envolvente de identificadores de genotipos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología

Los genotipos mostraron un ciclo fenológico semejante. Sólo se encontraron diferencias en algún período parcial dentro

del desarrollo de los mismos. Por ejemplo, en el período comprendido entre el estado 49 al 59 de Zadoks *et al.*, (1974) y en el que va desde 59 al 89 (Tabla 1). Eronga 83 mostró un período de llenado de los granos

levemente mayor que los otros genotipos. Las variedades de trigo candeal no mostraron diferencias significativas en las etapas del desarrollo.

Tabla 1. Fenología de los distintos períodos de su desarrollo (en días).

Variedad	Z00 a Z10 ⁽²⁾	EE (1)	Z10 a Z31	EE	Z31 a Z49	EE	Z49 a Z59	EE	Z59 Az89	EE	Z00 a Z89	EE
Cristal	17,2	2,8	62,4	3	22,2	3	11,6	1	32,6	2	145,8	5
Ambar	17,3	2,9	61,8	3	24,2	4	12,0	1	31,4	2	146,6	4
Quilacó	17,0	2,8	62,2	3	22,2	3	9,6	1	33,8	3	145,0	5
Valverde	17,5	3,0	62,0	3	22,8	4	11,4	1	32,8	3	146,4	5
Cumenay	17,2	2,9	62,3	3	21,8	3	10,0	0	34,4	2	145,6	5
Guaraní	17,8	3,0	59,4	2	23,6	3	9,0	1	32,6	2	142,4	5
Eronga 83	15,4	2,4	60,0	2	20,8	3	8,2	1	39,8	3	144,2	5

(1) Error Estándar de la Media para una $P \leq 0,05$.

(2) Estado fenológico determinado de acuerdo con Zadoks *et al.*, (1974).

Rendimiento

En los ambientes estudiados el rendimiento de Eronga 83 sobrepasó entre 15,4 y 22,4% al rendimiento de los tres me-

jores trigo candeal, con un rendimiento promedio de 3.904 kg ha⁻¹ (Tabla 2). Esta diferencia entre las especies es semejante a la observada por Hede (2000) que comparó triticale con trigo pan y cebada cervecera.

Tabla 2. Rendimiento de las variedades de trigo candeal y los testigos (kg ha⁻¹).

Año	Ambar	Cristal	Cumenay	Quilacó	Valverde	Guaraní	Eronga 83	Prom.
1996	2.508	2.270	2.189	2.346	2.062	2.732	2.779	2.412
1997	3.171	3.415	3.146	3.242	2.762	1.233	3.493	2.923
1998	2.103	2.243	2.620	2.830	1.814	1.663	3.307	2.369
1999	2.343	3.209	3.143	2.763	1.914	2.904	4.268	2.935
2000t*	4.660	3.621	3.289	1.756	1.853	3.837	4.580	3.371
2000f*	5.044	4.245	3.797	2.602	2.044	4.210	5.000	3.849
Prom.	3.304	3.167	3.031	2.590	2.075	2.763	3.904	2.976
%	84,6	81,1	77,6	66,3	53,1	70,8	100	

* El año 2000 hubo respuesta a la fertilización por lo cual se consideró dos ambientes. En los demás en que no hubo diferencias significativas se realizó un promedio de las parcelas testigo y fertilizadas.

Interacción genotipo por ambiente

La eficiencia de selección está restringida por la magnitud de la IGxA. Las varianzas de los ensayos anuales se compararon de acuerdo al criterio de Box (Pimentel Gomes, 1978), resultando el cociente de la mayor con la menor de 1,839. Se aceptó que las varianzas de los ensayos fueron estadísticamente semejantes.

En el análisis del grupo de experimentos sobre el rendimiento de grano se observó un efecto significativo del ambiente, del genotipo y de la interacción (Tabla 3). Este reveló que el 30,7% del total

de la suma de cuadrados del rendimiento correspondió al efecto ambiental (excluyendo los residuales). Del remanente, la suma de cuadrados del genotipo aportó el 32,8% y la interacción de éstos, el 36,5%. Esta proporción de la variabilidad aportada por los tratamientos fue distinta a la obtenida por Reynolds *et al.*, (2004) que trabajaron con riego y obtuvieron un 23% al efecto ambiental, 57% al genotipo y 20% a la IGxA. Trabajando en secano en la RSPC se debería poner atención en reducir la variabilidad de los tres componentes (ambiente, genotipo e IGxA).

La IGxA fue significativa en todos

Tabla 3. Análisis del rendimiento de grano en el grupo de experimentos.

F. V.	S. C.	g. l.	C. M.	F	Sign.
Ambiente	45.233.262,70	5	9.046.652,54	201,15	**
Error 1	809.557,30	18	44.975,41		
Cultivar	48.251.839,30	6	8.041.973,21	4,486	**
Amb. x CV	53.782.540,40	30	1.792.751,34	60,459	**
Error 2	3.202.408,70	108	29.651,93		
Total	151.279.608,30	167			

los componentes del rendimiento (plantas m⁻², espigas m⁻², número de granos por espiga y peso de los granos, datos no mostrados). El ANOVA sólo nos dice que hay una IGxA, pero no nos da una información cuantitativa del comportamiento de los genotipos individuales a través de los ambientes (Yan & Hunt, 1998).

Estabilidad de las especies

En el caso de estudio, la propuesta de Finlay & Wilkinson (1963) se mostró aceptable probablemente por no tratarse de un ensayo en distintas localidades, sino que el efecto ambiental estuvo acotado a las

condiciones climáticas del año agrícola y a una condición de fertilidad.

El comportamiento del rendimiento de los genotipos a medida que aumenta el I. Amb. fue separado en tres figuras para evitar la superposición de datos. Eronga 83 fue el genotipo elegido por su mejor performance a través de todos los I. Amb. Becker & León (1988) describieron al comportamiento de Eronga 83 y Cristal como estabilidad dinámica y al de Valverde y Quilacó como de estabilidad estática (Figura 1).

La respuesta de Eronga 83 al ambiente concuerda con las conclusiones de Tollenaar & Lee (2002) para híbridos de

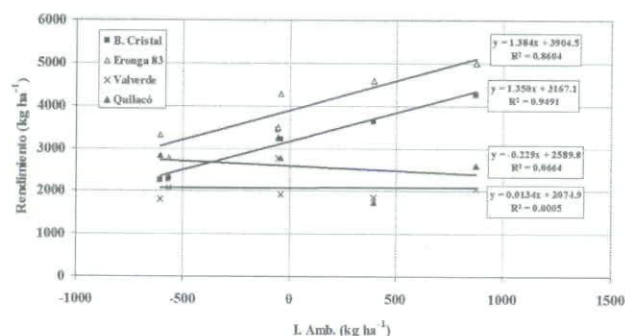


Figura 1. Relación entre el rendimiento de grano de B. Cristal, Eronga 83, Vaverde y Quilacó con el Índice Ambiental.

maíz, en cuanto a que un genotipo con alto rendimiento no es excluyente de la estabilidad. Tal como lo observaran otros autores (Felicio *et al.*, 2001) el triticale está adaptado tanto a ambientes favorables como desfavorables.

Las pendientes de las rectas de las variedades Valverde y Quilacó, no fueron estadísticamente distintas de 0, es decir que ante una mejora en las condiciones del ambiente no lograron incrementar el rendimiento. Eronga 83 y Cristal mostraron una

pendiente significativamente distinta de 0 (Tabla 4). Cristal se comportó como un genotipo de baja estabilidad de acuerdo a Tollenaar & Lee (2002) al no poseer una buena adaptación a ambientes de pobre disponibilidad de recursos pero mejoró rápidamente con la calidad del mismo (Figura 1). Felicio *et al.*, (2005) trabajaron con trigo candeal bajo riego y no encontraron pendientes $b=0$ ni tampoco pendientes mayores a 1,38 como en este ensayo.

Tabla 4. Análisis de las pendientes de las regresiones lineales de todos los cultivares.

Cultivar	R ² (1)	(a) ⁽²⁾	(b) ⁽³⁾	I. C. (b) ⁽⁴⁾		CM _{res} ⁽⁵⁾	t _{calc.} ⁽⁶⁾
Ambar	0,8490	3.304,60	2,038 *	0,84	3,20	547,9	4,72
Cristal	0,9490	3.167,10	1,350 *	0,92	1,80	198,2	8,64
Cumenay	0,8790	3.030,70	0,922 *	0,45	1,40	216,4	5,39
Quilacó	0,0660	2.589,80	-0,229 ns	-1,42	0,96	544,1	0,53
Valverde	0,0005	2.074,90	0,013 ns	-0,85	0,87	392,6	0,04
Guaraní	0,5460	2.763,10	1,521 *	-0,41	3,45	879,6	2,19
Eronga 83	0,8604	3.904,50	1,384 *	0,61	2,16	353,4	4,97

¹ = Coeficiente de determinación.

² = Ordenada al origen de la recta.

³ = Pendiente de la recta de regresión lineal resuelta por el método de los cuadrados mínimos.

⁴ = Intervalo de confianza de la pendiente de la recta (P = 0,95).

⁵ = Cuadrado medio de los residuales de la regresión.

⁶ = "t" de Student. Valor crítico para rechazar que $b = 0$; (4 g. l.; $\alpha=0,10$) "t_{crítico}" = 2,132.

No se observó una interacción cruzada, propia de los genotipos que se adaptan a ambientes específicos, sino que se fue ampliando la brecha entre los genotipos a medida que mejoraron las condiciones ambientales. La interacción cruzada parece propia de ensayos de distintas localidades con condiciones de suelo y clima contrastante, aunque para Mishra *et al.*, (2006) no están claros los factores que puedan explicarla.

La falta de respuesta al mejoramiento de las condiciones ambientales de Valverde y Quilacó podría explicarse debido a que en los años 1998, 1999 y 2000 se observó mayor susceptibilidad de estas variedades a las temperaturas por debajo de 0°C. El 20 de setiembre de 1998 se registró una helada de -7,5 °C en abrigo meteorológico (casilla a 1,5 m) hacia fin del macollaje que afectó principalmente a Valverde, Ambar, Guaraní y en menor medida a Quilacó. En el año 1999 se registró una helada el 13 de agosto de -8,5 °C en abrigo, que afectó en principio del macollaje principalmente a Valverde y Ambar; incluso se de-

teció la muerte de plantas. El momento de ocurrencia de las heladas de estos dos años puede justificar el decaimiento del número de granos por m² de Valverde (Tabla 6). En el caso de Quilacó pareció más afectado por un llenado de los granos deficiente que al efecto de las heladas. Ambar tuvo una combinación del efecto de las heladas primero y el estrés hídrico durante el llenado de los granos. En el año 2000 se registró una helada tardía el 14 de noviembre en el principio del llenado de los granos, de -1,2 °C, que aunque suave, afectó a Quilacó y Valverde en la cantidad de granos por m² fijados (Tabla 6).

En la Figura 2 se incluyen tres variedades de trigo candeal con comportamiento diferente ante cambios en el I. Amb. Ambar mostró una gran respuesta a una mayor calidad del ambiente y a medida que éste mejoró la brecha entre estas tres se amplió. Cumenay tuvo una performance intermedia entre Ambar y Valverde. En la Figura 3 se puede observar el comportamiento del trigo pan (Guaraní) con respecto al trigo candeal (Ambar) si bien semejante en

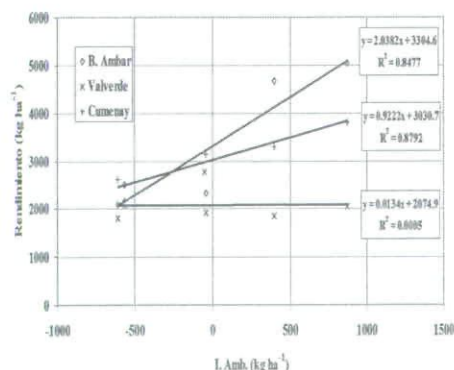


Figura 2. Relación entre el rendimiento de grano de B. Ambar, Valverde y Cumenay con el Índice Ambiental.

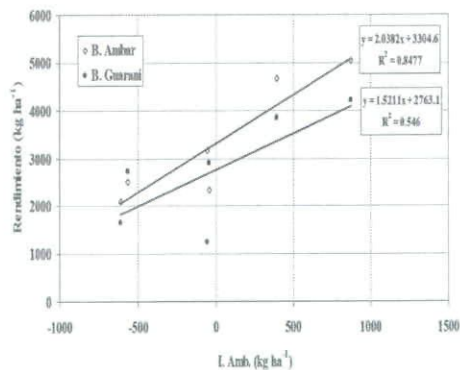


Figura 3. Relación entre el rendimiento de grano de B. Ambar y B. Guaraní con el Índice Ambiental.

Tabla 6. Efecto del año agrícola, el genotipo y la fertilidad sobre el rendimiento y sus componentes.

Tratamientos		Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Espigas por m ²	Granos por espiga	Granos por m ²	PMG
1996	Cristal	2.270	271,3	16,30	4.425	51,4
	Ambar	2.508	308,8	18,83	5.800	46,2
	Quilacó	2.346	394,1	12,44	4.878	48,1
	Valverde	2.062	253,0	18,68	4.737	43,6
	Cumenay	2.189	390,3	12,45	4.845	45,2
	Guaraní	2.732	342,5	25,57	8.762	31,3
1997	Eronga 83	2.779	2.095	24,29	7.160	38,8
	Cristal	3.415	302,5	24,73	7.472	45,7
	Ambar	3.171	294,2	25,25	7.425	42,8
	Quilacó	3.242	317,7	20,48	6.505	49,9
	Valverde	2.762	277,5	23,56	6.512	42,4
	Cumenay	3.146	261,7	25,31	6.621	47,6
1998	Guaraní	1.233	245,6	21,84	5.368	23,0
	Eronga 83	3.493	237,8	35,18	8.370	41,8
	Cristal	2.243	351,4	15,91	5.587	40,1
	Ambar	2.103	364,4	15,95	5.812	36,3
	Quilacó	2.830	395,5	19,04	7.531	37,6
	Valverde	1.814	281,6	17,47	4.932	36,8
1999	Cumenay	2.620	405,8	16,42	6.631	39,0
	Guaraní	1.663	348,1	20,59	7.172	23,3
	Eronga 83	3.307	380,2	28,60	10.867	30,5
	Cristal	3.209	275,6	23,47	6.469	49,6
	Ambar	2.343	231,5	20,00	4.626	50,7
	Quilacó	2.763	270,6	27,95	7.564	36,5
2000 Fert.	Valverde	1.914	249,1	18,69	4.642	41,2
	Cumenay	3.143	321,6	23,28	7.489	42,0
	Guaraní	2.904	379,8	25,22	9.574	30,3
	Eronga 83	4.268	306,7	37,46	11.484	37,2
	Cristal	4.245	368,3	21,25	7.817	54,4
	Ambar	5.044	393,4	23,88	9.391	53,7
2000 Test.	Quilacó	2.602	350,4	13,63	4.761	54,7
	Valverde	2.044	300,4	12,18	3.657	55,9
	Cumenay	3.797	399,6	17,55	7.013	54,2
	Guaraní	4.210	467,5	26,66	12.446	33,8
	Eronga 83	5.000	354,0	30,35	10.728	46,7
	Cristal	3.621	355,2	18,49	6.569	55,1
2000 Test.	Ambar	4.660	388,4	22,13	8.596	54,2
	Quilacó	1.756	349,6	9,140	3.194	55,0
	Valverde	1.853	295,7	11,15	3.297	56,2
	Cumenay	3.289	386,5	15,59	6.024	54,6
	Guaraní	3.837	456,8	24,69	11.279	34,0
	Eronga 83	4.580	359,2	27,20	9.772	46,9

cuanto a respuesta al ambiente, posee una mayor dispersión de los datos de la regresión lineal. Guaraní fue afectado por las heladas de 1998 y 1999. En 1997 sufrió un ataque de roya anaranjada (*Puccinia recondita* Rob. Ex. Desm. f. sp. *tritici*) que disminuyó el número de granos por m² y el peso de los mismos (Tabla 6). Este hongo no afectó a trigo candeal debido a que las razas que lo afectan son diferentes (Campos, 2004).

Eronga 83 mostró la mayor ordenada al origen ($a = 3.905$). Esto significa que en un I. Amb. "cero" o intermedio, Eronga 83 produjo 600, 737 y 873 kg ha⁻¹ más que Ambar, Cristal y Cumenay (Tabla 4).

Los resultados obtenidos confirman que el análisis propuesto por Finlay & Wilkinson (1963) es incompleto ya que se ele-

giría como estables a aquellos genotipos con pendiente $b=1$. En este caso, Cumenay, Ambar, Cristal y Eronga 83 incluyen a $b=1$ dentro del intervalo de confianza con una prueba "t" de Student para una $P \leq 0,95$. Otros métodos, muestran a Ambar como uno de los genotipos más inestables. Guaraní; si bien incluye a $b=1$, también incluye a $b=0$ por la gran dispersión de los datos sobre a regresión lineal (Tabla 4). El coeficiente de determinación propuesto por Bilbro & Ray (1976) presenta a Cristal como el de comportamiento más predecible y con una pendiente distinta de "cero". Además de analizar la estabilidad de los genotipos por el método de la regresión lineal propuesto por Finlay & Wilkinson (1963) se utilizaron otros parámetros. Los valores obtenidos de los parámetros de estabilidad se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Parámetros de estabilidad para las variedades estudiadas.

Cultivar	$b_i(1)$	$R^2(2)$	$S_i^2(3)$	$CV_i(4)$	$W_i^2(5)$	$\sigma_i^2(6)$	$\delta_i^2(7)$
Amb.	2,038	0,850	1.576.904	38,0	2.935.097	731.475	300.277 **
Crist.	1,350	0,949	617.879	24,8	354.274	8.845	39.295 ns
Cum.	0,922	0,879	311.300	18,4	197.813	-34.964	47.022 ns
Quil.	-0,230	0,066	253.702	19,5	3.613.612	921.459	296.073 **
Valv.	0,013	5E-04	123.388	16,9	2.182.824	520.839	154.163 *
Guar.	1,521	0,546	1.363.551	42,3	3.532.181	898.659	773.836 **
Eron.	1,384	0,860	716.277	21,7	737.007	116.010	124.954 *

¹ = Pendiente de la recta de los cuadrados mínimos de la regresión.

² = Coeficiente de determinación propuesto por Bilbro & Ray (1976).

³ = Cuadrado medio dentro del genotipo.

⁴ = Coeficiente genotípico de variación de Francis & Kannenberg (1978).

⁵ = Ecovalencia de Wricke (1962).

⁶ = Estabilidad de la varianza de Shukla (1972).

⁷ = Desviaciones del cuadrado medio de la regresión propuesto por Eberhart & Russell (1966).

* Significativo con prueba F ($P=0,05$; g.l., 4,90) con respecto al error ponderado (25.415).

** Significativo con prueba F ($P=0,01$; g.l., 4,90) con respecto al error ponderado (25.415).

El análisis del cuadrado medio dentro del genotipo (S_1^2) mostró que Ambar y Guarani fueron los más inestables, seguidos por Cristal y Eronga 83. A semejante conclusión se llegó con el coeficiente genotípico de variación de Francis & Kannenberg (1978). En cambio con el método de la ecovalencia de Wricke (1962) se incorporaron como inestables las variedades Quilacó y Valverde. Similares resultados se lograron con el análisis de la estabilidad de la varianza de Shukla (1972). Por último, uno de los métodos más usados en la bibliografía (Eberhart & Russell, 1966) dio como resultado que las desviaciones del cuadrado medio de los residuales de la regresión de Guarani, Ambar, Quilacó, Valverde y Eronga 83 fueron distintas de "cero" ($P \leq 0,01$) y su inestabilidad decreció en ese orden, en tanto Cristal y Cumenay se mostraron estables (Tabla 5) y fueron las que tuvieron el mayor rendimiento medio junto a Ambar, dentro de las variedades de trigo candeal (Tabla 2).

En la Figura 4 se graficó la relación entre los coeficientes de regresión y el rendimiento medio de las variedades estudiadas. Eronga 83 tuvo un alto rendimiento y además un $b \approx 1$, es decir que se adaptó bien a los ambientes analizados (Tabla 4). Cristal y Cumenay pueden considerarse de comportamiento medio (rendimiento medio y $b \approx 1$). Ambar mostró grandes cambios a medida que se modificó la oferta ambiental (rendimiento medio y $b \approx 1$). Guarani mostró buena respuesta al ambiente pero un rendimiento promedio bajo. Valverde y Quilacó tuvieron un comportamiento no deseado por su baja respuesta al ambiente ($b \approx 0$) combinado con bajos rendimientos. Estos resultados no concuerdan con Vega (1992) en cuanto a que la selección de ge-

notipos para altos rendimientos generalmente está asociada a inestabilidad (Eronga 83, Cristal y Cumenay). La excepción fue Ambar que mostró alto rendimiento e inestabilidad. Coinciden con Westcott (1987) cuyos híbridos de maíz con valores de $b < 1$ indicaron rendimientos por debajo de la media general (Valverde y Quilacó). La excepción fue Guarani que tuvo una $b > 1$ y un rendimiento por debajo de la media general (Figura 4).

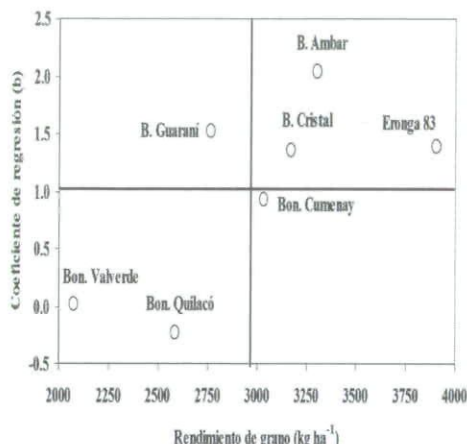


Figura 4. Relación entre el rendimiento de cada cultivar en el I. Amb. "0" y el coeficiente de regresión.

En la Figura 5 se puede observar el comportamiento de las variedades de trigo candeal con respecto a los testigos por medio de la estabilidad de tipo dinámica propuesta por Eberhart & Russell (1966) e interpretada por Becker & León (1988). Aquí se visualiza que los genotipos más estables fueron Cristal y Cumenay. Luego seguirían Valverde y Eronga 83, aunque el primero con baja respuesta a cambios ambientales. Además, Guarani mostró las mayores desviaciones de la regresión.

Eberhart & Russell (1966) recomen-

daron encontrar un I. Amb. independiente de las variedades participantes y obtenida de factores ambientales, como la lluvia, la temperatura o la fertilidad del suelo. Verón *et al.*, (2002) estimaron que la precipitación es la principal determinante no sólo de la productividad primaria neta de los cultivos de trigo en la Argentina sino también de su variabilidad interanual, sobre todo en suelos donde la capacidad de almacenaje de agua es baja y el sistema se vuelve más dependiente de la precipitación en el ciclo del cultivo, como los estudiados en este caso.

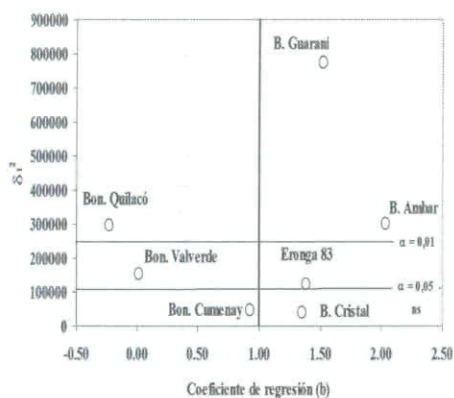


Figura 5. Relación entre los coeficiente de regresión de las ecuaciones lineales y las desviaciones de la misma propuesta por Eberhart & Russell (1966).

Entonces, el I. Amb. se reemplazó por las lluvias del mes de Octubre durante el cual ocurre la determinación de la cantidad de espigas fértiles por unidad de superficie y el número de granos potenciales por espiga; importante en la definición del rendimiento de los cultivos invernales en la RSPC (Fagioli & Bono, 1984) (Figura 6). En este período las precipitaciones son muy variables tal como lo mostraran Travasso *et al.*, (1994) para Bordenave (Bs. As.), también ubicada en la RSPC.

En la Figura 6 se muestran los mismos cuatro cultivares de la Figura 1 reemplazando el I. Amb. por las precipitaciones de Octubre. Se observó el mismo comportamiento que en la Figura 1. Para confirmar la asociación se realizó una regresión lineal entre las lluvias de Octubre y el I. Amb. (Figura 7) lográndose una buena correlación entre ambas variables (r , Pearson = 0,978). Esto coincide en parte con Fagioli & Bono (1984), quienes mencionaron la importancia de las lluvias de este mes y de Septiembre para la determinación del rendimiento en la RSPC. Fagioli *et al.*, (1982) no encontraron una asociación tan alta trabajando en tres sitios distintos de dicha región y tuvieron que incluir más meses en el período de crecimiento para aumentar la explicación (1 de Julio al 30 de Noviembre; $r = 0,53$). En el caso estudiado aquí, cuando se agregaron las lluvias de Septiembre no aumentó la explicación del I. Amb. La incorporación de los demás meses en el crecimiento del cultivo también fueron analizados pero no incrementaron la explicación, coincidentemente con la información reportada por Miranda & Junquera (1994) para el sudoeste

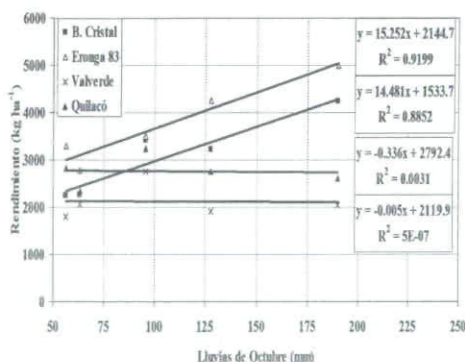


Figura 6. Asociación entre las lluvias de Octubre y el Rendimiento de grano de las tres especies.

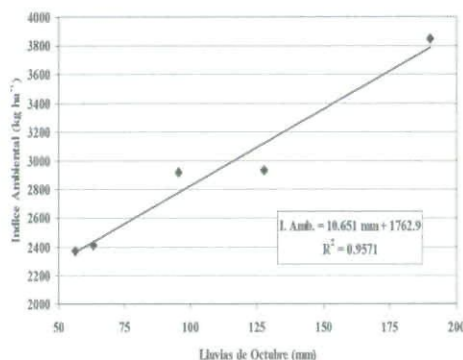


Figura 7. Asociación entre las lluvias de Octubre y el I. Amb.

bonaerense. Calviño & Sadras (2002) encontraron una buena asociación entre el rendimiento de trigo y la lluvia ocurrida 60 días antes de floración y 10 días posteriores en cuatro sitios del SE bonaerense.

Con el objetivo de estudiar el comportamiento no lineal de la IGxA se realizó un análisis multivariado por medio de los componentes principales (CP) para encontrar los índices de máxima varianza. De un análisis con toda la información (rendimiento y componentes) se obtuvo que el CP1 explicó el 47,7% de la variabilidad total. El CP2 aportó una explicación de 19,0% (Figura 8). Entre el CP1 y el CP2 se explicó el 66,7% de la variabilidad total, considerado suficiente para un análisis en un gráfico "biplot" (Balzarini *et al.*, 2005). La incorporación de los componentes de rendimiento permite una mejor interpretación de la IGxA (Yan & Hunt, 1998).

En el eje del CP1 se puede destacar que Eronga 83 se ubicó en todos los ambientes en la parte positiva de los residuales, es decir, mostró el mayor rendimiento. Además se asoció a los componentes del rendimiento que dependen del tamaño de la espiga. Por otra parte, hubo un comporta-

miento dispar de Ambar, Guaraní y Cristal, mientras que Valverde se ubicó claramente en el cuadrante inverso al rendimiento cercano al porcentaje de espiguillas estériles, probablemente debido a su susceptibilidad a las heladas. Guaraní se ubicó un año cerca del rinde, otros con rendimiento medio y otro negativamente al mismo asociado a bajo número de granos por m² y peso de los mismos. Quilacó y Cumenay tuvieron un vector negativo con el rinde en el CP1. Estas variedades sobre el CP2 mostraron algunos años un vector positivo con el rinde debido principalmente a un buen tamaño de los granos (Tabla 6). Se pudo detectar gran complejidad de las interacciones de los cultivares con los ambientes.

En la Figura 9 se puede observar que los genotipos con comportamiento extremo mostrados por el análisis AMMI fueron coincidentes con los de mayor valor de inestabilidad de los métodos mostrados en la Tabla 5 (W_1^{-2} , σ_1^{-2} , δ_1^{-2}). Los dos primeros CP explican el 85,5% de la variabilidad y por lo tanto se puede suponer que ellos son suficientes para explicar los patrones debidos a la IGxA. El CP1 indica que el ambiente ofrecido en el año 2000 fue el de mayores rendimientos y en ese ambiente tuvieron buen desempeño Ambar y Guaraní y en menor medida Eronga 83. Los años 1996 y 1999 fueron intermedios, mientras que 1997 y 1998 fueron ambientes limitantes para lograr buenos rindes.

Por medio de un modelo GGE biplots se logró identificar los mejores genotipos para cada ambiente (Figura 10). Los dos primeros CP explicaron una buena parte de la variabilidad de la IGxA (87,3%). Aquí, los cinco años fueron agrupados en un solo cuadrante. Esto resulta lógico al no tratarse de distintas localidades sino que las

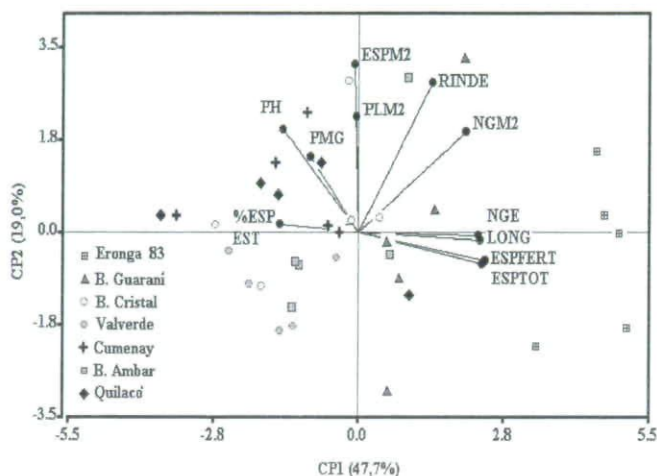


Figura 8. Biplot de los componentes principales (CP1 y CP2) graficando la variabilidad de los datos de las tres especies a través de los ambientes. RINDE = rendimiento, NGE = número de granos por espiga, ESPM2 = espigas por metro cuadrado, PLM2 = plantas por metro cuadrado, NGM2 = número de granos por metro cuadrado, PMG = peso de los mil granos, LONG = longitud de las espigas, ESPFERT = espiguillas fértiles, ESPTOT = espiguillas totales, %ESPEST = porcentaje de espiguillas estériles y PH = peso hectolítico.

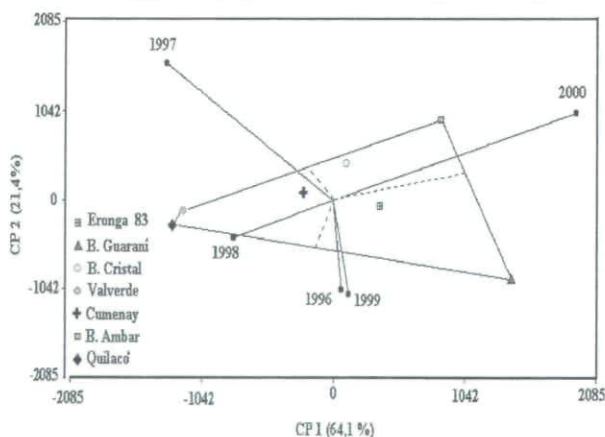


Figura 9. Representación AMMI para identificación de genotipos de comportamiento extremo.

variaciones son sólo debidas a las condiciones climáticas del año. Yan & Hunt (2002) propusieron que los genotipos que están en el vértice son los que más rinden en el cua-

drante en que se encuentran. En este caso el que más rinde en todos los ambientes es Eronga 83.

Para identificar los mejores ambien-

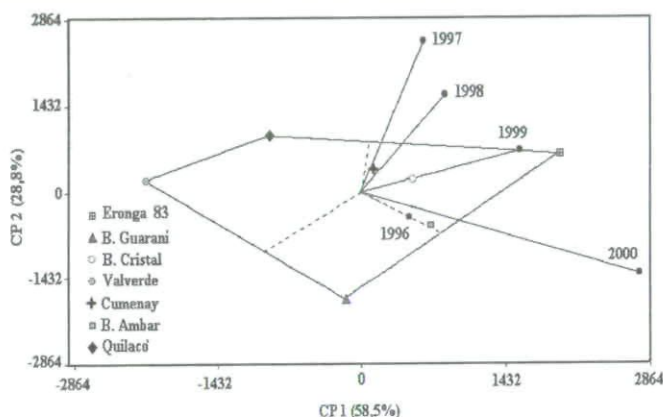


Figura 10. Análisis de la interacción genotipo x ambiente mediante un modelo GGE plot.

tes se debe graficar un polígono envolvente de identificadores de ambiente de comportamiento extremo removiendo los efectos del genotipo. En la Figura 11 se observa que el cuadrante cuyo vértice es el año 2000 incluye 5 cultivares que se adaptarían bien a éste. El año 1997 está en el vértice del cuadrante que contiene a Quilacó y Valverde indicando que se comportaron bien para éste año particular, en el que no se registraron heladas extremas (Vergara & Casagrande, 2002). Además, no tuvieron buena performance el año 2000, de buen potencial para los otros genotipos. Los años 1996 y 1998 no contienen ningún genotipo indicando que son los de rendimiento más pobre para todas las líneas evaluadas. El CP1 explicó el 74,7% de la variabilidad por sí mismo y junto al CP2 se logró el 92,0% de la explicación de la variación debida a la IGxA.

Acevedo & Ceccarelli (1989) de-

nominaron ambientes de bajo potencial para trigo a aquellos inferiores a los 3.000 kg ha⁻¹ de rendimiento, y de alto potencial a los superiores a 6.000 kg ha⁻¹ o más. Si se seleccionan cultivares aptos en ambientes de alto potencial, generalmente ocurre que trasladados a ambientes de bajo potencial no superan a los ya adaptados a éstos últimos (Araus *et al.*, 2002). Por ello, se debería estudiar y seleccionar las variedades en ambientes particulares. Sin embargo, otros autores proponen que seleccionando genotipos en ambientes de alto potencial se logra avanzar en la resistencia a estrés hídrico (van Ginkel *et al.*, 1998; Kirigwi *et al.*, 2004). La performance de Eronga 83 confirmaría a éstos últimos autores, ya que mostró estabilidad y alto rendimiento en cualquiera de los ambientes analizados. Este comportamiento es semejante al observado por Zapata *et al.*, (2004) quienes trabajaron con isolíneas semi-enanas de trigo.

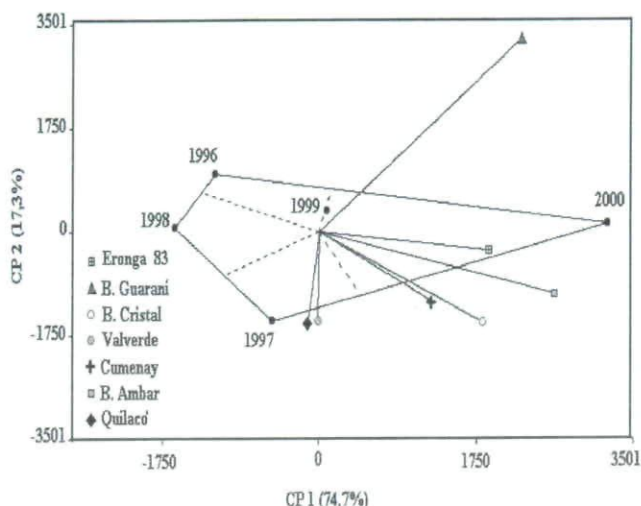


Figura 11. GEE plot para la identificación de los mejores ambientes.

Con los datos obtenidos en esta región, el ambiente puede caracterizarse de potencial intermedio a bajo de acuerdo a lo propuesto por Acevedo & Ceccarelli (1989). Evans (1993) puntualizó la necesidad de desarrollar nuevos cultivares con gran adaptabilidad a diversos ambientes y confiabilidad o seguridad entre años. Rosielle & Hamblin (1981) demostraron que la selección por tolerancia a ambientes con estrés redujo el rendimiento medio cuando se los ubicaba en ambientes sin estrés y que la selección por productividad media generalmente incrementó los rendimientos medios en ambos ambientes. A resultados semejantes arribaron Rizza *et al.*, (2004) en cebada cervecera. Un genotipo de buena performance en diferentes ambientes debería poseer tolerancia-resistencia durable de base amplia ante los factores ambientales bióticos y abióticos que sucedan durante el desarrollo (Kang, 1998).

En muchos casos, distintos métodos de análisis para entender la IGxA lle-

van a similares conclusiones. Es por demás importante la calidad de la información obtenida (homogeneidad del tratamiento de los ensayos a través de los años) y muchas veces más limitante que el método de análisis, para entender dicha interacción (Yan & Hunt, 2001).

Los componentes del rendimiento

A medida que se cumple el ciclo ontogénico de los cultivos se definen los componentes numéricos del rendimiento. En general, se pueden resumir los componentes en dos fracciones: el número de granos por m^2 y el peso de los mismos. El número de granos por m^2 es un componente primordial en la determinación del rendimiento de la mayoría de los cultivos anuales de cosecha (Fischer, 1975). El número de granos por m^2 queda definido en el momento del cuaje de los frutos unos días después de la antesis y tiene una primordial importancia en el rendimiento del

grano (Fischer, 1985). Los valores medios de los componentes de rendimiento a través de los años se reflejan en la Tabla 6.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos mostraron que los rendimientos más altos y la estabilidad no son mutuamente excluyentes. Se concluye que existen genotipos no tradicionales para la zona que permitirían aumentar la producción, la estabilidad y la diversidad. Dentro de las variedades de trigo candeal existen algunas que lograron mayor estabilidad de rendimiento en la RSPC, y otras por el contrario, menor estabilidad. Se debe analizar cada genotipo en particular ya que la variabilidad genética y la IGxA son factores importantes en zonas de alta variabilidad climática.

Con el objetivo de disminuir la variabilidad del rendimiento de los cereales invernales en la RSPC se deben poner atención en los tres componentes: el genotipo, el ambiente y la interacción de éstos dado que cada uno aportó una parte importante de la variabilidad. La estabilidad se debería estudiar por varios métodos disponibles porque no todos seleccionaron los mismos genotipos como más aptos para este ambiente.

El testigo triticale cv. Eronga 83 mostró buena adaptación tanto en ambientes favorables como desfavorables. Dentro de las variedades de trigo candeal se observaron comportamientos dispares, algunas respondieron a la mejora de las condiciones ambientales mientras que otras no lo hicieron. Las precipitaciones de Octubre fueron importantes para los genotipos que responden a la calidad del ambiente ($b \approx 1$), mien-

tras que para otros ($b \approx 0$) no tuvieron incidencia.

El análisis de componentes principales del rendimiento y sus componentes fue una herramienta útil para determinar la compleja trama de relaciones entre ellos. El mejor comportamiento observado en el triticale podría indicar que una buena estrategia para estabilidad y alto rendimiento en zonas tan variables podría ser un mayor tamaño de la espiga, asociado a un alto número de granos por espiga y alta fertilidad de las espiguillas.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, E. & S. Ceccarelli. 1989. Role of physiologist-breeder in a breeding program for drought resistance conditions. *en*: Drought resistance in cereals. (F.W.G. Baker ed.). CAB International, Wallingford, UK. pp. 117-139.
- Annicchiarico, P. 1997. Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. *Euphytica* 94:53-62.
- Araus, J.L.; G. A. Slafer, M.P. Reynolds & C. Royo. 2002. Plant breeding and drought in C₃ cereals: what should we breed for? *Ann. Bot.* 89:925-940.
- Balzarini, M.; C. Bruno & A. Arroyo. 2005. Análisis de ensayos agrícolas multi-ambientales. Ejemplos con Info-Gen. Ed. Brujas, Córdoba, Arg. 141 p.
- Becker, H.C. & J. León. 1988. Stability analysis in plant breeding.

- Plant Breeding. 101:1-23.
- 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. 66 p.
- Bilbro, J.D. & L.L. Ray. 1976. Environmental stability and adaptation of several cotton cultivars. *Crop Sci.* 16:821-825.
- 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.
- 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.
- Campos, P.E. 2004. Diferencias en la población patógena de *Puccinia triticina* que afecta a los cultivos de trigo pan (*Triticum aestivum*) y trigo candeal (*Triticum turgidum var. durum*). *en: Actas VI Cong. Nac. Trigo.* Bahía Blanca, Arg. pp.199-200.
- Cooper, M.; R.E. Stucker; I.H. DeLacy & B.D. Harch. 1997. Wheat breeding nurseries, target environments, and indirect selection for grain yield. *Crop Sci.* 37:1168-1176.
- Crossa, J. 1990. Statistical analyses of multilocations trials. *Adv. Agron.* 44:55-85.
- Crossa, J.; H.G. Gauch & R.W. Zobel. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30:493-500.
- Eberhart, S.A. & W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.
- Evans, L.T. 1993. Crop evolution, adaptation and yield. Cambridge Univ. Press, New York, EEUU. 545 p.
- 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. Relaciones entre lluvia y rendimiento del trigo en la región semiárida pampeana. INTA EEA-Anguil. *Carpeta de Inf. Téc. Serie Ecología:*19-20.
- Fagioli, M.; A. Bono & H.E. Torroba Gentilini. 1982. Productividad de los cultivos de trigo en la región semiárida pampeana. INTA EEA-Anguil. *Pub. Téc.* 24. 9 pp.
- Felicio, J.C.; C.E. de O. Camargo; A. W.P. Ferreira Filho & P.B. Gallo. 2001. Avaliação de genótipos de triticale e trigo em ambientes favoráveis e desfavoráveis no estado de São Paulo. *Bragantia* 60:83-91.
- Felicio, J.C.; C.E. de O. Camargo; J.C. V.N.A. Pereira; N. Bortoletto; P. B. Gallo & A.W.P. Ferreira

- Filho. 2005. Adaptação, estabilidade e potencial produtivo de genótipos de *Triticum durum* L., irrigados por aspersão no estado de São Paulo. *Bragantia* 64:377-387.
- Finlay, K.W. & G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in plant-breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14:742-754.
- Fischer R. A. 1975. Yield potential in a dwarf spring wheat and the effect of shading. *Crop Sci.* 15:607-613.
- Fischer R. A. 1985. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *J. Agric. Sci.* 105:447-461.
- Fowler, D.B. & I. A. de la Roche. 1975. Wheat quality evaluation. III. Influence of genotype and environment. *Can. J. Plant. Sci.* 55:263-269.
- Francis, T.R. & L.W. Kannenberg. 1978. Yield stability studies in short-season maize. 1. A descriptive method for grouping genotypes. *Can J. Plant Sci.* 58:1029-1034.
- Hede, A.R. 2000. A new approach to triticale improvement. *en: Research highlight of the CIM-MYT wheat program, 1999-2000.* p. 21-26.
- INDEC. 2002. Encuesta Nacional Agropecuaria. 2001. Inf. Prensa. ISSN 0327-7968. Bs. As., Arg. 15 p.
- Kang, M.S. 1998. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. *Adv. Agron.* 62:199-252.
- Kirigwi, F.M.; M. van Ginkel; R. Trethowan; R.G. Sears; S. Rajaman & G.M. Paulsen. 2004. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. *Euphytica* 135:361-371.
- Lamadji, S.; A. G. Fautrier; D. L. McNeil & J.R. Sedcole. 1995. Proposed breeding strategy for yield improvement of hexaploid triticale (x triticosecale Wittmack) 1. Genetic variability and phenotypic stability. *N. Z. J. Crop Hort. Sci.* 23:1-11.
- Lin, C.S. & M.R. Binns. 1989. Comparison of unpredictable environmental variation generated by year and by seeding-time factors for measuring type 4 stability. *Theor. Appl. Genet.* 78:61-64.
- Lin, C.S. & M.R. Binns. 1994. Concepts and methods for analysis regional trial data for cultivar and location selection. *Plan Breed. Rev.* 11:271-297.
- Lin, C.S.; M.R. Binns & L.P. Lefkovitch. 1986. Stability analysis: where do we stand?. *Crop Sci.* 26:894-900.
- Loomis, R.S. & D.J. Connor. 2002. *Ecología de cultivos. Productividad y manejo en sistemas agrarios.* Ed. Mundi-Prensa, Madrid, Esp. 591 p.
- Lorda, H.; Y. Bellini Saibene; A. Sipowicz; R. Colazo; Z. Roberto; J. Sarasola & P. Lucchetti. 2001. Resultados de la encuesta

- agrícola 1999. I. Región pampeana del proyecto RADAR. *en*: EEA INTA-Anguil, Bol. Div. Téc. N° 1. 50 p.
- Miranda, R. & A.J. Junquera. 1994. Rendimiento de trigo y precipitaciones. *en*: Actas III Congreso Nacional de Trigo. Bahía Blanca, Arg.
- Mishra, R.; P. S. Baenziger; W. K. Russell; R. A. Graybosch; D. D. Baltensperger & K. M. Escribano. 2006. Crossover interactions for grain yield in multi-environmental trials of winter wheat. *Crop Sci.* 46:1291-1298.
- Okuyama, L.A.; L.C. Federizzi & J.F. Barbosa Neto. 2005. Grain yield stability of wheat genotypes under irrigated and non-irrigated conditions. *Braz. Arch. Biol. Tech.* 48:697-704.
- Pimentel Gomes, F. 1978. Curso de estadística experimental. Ed. Hemisferio Sur, Bs. As., Arg. 323 p.
- Reynolds, M.P.; R. Trethowan; J. Crossa; M. Vargas & K.D. Sayre. 2004. Physiological factors associated with genotype by environment interaction in wheat. *Field Crops Res.* 85: 253-274.
- Rizza, F.; F.W. Badeck; L. Cattivelli; O. Lidestri; N. Di Fonzo & A.M. Stanca. 2004. Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Sci.* 44:2127-2137.
- Rosielle, A. A. & J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Sci.* 21:943-946.
- Shukla, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environment components of variability. *Heredity* 29:237-245.
- Steel, R.G.D. & J.H. Torrie. 1989. Bioestadística: principios y procedimientos. Ed. Mc Graw-Hill/ Interamericana, D. F. México. 514 p.
- Tollenaar, M. & E.A. Lee. 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Res.* 75:161-169.
- Travasso, M.Y.; R. Delecolle & Y.C.H. Baldi. 1994. Principales factores agro-climáticos determinantes del rendimiento de trigo en el sur Bonaerense. *RIA.* 25:33-40.
- Troyer, A.F. 1996. Breeding for widely adapted popular maize hybrids. *Euphytica* 92:163-174.
- 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.
- Vega, U.A. 1992. Asociación entre el rendimiento promedio, respuesta de producción y estabilidad de la producción de maíz y trigo. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 18:387-396.

- Vergara, G.T. & G.A. Casagrande. 2002. Estadísticas agroclimáticas de la Facultad de Agronomía, Santa Rosa, La Pampa, Argentina. *Rev. Fac. Agron. UNLPam.* 13:1-70.
- Verón, S.R.; J.M. Paruelo; O.E. Sala & W.K. Lauenroth. 2002. Environmental controls of primary production in agricultural systems of the Argentine Pampas. *Ecosystems* 5:625-635.
- Walsh, E. J. 1984. Developing yield potential of cereals. *en: Cereal Production.* (E.J. Gallagher ed.). Butterworths, London, Ing. p. 69-93.
- Westcott, B. 1987. A method of assessing the yield stability of crop genotypes. *J. Agric. Sci. Camb.* 108:267-274.
- Wricke G. 1962. Über eine methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Z. Pflanzenzuecht.* 47:92-96.
- Yan, W. & L.A. Hunt. 1998. Genotype by environment interaction and crop yield. *Plant Breed. Rev.* 16:135-178.
- Yan, W. & L.A. Hunt. 2001. Interpretation of genotype x environmental interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Sci.* 41:19-25.
- Yan, W. & L. A. Hunt. 2002. Biplot análisis of diallel data. *Crop Sci.* 42:21-30.
- Yan, W.; L.A. Hunt; Q. Sheng & Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE bi-plot. *Crop Sci.* 40:597-605.
- Zadoks, J.C.; T.T. Chang & C.F. Konzak. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14:415-421.
- Zapata C.; P. Silva & E. Acevedo. 2004. Comportamiento de isolíneas de altura en relación con el rendimiento y la distribución de asimilados en trigo. *Agric. Téc. (Chile)* 64:139-155.
- Zobel, R.W., M.J. Wright & H.G. Gauch. 1988. Statistical analysis of yield trial. *Agron. J.* 80:388-393.