

TRITICALES Y TRICEPIROS: INTERACCIÓN GENOTIPO-AMBIENTE Y ESTABILIDAD DEL RENDIMIENTO EN GRANO

GENOTYPE-ENVIRONMENT INTERACTION AND STABILITY OF GRAIN YIELD IN TRITICALES AND TRICEPIROS

Víctor Ferreira^{1*}, Ezequiel Grassi¹, Analía Ferreira¹, Hernán di Santo¹, Ernesto Castillo¹ y Héctor Paccapelo²

¹ Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, RN 36 km 601 (CP 5800) Río Cuarto, Córdoba, Argentina.

² Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa, RN 35 km 334. (CP 6300), Santa Rosa, La Pampa.

* Autor para correspondencia E-mail: vferreira@ayv.unrc.edu.ar

RESUMEN

Triticales (x *Triticosecale* Wittmack) y tricepiros (x *Triticosecale* Witt. X x *Agroticum* A. Camus) son alternativas para aportar forraje fresco y grano en los sistemas ganaderos de invernada, recría y sistemas lecheros (tambo) de la Argentina. El desarrollo de nuevos cultivares requiere buen rendimiento y estabilidad en los distintos ambientes, por lo que es necesario conocer la interacción genotipo-ambiente (IGA). En este trabajo se analiza la IGA, estabilidad y adaptabilidad del rendimiento en grano de líneas experimentales y cultivares empleando los métodos de ecovalencia, índice P_i , regresión, AMMI y SREG. Se utilizaron 33 triticales y 11 tricepiros que se evaluaron durante 2009-2012 en Río Cuarto, Córdoba, y Santa Rosa, La Pampa, Argentina, mediante diseño en bloques completos al azar. El rendimiento de grano (kg ha^{-1}) se analizó empleando una muestra de 1 m^2 por parcela. El rendimiento promedio de los ensayos fue $2.628 \pm 357 \text{ kg ha}^{-1}$; las diferencias para el efecto principal de genotipos ($F = 5,64$), ambientes ($F = 401,5$) y para la interacción GA ($F = 1,66$) fueron altamente significativas ($p < 0,01$). La aplicación de los distintos métodos para estimar la interacción genotipo-ambiente, estabilidad y adaptabilidad de los genotipos en prueba, reveló que ninguno es ampliamente satisfactorio por sí mismo. El método de la ecovalencia tuvo pobre resolución y los restantes presentaron algunas coincidencias. La combinación de la regresión con el G + GE biplot de la regresión por sitio fue la mejor para el análisis propuesto. Los resultados permitieron identificar líneas experimentales factibles de registrar como cultivares.

Palabras clave: tritíceas híbridas, ensayos multiambientales, regresión, AMMI, SREG.

ABSTRACT

Triticales and tricepiros are good alternatives to fresh forage and grain in livestock meat and dairy systems in Argentina. The development of new cultivars requires good performance and stability in different environments, so it is necessary to know the genotype-environment interaction. In this paper, the genotype x environment interaction, stability and adaptability of experimental strains and cultivars for grain yield were analyzed by means of ecovalence, index P_i , regression, and AMMI and SREG methods. During 2009-2012, thirty-two strains of triticale and eleven of tricepiro were evaluated in Río Cuarto, Cordoba Province, and Santa Rosa, La Pampa Province, Argentina. A randomized

complete block design, and a sample of 1 m² per plot to analyze grain yield (kg ha⁻¹) was used. The average yield of the trials was 2,628 ± 357 kg ha⁻¹. Highly significant ($p < 0.01$) differences were found for the main effects: genotype ($F = 5.64$), environments ($F = 401.5$) and the genotype-environment interaction ($F = 1.66$). None of the methods to estimate the genotype-environment interaction, stability and adaptability of the tested genotypes was entirely satisfactory by itself. The ecovalence method presented poor resolution, while the remaining methods showed some coincidences. The combination of the regression with the site regression GGE biplot was the best method to study the genotype x environment interaction and identify stable genotype and high grain yield. The results allowed identifying experimental strains to release as cultivars.

Key words: hybrid triticeas, multi-environment trials, regression, AMMI, SREG.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de nuevo germoplasma adaptado a las características edáficas y atmosféricas de amplios ambientes se realiza a través de ensayos comparativos de rendimiento multi ambientales. La finalidad de los mismos es identificar los genotipos mejor adaptados en cada ambiente dado que la interacción genotipo x ambiente (IGA) normalmente altera el orden de mérito de los materiales causando dificultades en la selección (Flores et al., 1998).

Por otro lado, la diversificación de cultivos en un agrosistema contribuye a asegurar la producción y el balance de los componentes del mismo. Esto es particularmente válido en áreas con características atmosféricas y edáficas subóptimas, como la región pampeana subhúmeda seca-semiárida de la Argentina. Triticales y tricepiros son alternativas para la diversificación, aportando forraje fresco y grano en los sistemas ganaderos durante la época invernal, de escasas precipitaciones y heladas intensas (Grassi et al., 2011).

El triticale (*x Triticosecale* Wittmack) es producto de la hibridación *Triticum* L. *x Secale* L. en sentido amplio, obtenido con la finalidad de reunir la calidad del trigo con la rusticidad del centeno. Los $2n=6x=42$ provenientes de *T. turgidum* L. *x S. cereale* L. (AABBRR) han recibido el mayor trabajo de mejoramiento debido a sus aptitudes agronómicas, muy buenos rendimientos de forraje y grano, excelentes cualidades nutricionales y amplia adaptabilidad a ambientes geográficos diversos (Mergoum et al., 2004; Dogan et al., 2011).

Tricepiro es el nombre vulgar de las combinaciones trigenéricas obtenidas a través de cruza-mientos entre triticales y trigopiros (*Triticum* L. *x Thinopyrum* Á. Löve), en las que se busca combinar la calidad del trigo con la rusticidad del centeno y *Thinopyrum*. La formación más común es por cruza entre triticales $6x$ (AABBRR) y trigopiros $8x$ (AABBDDJJ), que se estabilizan en el nivel $6x$, con introgresión de *Thinopyrum* y retención del genoma R (Ferrari et al., 2005; Ferreira et al., 2007; Fradkin et al., 2009).

El triticale es un cultivo que se adapta a gran diversidad de ambientes y presenta variabilidad para desarrollar cultivares destinados a diferentes regiones (Arseniuk, 2013). Tiene múltiples usos potenciales y puede emplearse en la alimentación humana y animal (Peña, 2004; Myer y Lozano del Río, 2004). El uso principal en la mayor parte del mundo es como grano forrajero en la alimentación animal. En la Argentina se emplea para consumo fresco, henificado y como grano forrajero. Los tricepiros tienen similar destino.

Numerosos autores han demostrado la utilidad del grano de triticale en la alimentación de aves, cerdos y ruminantes (van Barneveld y Cooper, 2002; Myer y Lozano del Río, 2004, entre otros). Por otro lado, puede convertirse en un grano importante para la alimentación humana debido a su alto valor nutricional y utilidad en la fabricación de alimentos que requieran harinas no leudantes (Mergoum et al., 1998; 2004; Oliete et al., 2010). No hay antecedentes respecto a este punto con relación al tricepiro.

El Catálogo Nacional de Cultivares (www.inase.gov.ar, 21/09/2014) contiene 26 cultivares de triticale y uno de tricepiro; prácticamente todos han sido seleccionados con objetivo de doble propósito. La zona de uso actual de estas tritíceas híbridas se encuentra en el Oeste de la provincia de Buenos Aires, Este de La Pampa, Sur de Córdoba y Este de San Luis, región delimitada por las isohietas de 850 mm al este y de 400 mm hacia el oeste y meteorológicamente muy inestable.

La producción de grano de los triticales ha sido analizada en varios ensayos efectuados sin mejoras tecnológicas, obteniéndose valores muy disímiles de acuerdo a las líneas probadas, lugar, fecha de siembra, densidad y año de ensayo, con variaciones desde menos de 1.000 hasta 3.000 kg ha⁻¹ (Grassi et al., 2001; Paccapelo et al., 2004; Castro et al., 2011; 2012). La aplicación de mejoras tecnológicas simples también permitió constatar respuestas diversas e interacciones GA. Respecto a la fertilización nitrogenada, se han obtenido rendimientos de 2.120 kg ha⁻¹ (Grassi et al., 2001), en tanto que con suplementación hídrica invernal

se han logrado valores medios de 3.000 kg ha⁻¹, con picos de 3.900 kg ha⁻¹ e incrementos promedio de alrededor de 550 kg ha⁻¹ (Grassi et al., 2003; 2004).

Las líneas de tricepiro en desarrollo también presentaron gran variación del rendimiento en grano forrajero según el año, sitio y fecha de siembra e interacción GA. Así, en líneas derivadas de la misma cruz, Tosso et al. (1997) mencionan rendimientos promedio de 780 kg ha⁻¹; Grassi et al. (2011) comunican 1.720 kg ha⁻¹ promedio de dos años e interacción GA; y Castro et al. (2012) informan un valor medio para tres años de 1.440 kg ha⁻¹. La mejora de líneas parece reflejarse en ensayos con nuevos materiales que marcan rendimientos entre 1.800 y 3.300 kg ha⁻¹ (Ferreira et al., 2012).

La expansión de estos cultivos no tradicionales requiere la identificación de líneas o cultivares rendidores y estables a través de una serie de ambientes; para ello se necesita caracterizar el germoplasma en mejora respecto a la interacción genotipo-ambiente (IGA), comúnmente conocida como la respuesta diferencial de los genotipos frente a condiciones ambientales diversas, la estabilidad y adaptabilidad.

El objetivo de este trabajo fue analizar la IGA, adaptabilidad y estabilidad en el rendimiento de grano mediante diferentes métodos univariados y multivariados y, a partir de ello, contribuir a la toma de decisiones respecto a la conveniencia de registrar alguna línea como futuro cultivar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 33 líneas de triticale y 11 líneas de tricepiro. Los triticales incluyeron 23 líneas de origen CIMMYT: 9 reseleccionadas en Río Cuarto, 4 facultativos de invierno (origen FWTCCL) y 10 provenientes del vivero internacional de rendimiento (ITYN), más 4 líneas experimentales UNRC, 5 cvs. nacionales registrados y uno introducido. Las 11 líneas de tricepiro son de origen nacional: 6 obtenidas en la Universidad Nacional (UN) Río Cuarto, 4 en la UN La Pampa y un cv. del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Los genotipos empleados fueron seleccionados contemplando fines forrajeros de pasto y grano, aún aquellos ITYN-CIMMYT originados en ese centro internacional con objetivo granífero. Todos los triticales han sido seleccionados en Río Cuarto (Córdoba), en tanto que los tricepiros LP fueron seleccionados en Santa Rosa (La Pampa), el cv. Don René en Anguil (La Pampa) y los restantes en Río Cuarto.

Los 44 genotipos se evaluaron durante 2009-2012 en Río Cuarto, Córdoba (33°04' S, 64°38' W), y Santa Rosa, La Pampa (36°37' S, 64°17' W), lo

cual generó ocho ambientes año x localidad. Río Cuarto se ubica en la pampa subhúmeda seca mientras que Santa Rosa se sitúa al sur, en la pampa semiárida, a 415 km de distancia. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con tres repeticiones en cada sitio y año de prueba.

La siembra se realizó con máquina de precisión (Forti, modelo 1980, fabricada en Pueblo Alfonzo, Provincia de B. Aires, Argentina), a razón de 250 semillas viables por m² durante la primera quincena de junio. La unidad experimental consistió de 7 surcos de 5,50 m de largo y separados por 20 cm (7,70 m²), de los cuales se cosecharon los 5 m² centrales. Se aplicó riego a la siembra cuando fue necesario para la implantación del cultivo, se realizó desmalezado manual y no fue necesario control de enfermedades. El rendimiento de grano (kg ha⁻¹) se analizó empleando una muestra de 1 m² por parcela.

Análisis de la IGA

Los efectos principales genotipo (G), ambiente (A) y la interacción genotipo x ambiente (IGA) del rendimiento se estudiaron mediante ANOVA y prueba de diferencias mínimas significativas al 5%. La adaptabilidad y estabilidad de los genotipos en los distintos ambientes se estimó a partir de métodos paramétricos univariados (ecovalencia, índice de superioridad y regresión), y no paramétricos multivariados (Efectos Principales Aditivos e Interacción Multiplicativa (AMMI) y regresión por sitio (SREG)).

a) Ecovalencia W_i (Wricke, 1962; Flores et al., 1998).

El término ecovalencia (W_i) refiere a la contribución de cada genotipo a la suma de cuadrados de la IGA en todos los ambientes. Los genotipos con valores de W_i más cercanos a 0 tienen escasa contribución a la suma de cuadrados de la IGA y por lo tanto son los de mayor estabilidad agronómica.

b) Índice de superioridad P_i (Lin y Binns, 1988; Flores et al., 1998).

El índice P_i se define como el cuadrado medio de la distancia entre la respuesta de un genotipo y el genotipo de máxima respuesta en un ambiente dado. El testigo a considerar en un ambiente dado es el genotipo de máximo rendimiento. El índice representa entonces el cuadrado medio del efecto conjunto G y GA. Así, cuanto menor sea la distancia, menor será la contribución de un genotipo determinado a la suma de cuadrados de la IGA. El valor más pequeño de P_i identifica al mejor genotipo y, dado que se mide teniendo en cuenta todos los ambientes, representa superioridad en términos de adaptabilidad general.

c) **Regresión** (Findlay y Wilkinson, 1963; Eberhart y Russell, 1966; Flores et al., 1998).

El método considera simultáneamente el coeficiente de regresión lineal b_i , que describe el efecto del genotipo (Findlay y Wilkinson, 1963), y los desvíos de la regresión S^2d_i que, al considerar los efectos no lineales del ambiente, incluye la

contribución de ese genotipo a la IGA (Eberhart y Russell, 1966). Idealmente se considera estable a un genotipo cuando presenta $b_i = 1$ y $S^2d_i = 0$, pero pueden darse diferentes situaciones respecto a la adaptabilidad y estabilidad según los valores de b_i y la significación de los desvíos, que se describen en Tabla 1.

Tabla 1. Adaptación y estabilidad de genotipos según coeficiente de regresión lineal b_i y los desvíos de la regresión S^2d_i .

Table 1. Genotypes adaptation and stability in accordance to lineal regression coefficients b_i and regression deviation S^2d_i .

b_i	S^2d_i	Adaptación	Estabilidad
≥ 1	ns	Ambiente de alta calidad	Estables
≥ 1	**	Ambiente de alta calidad	Inestables
$= 0$	ns	General a todos los ambientes	Estables
$= 0$	**	General a todos los ambientes	Inestables
≤ 1	ns	Ambientes pobres	Estables
≤ 1	**	Ambientes pobres	Inestables

d) **AMMI (Efectos Principales Aditivos e Interacción Multiplicativa)** (Gauch y Zobel, 1996).

Los modelos AMMI se basan en análisis combinados de ANOVA y análisis de componentes principales (ACP). Mediante el primero se estudian los efectos principales de genotipos (G) y ambientes (A), en tanto que la IGA se analiza de forma multivariada a través de la representación simultánea de genotipos y ambientes en un gráfico bidimensional o biplot (Gauch y Zobel, 1996; Gauch, 2006).

El análisis AMMI incluye efectos no lineales y revela un componente de interacción altamente significativo que tiene un claro sentido agronómico y no tiene requisitos de diseño experimentales específicos, a excepción de una estructura de datos de dos vías (Zobel et al., 1988). Los genotipos o ambientes que tienen valores cercanos a 0 se identifican como de escaso aporte a la IGA, en tanto que aquellos con coordenadas altas, positivas o negativas hacen un aporte mayor (Gauch y Zobel, 1996; Gauch, 2006).

La IGA es positiva cuando los vectores ambiente y genotipo presentan la misma dirección, es decir el ambiente favorece la expresión de ese genotipo; por el contrario, si los vectores ambiente y genotipo tienen direcciones opuestas la interacción es negativa e indica ambientes desfavorables para esos genotipos.

e) **SREG** (Cornelius et al., 1996; Gauch y Zobel, 1997).

El método SREG (regresión por sitio) adiciona los efectos lineales de los genotipos al término

multiplicativo de la IGA, expresa la respuesta en función de $G+GA$ y se interpreta a través de gráficos biplots basados en el ACP. Los valores del primer componente principal (CP1) en las abscisas representan el carácter en estudio y los del segundo componente principal (CP2) en las ordenadas representan la IGA.

Las representaciones gráficas conectan con líneas rectas las marcas de los genotipos más alejados del origen (0,0), que son los de mejor comportamiento en cada localidad y los más sensibles a las variaciones ambientales, formando un polígono tal que las marcas de los otros cultivares quedan dentro del mismo (Yan et al., 2000; Yan, 2001).

El genotipo ideal resulta aquel con alta puntuación en el CP1, asociado a alto rendimiento, y puntuación cercana a 0 en el CP2 que revela buena estabilidad a través de los diferentes ambientes o sea que los genotipos ubicados en o muy cerca del origen se califican como estables o no respondedores a los cambios ambientales (Yan y Kang, 2003).

Los datos se procesaron con el software estadístico Info-Gen (Balzarini et al., 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El rendimiento promedio de los ensayos fue $2.628 \pm 357 \text{ kg ha}^{-1}$, el de los triticales $2.731 \pm 318 \text{ kg ha}^{-1}$ y el de los tricepiros $2.322 \pm 297 \text{ kg ha}^{-1}$ (Tabla 2). El rendimiento de los triticales fue significativamente mayor que el de los tricepiros ($t = 3,75^{***}$; $p < 0,0005$). Las diferencias para los efectos principales de genotipos ($F = 5,64$),

Tabla 2. Rendimiento de grano (kg ha⁻¹) de triticales y tricepiros en Río Cuarto y Santa Rosa, Argentina, durante 2009-2012. Parámetros de adaptabilidad y estabilidad de acuerdo a las metodologías de Wricke (*Wi*), Lin y Binns (*Pi* y *CM* (GE)) y Eberhart y Russell (*bi* y *S²d_i*).

Table 2. Grain yield (kg ha⁻¹) of triticales and tricepiros in Río Cuarto and Santa Rosa, Argentina, during 2009-2012. Adaptability and stability parameters according to methodologies of Wricke (*Wi*), Lin and Binns (*Pi* and *CM* (GE)) and Eberhart and Russell (*bi* and *S²d_i*).

	Genotipo	Género	Rdto. kg ha ⁻¹	Wricke <i>Wi</i>	Lin y Binns		Eberhart y Russell			
					<i>Pi</i> / 10000	<i>CM</i> (GA) /10000	<i>bi</i>	<i>S²d_i</i>		
3	C94/528	TC	3.243	18,4	46,4	20,4	1,25	**	0,17	ns
2	C94/510	TC	3.153	18,9	37,2	4,3	1,26	**	0,18	ns
4	C95/140	TC	3.147	11,7	41,2	7,7	1,19	ns	0,11	**
9	C95/88	TC	3.085	22,3	56,9	18,3	1,14	ns	0,32	ns
1	C94/404	TC	3.068	57,5	59,8	19,6	1,18	ns	0,88	**
27	LF98 x Horovitz /5	TCP	3.057	24,2	52,4	11,3	1,30	**	0,21	ns
41	CIM 05 ITYN/832	TC	2.974	15,3	80,5	31,6	1,04	ns	0,25	ns
32	CIM 03FWTCL/64	TC	2.952	20,2	79,8	26,7	1,11	ns	0,31	ns
36	CIM 03 ITYN/12	TC	2.945	31,4	92,3	40,4	1,19	**	0,45	**
7	C95/46	TC	2.923	17,1	64,2	10,0	1,17	ns	0,22	ns
37	CIM 05 ITYN/809	TC	2.920	18,7	76,6	22,1	1,08	ns	0,30	ns
44	CIM 05 ITYN/835	TC	2.911	18,8	83,1	22,7	1,20	**	0,23	ns
6	C95/28	TC	2.903	12,8	68,2	11,9	1,12	ns	0,19	ns
38	CIM 05 ITYN/810	TC	2.896	9,3	72,1	15,1	1,21	**	0,06	**
42	CIM 05 ITYN/830	TC	2.866	17,5	84,0	23,8	0,95	ns	0,29	ns
39	CIM 05 ITYN/826	TC	2.841	11,4	81,1	18,1	1,04	ns	0,19	ns
8	C95/68	TC	2.839	13,4	73,0	9,7	1,07	ns	0,21	ns
40	CIM 05 ITYN/829	TC	2.811	37,2	103,9*	37,4	1,04	ns	0,61	**
34	CIM 03 FWTCL/77	TC	2.793	27,5	107,5*	39,0	0,94	ns	0,44	**
43	CIM 05 ITYN/834	TC	2.749	16,4	79,7	5,9	1,18	ns	0,21	ns
15	Eronga	TC	2.724	23,0	96,2	19,3	0,91	ns	0,36	ns
16	Don Santiago INTA	TC	2.718	17,0	88,8	11,2	1,14	ns	0,24	ns
5	C95/8	TC	2.709	17,1	88,2	9,5	1,13	ns	0,24	ns
26	LF53 x Horovitz /6	TCP	2.631	9,2	105,7*	16,9	1,09	ns	0,13	ns
35	CIM 03 ITYN/8	TC	2.616	16,2	132,6*	41,9	0,77	**	0,16	ns
12	Genú UNRC	TC	2.600	16,9	113,0*	19,9	0,90	ns	0,23	ns
33	CIM 03 FWTCL/75	TC	2.600	18,5	127,3*	34,3	0,96	ns	0,30	ns
11	Quiñé RA	TC	2.497	5,4	122,9*	15,3	0,89	ns	0,10	**
19	LF 65 X Horovitz/4	TCP	2.413	12,7	146,6*	26,4	0,96	ns	0,21	ns
28	LF 53x LF37/12	TC	2.371	39,4	182,0*	55,2	0,77	**	0,54	**
22	TCP LP 117	TCP	2.355	4,9	147,4*	18,0	0,97	ns	0,08	**
10	Genú HA	TC	2.329	16,0	171,2*	37,5	0,72	**	0,11	**
14	Yagán INTA	TC	2.325	14,5	163,7*	29,3	0,92	ns	0,22	ns
29	(T60xTeh.)xLF65/6	TC	2.302	18,6	180,1*	42,1	0,97	ns	0,30	ns
13	Tizné UNRC	TC	2.253	24,9	185,0*	38,5	0,80	**	0,33	ns
25	TCP 3/40-50 UNRC	TCP	2.251	15,5	176,0*	29,2	0,94	ns	0,25	ns
17	Don René INTA	TCP	2.229	24,1	181,4*	30,9	0,89	ns	0,40	ns
18	LF 65 X Horovitz/2	TCP	2.228	25,7	195,1*	44,3	0,79	**	0,33	ns
31	CIM 03 FWTCL/61	TC	2.154	20,3	213,4*	49,6	0,79	**	0,25	ns
23	TCP LP 115	TCP	2.127	24,9	206,3*	37,7	0,78	**	0,31	ns
24	TCP LP 116	TCP	2.109	23,3	212,9*	40,8	0,68	**	0,19	ns
20	Lasko x Horovitz/11	TCP	2.099	12,9	200,7*	26,8	0,77	**	0,11	**
21	TCP LP 114	TCP	2.040	15,3	213,1*	27,9	0,80	**	0,17	ns
30	LF 97 x T 312/11	TC	1.888	25,3	269,4*	54,0	0,81	ns	0,34	ns

TC = triticales; TCP = tricepiro. Puntos de corte: para *Pi* = 100,9; para *CM*(GE) = 104,5.

*, ** niveles de probabilidad significativos al 5 y 1%, respectivamente.

ambientes ($F = 401,5$) y la interacción GA ($F = 1,66$) fueron altamente significativas ($p < 0,01$). La desagregación de las líneas de triticale demuestra que las provenientes del vivero CIMMYT-ITYN (genotipos 35 a 44) tuvieron rendimiento promedio $2.853 \pm 106 \text{ kg ha}^{-1}$, mientras que aquellas seleccionados con el doble propósito de pasto y grano forrajero (genotipos numerados de 1 a 16 y 28 a 34) rindieron $2.677 \pm 364 \text{ kg ha}^{-1}$ promedio; la diferencia resultó significativa ($t = 2,12^*$; $p < 0,04$).

Análisis según ecovalencia (W_i)

Los valores W_i de ecovalencia variaron entre 4,9 y 57,5 (Tabla 2). Efectuando un corte arbitrario al 10%, el orden de los genotipos de mayor adaptabilidad y rendimiento superior a la media resultó: tricepiro 26 (LF53 x Horovitz/6) = 9,2 y triticales 38 (ITYN/810) = 9,3; 39 (ITYN/826) = 11,4; 4 (C95/140) = 11,7 y 6 (C95/28) = 12,8. El ordenamiento de mayor a menor por rendimiento kg ha^{-1} fue: 4 (3.147) > 6 > 38 > 39 > 26 (2.631), valor este apenas superior al promedio general.

El método de la ecovalencia es el más simple para estimar estabilidad. Los W_i cercanos a 0 indican genotipos estables dado presentan escasa contribución a la suma de cuadrados de la IGA. Sin embargo, esta estimación de la estabilidad resulta independiente del valor del genotipo 'per se' dado que identifica como estables tanto a genotipos de alto como de bajo rendimiento. Esto último se constata con los genotipos 22 y 11, que fueron los de menor W_i pero de rendimiento inferior al promedio.

Análisis por índice de superioridad P_i

La metodología emplea un único parámetro que asocia mayor productividad con mayor adaptabilidad. El ordenamiento de acuerdo al índice de superioridad P_i se presenta en la Tabla 2. Los puntos de corte al 5% (CMError x F) resultaron 100,9 para P_i y 104,5 para el CM(GA).

Los genotipos de menor contribución al CM(GA) para rendimiento en grano y por lo tanto los más estables fueron los triticales 2 (C94/510), 43 (ITYN/834), 4 (C95/140), 5 (C95/8) y 8 (C95/68), superando todos ellos la media general del rendimiento. Dentro de los tricepiros, sólo el genotipo 27 (LF98 x Horovitz/5) mostró buen rendimiento y estabilidad. Los genotipos 40 (ITYN/829), 34 (FWTCL/77) y 26 (LF53 x Horovitz/6), aunque de rendimiento superior al promedio, resultan inestables por tener P_i superiores al punto de corte, debido a que han presentado coincidencias con el valor máximo en algún ambiente y acentuadas diferencias con el mismo en otro.

El ordenamiento de los genotipos reveló que

21 de ellos tuvieron rendimiento superior a la media general y se ubicaron por encima del punto de corte del P_i , por lo que se consideran de buena adaptabilidad en todos los ambientes; dentro de ellos 20 son triticales y sólo uno tricepiro correspondiente a una línea derivada del cruce LF98 x Horovitz.

Por otro lado, ningún genotipo quedó por debajo del punto de corte de la interacción, por lo cual el estadístico P_i resultó poco eficaz para calificar los materiales. Al respecto, Flores et al. (1998) comparando 22 métodos uni y multivariados para analizar la IGA en ensayos multi ambientales de haba (*Vicia faba* L.) y arveja (*Pisum sativum* L.), concluyen que el índice P_i estuvo más relacionado con el rendimiento que con la estabilidad.

Análisis mediante la regresión

Los valores de los coeficientes de regresión y sus desvíos se resumen en la Tabla 2. El método conjuga el empleo del coeficiente de regresión lineal b_i , que estima adaptabilidad, con los desvíos S^2d , de la regresión, indicadores de estabilidad. Por ello resulta agrónomicamente muy útil y es el método más empleado en diferentes cultivos y ambientes durante las últimas décadas (Flores et al., 1998).

El rango de valores de b_i resultó amplio (0,68 - 1,30), con diferencias estadísticas altamente significativas ($p \leq 0,01$) para 16 de los 44 genotipos analizados, lo que indica que la respuesta de esos genotipos a los cambios ambientales no se ajusta al modelo de regresión lineal. Por otro lado, los genotipos se pueden agrupar en seis situaciones de acuerdo a los valores y significación de b_i y el desvío estándar; la interpretación de estos resultados se presenta en la Tabla 3.

El índice ambiental empleado en la regresión de Eberhart y Russel toma en cuenta el rendimiento promedio de todas las líneas en un ambiente dado. Las líneas experimentales de triticale 3 (C94/528) y 2 (C94/510) seleccionadas para doble propósito, fueron las de mayor rendimiento promedio, con valores superiores a los 3.150 kg ha^{-1} y resultaron estables, de buena adaptabilidad y recomendables para ambientes de alta calidad agronómica.

La línea 27 derivada de la cruce (LF98 x Horovitz) efectuada en Río Cuarto también presentó alto rendimiento (superior a los 3.000 kg ha^{-1}) y fue el único tricepiro doble propósito estable y sensible a ambientes de alta calidad, aptitudes compartidas con la introducción 44 proveniente del vivero de rendimiento ITYN del CIMMYT seleccionada en Río Cuarto para producción de pasto y grano.

El 50% de las líneas se ubicaron en el grupo

Tabla 3. Adaptabilidad y estabilidad de los triticales y tricepiros probados en Río Cuarto (Córdoba) y Santa Rosa (La Pampa), Argentina, durante 2009-2011 según modelo de Eberhart y Russell.
Table 3. Adaptability and stability of triticale and tricepiro tested in Río Cuarto (Cordoba Province) and Santa Rosa (La Pampa Province), Argentina, during 2009-2011 according to Eberhart and Russell model.

Genotipos	bi	S ² d _i	Adaptación y estabilidad
2, 3, 27, 44	> 1	ns	Adaptables a ambientes de alta calidad. Estables.
36, 38	> 1	**	Adaptables a ambientes de alta calidad. Inestables.
5, 6, 7, 8, 9, 12, 14, 15, 16, 17, 19, 25, 26, 29, 30, 32, 33, 37, 39, 41, 42, 43	= 0	ns	Adaptación general a todos los ambientes. Estables.
1, 4, 11, 22, 34, 40	= 0	**	Adaptación general a todos los ambientes. Inestables.
13, 18, 21, 23, 24, 31, 35	< 1	ns	Adaptables a ambientes pobres. Estables.
10, 20, 28	< 1	**	Adaptables a ambientes pobres. Inestables.

bi y S²d_i: coeficiente de regresión lineal y desvíos de la regresión.

** y ns = significativamente y no significativamente ≠ de 0.

con bi estadísticamente similar a 0 y desvío no significativo, conformando un grupo con aceptable adaptabilidad y estabilidad en los ambientes empleados. Este conjunto se divide en dos grupos, ambos heterogéneos respecto al origen de los materiales, claramente diferenciables de acuerdo al rendimiento. El grupo de rendimiento superior al promedio comprendió 14 genotipos, once triticales introducidos y reseleccionados en Río Cuarto, un tricepiro propio derivado de la cruza LF53 x Horovitz y dos cultivares, destacándose las líneas de triticale 9 (C95/88), 41 (ITYN/832), 32 (FWTCL/64), 7 (C95/46), 37 (ITYN/809) y 6 (C95/28), con rindes promedio superiores a 2.900 kg ha⁻¹. Los 8 genotipos restantes conformaron un grupo de buena estabilidad pero de rendimiento inferior al promedio.

El método, muy empleado debido a su sencilla interpretación tiene varias objeciones estadísticas. Entre ellas se señala que los índices ambientales no son independientes de los genotipos probados dado que se obtienen a partir de los propios datos. Esto implica una dependencia entre el índice ambiental y la productividad media de cada genotipo cuya estabilidad se quiere determinar; de este modo, no respeta el principio de independencia de las variables. Además, pueden ocurrir errores al estimar la media ambiental y falta de homogeneidad de la variancia del error entre ambientes (Becker y León, 1988).

Flores et al. (1998), a partir de los ensayos en haba y arveja, incluyen este método en el grupo que sólo hace énfasis en la estabilidad pero aclaran que ignoraron la pendiente de la regresión debido a que la heterogeneidad de los valores de bi resultó no significativa, por lo cual sólo emplearon los desvíos S²d_i.

Análisis AMMI₂

El modelo AMMI₂ aplicado a los rendimientos de grano generó el biplot de la Fig. 1. El primer componente representó el 31,9% y el CP2 el 26,6% totalizando un 58,5% de la variación debida a interacción GA. Los ambientes de mayor peso en el CP1 fueron SR 2010 y RC 2010 en sentido positivo, y RC 2011 y SR 2012 en sentido negativo. Los ambientes de mayor peso en el CP2 fueron RC 2011 y RC 2009 con un comportamiento positivo y negativo, respectivamente.

Las líneas de triticale doble propósito origen FWTCL 32, 33 y 34, y las ITYN 36, 37, 38, 39, 40 y 44, originalmente graníferas, se asociaron positivamente con el ambiente SR 2010. La línea de triticale 1 (C 94/404), seleccionada para doble propósito, se asoció a RC 2011. Por su parte, el triticale granífero 43 (ITYN/834), las líneas de triticales doble propósito 2, 4, 5, 6 y 7 (selectas Río Cuarto) y el tricepiro 27 (origen La Pampa) mostraron interacción positiva con el ambiente RC 2010. Los cvs. de triticale Tizné-UNRC y Yagán-INTA (13 y 14), la línea 28 de triticale experimental (selecta Río Cuarto) y los tricepiros 18 (origen Río Cuarto), 23 y 24 (origen La Pampa) se asociaron positivamente al ambiente SR 2012.

Los genotipos más cercanos al origen y por lo tanto los que resultaron más estables, fueron las líneas experimentales de triticale 11 (reselección doble propósito de Quiñé-UNRC) y 42 (granífero ITYN/830), y los tricepiros seleccionados para doble propósito 19, 26 (origen Río Cuarto) y 22 (origen La Pampa), cada uno con diferente genealogía.

El modelo AMMI tiene la ventaja de la ausencia de correlaciones entre los componentes principales y permite observar las diferencias entre ambientes, el grado de interacción de los genotipos

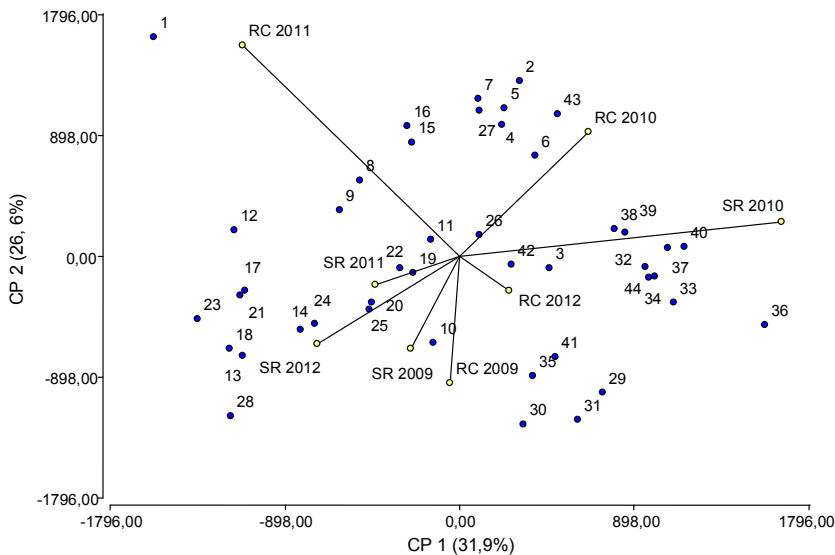


Fig. 1. Rendimiento de grano. Biplot AMMI₂ de 44 genotipos de triticales y tricepiros probados durante 2009-2012 en las localidades Río Cuarto (Córdoba) y Santa Rosa (La Pampa), Argentina.
Fig. 1. Biplot AMMI₂ for grain yield of 44 genotypes of triticales and tricepiros tested during 2009-2012 in two locations: Río Cuarto (Cordoba Province) and Santa Rosa (La Pampa province), Argentina.

con el ambiente, la estabilidad y las adaptaciones específicas de algunos genotipos a determinados ambientes (Gauch y Zobel, 1996; Gauch, 2006). El agrupamiento de métodos realizado por Flores et al. (1998) incluye al AMMI en el grupo de métodos que comprenden al rendimiento y la estabilidad en forma simultánea para reducir el efecto de la IGA.

Modelo SREG (G+GA biplot)

El modelo SREG aplicado a los valores del rendimiento de grano generó el biplot de la Fig. 2. El primer componente principal representó el 48,2% de la varianza total mientras que el CP2 representó el 19,9%. En total, ambos explicaron el 68,1% de la variabilidad total, valor éste 10% superior al reunido en el análisis AMMI.

Se formaron cinco mega ambientes. El ubicado hacia la derecha comprende los ambientes RC 2010 y RC 2012 donde se destacan los triticales 2 (C94/510), 3 (C94/528) y 4 (C95/140). Respecto a las líneas experimentales de tricepiro sólo la 27 (LF98 x Horovitz /5) presentó un rendimiento destacado.

El mega ambiente que incluye a RC 2011, SR 2011 y SR 2012, destacó como superior al genotipo 1 (C94/404) mientras que el genotipo de mayor rendimiento en el mega ambiente que comprendió a RC 2009, SR 2009 y SR 2010 fue el triticale 36 (ITYN/12).

Respecto a la estabilidad de los rendimientos se

destaca el triticale forrajero 6 (C95/28), los triticales graníferos 43 (ITYN/834) y 42 (ITYN/830) y el tricepiro 26 (LF 53 x Horovitz/6), por tener valores más cercanos a 0 en el componente CP2.

El modelo SREG resulta muy útil cuando se conducen ensayos en una amplia región porque permite disminuir los ambientes de evaluación al dividirlos en subregiones relativamente homogéneas. La utilización del modelo SREG resulta aconsejable cuando los ambientes constituyen la fuente de variación más importante en relación a la contribución de los genotipos y la IGA sobre la variabilidad total, situaciones comunes en la práctica de ensayos multi ambientales de prueba de cultivares y líneas de programas de mejoramiento (Balzarini et al., 2005).

Los gráficos bidimensionales G+GE resultan en una herramienta visual muy útil para genetistas, agrónomos y mejoradores (Yan y Kang, 2003) porque permiten determinar qué genotipo tiene el mejor comportamiento en un ambiente específico y a su vez identificar el ambiente más adecuado para determinado genotipo cuando existe una gran diversidad ambiental. Es probable que el número de localidades y años aquí considerados resulte insuficiente para la expresión plena del potencial de esta herramienta de análisis.

La elección de genotipos de alto rendimiento y estables es uno de los mayores problemas en el mejoramiento genético ya que deben considerarse simultáneamente los efectos G y GA (Yan y Kang,

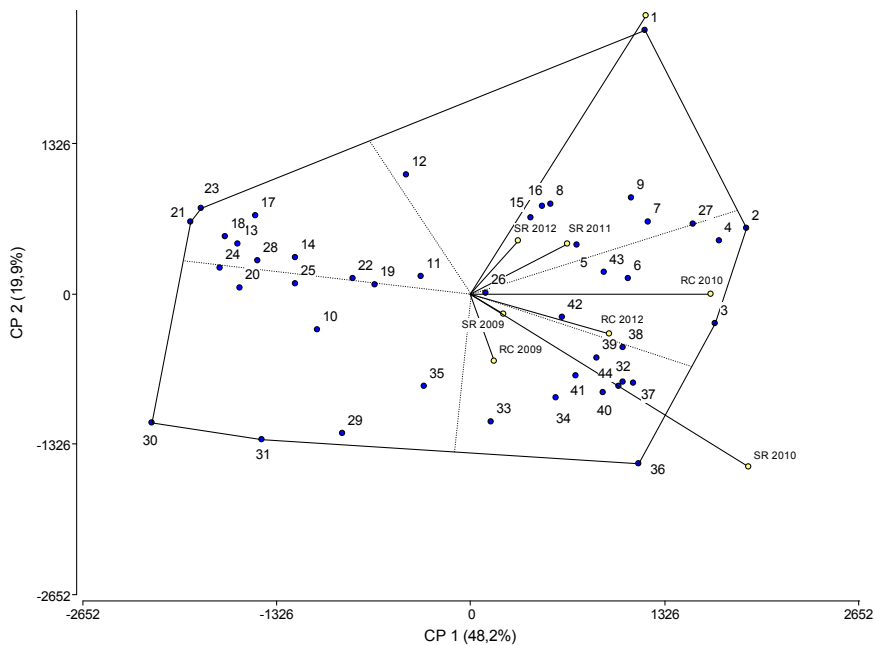


Fig. 2. GGE biplot para la identificación de los mejores genotipos de triticales y tricepiros respecto al rendimiento de grano, en ensayos realizados durante 2009-2012 en las localidades Río Cuarto, Córdoba, y Santa Rosa, La Pampa, Argentina.

Fig. 2. GGE biplot to identify the best triticales and tricepiros genotypes for grain yield in tests carried out during 2009-2012 in two locations: Río Cuarto, Cordoba Province, and Santa Rosa, La Pampa Province, Argentina.

2003). Estos autores definen el genotipo “ideal” como aquel que tiene la mayor productividad general y presenta alta estabilidad en ensayos multi ambientales. Todos los métodos empleados en este análisis responden al concepto dinámico de estabilidad, preferido por agrónomos y mejoradores, el cual supone respuestas predecibles de los genotipos frente a los ambientes y no requiere que tal respuesta sea igual para todos los genotipos (Becker y León, 1988).

Los resultados para el grupo de triticales y tricepiros probados presentaron similitudes y diferencias según el método; por lo tanto, ninguno fue ampliamente satisfactorio por sí mismo para identificar las líneas más adecuadas a la región de prueba. El parámetro de ecovalencia W_i resultó de pobre resolución y solo fue coincidente con el índice P_i y SREG al calificar como estable a la línea 4 de triticale.

Los restantes presentaron varias coincidencias. El índice P_i permitió calificar como de buena estabilidad general a las líneas de triticale 1, 2, 3, 4 y 9 y el tricepiro 27, todas de rendimiento superior a 3.000 kg ha^{-1} . A su vez, las líneas 2, 3, 9 y 27 se comportaron en forma estable de acuerdo a la regresión, pero adaptables a ambientes de alta calidad las tres primeras y de adaptación general la última.

Según AMMI, las líneas que mostraron mayor estabilidad fueron 11, 19, 22, 26 y 42 pero sólo 26 y 42 tuvieron rendimientos superiores al promedio general. La línea 11, de bajo W_i , resultó inestable según P_i y la regresión, mientras que la 22, la de menor W_i tuvo P_i y desvíos de la regresión significativos y la 19 resultó de buena adaptación según W_i y regresión pero inestable de acuerdo al índice P_i .

El método SREG reveló resultados similares a los de la regresión pero incluyó además las selectas 4, 6, 42 y 43 de triticale. La línea 4, de alto rendimiento, se ubicó entre las más estables según W_i y P_i pero presentó desvío significativo de acuerdo a la regresión, mientras que la 6 se situó entre las de menor W_i pero de alto P_i , aunque no significativo. Las líneas 42 y 43 tuvieron pobre estabilidad general según W_i , altos P_i aunque no significativos y desvíos de la regresión también no significativos.

Las bondades y defectos de los diferentes métodos para analizar la IGA se han comparado y/o empleado en variados cultivos y ambientes. Numerosos autores tienden al empleo de los métodos multivariados en los últimos años y los resultados sobre su eficacia parecen depender del cultivo y las condiciones de prueba.

Namorato et al. (2009) determinaron que los

métodos multivariados AMMI y SREG resultan más eficientes que la regresión univariada de Eberhard y Russell en genotipos precoces de maíz (*Zea mays* L.), dado que explican alrededor del 50% de la suma de cuadrados de la IGA frente a 9-16% de la regresión según el año.

El análisis del rendimiento en ensayos de soja [*Glicine max* (L.) Merr.] mediante AMMI reveló un gran componente de la IGA de claro significado agronómico (Zobel et al., 1988). Coincidentemente, Gauch (2006) compara AMMI, GGE y ACP, concluyendo que AMMI es decididamente superior para visualizar los resultados desde el punto de vista agronómico, mientras que Rueda Puente et al. (2011) determinan que AMMI fue muy bueno para identificar variedades de alto rendimiento en trigo (*Triticum aestivum* L.) pero verifican que no todos los caracteres pueden analizarse con ese modelo.

El empleo del modelo SREG y su representación gráfica G+GA biplot también se ha empleado con frecuencia. Así, Yan et al. (2000) en trigo concluyen que el método permitió identificar claramente el genotipo ganador en cada año y ambiente; Sabaghnia et al. (2008) identifican variedades de lenteja (*Lens culinaris* Medick) de alto rendimiento y amplia adaptación, encontrando que los CP1 + CP2 del modelo explican el 76% del total de la IGA, mientras que Lúquez et al. (2010) en soja y una gran diversidad de ambientes, determinan que los CP1 y 2 explicaron el 70% de la variación, resultando la IGA más importante que los genotipos para explicar las variaciones del rendimiento.

Otros autores comparan AMMI con SREG con resultados disímiles. Yan et al. (2007) y Namorato et al. (2009) verifican que el G+GA biplot es superior porque explica mayor proporción de la IGA y resulta más informativo respecto a los ambientes y el rendimiento de los cultivares que el AMMI. Mohamed (2013) en trigo caracteriza variedades de alto rendimiento y estables mediante ambos métodos, y Naroui Rad et al. (2013) analizan generaciones segregantes de trigo, encontrando que AMMI explicó 89% de la variación (CP1 + CP2) y que ambos métodos resultaron útiles para identificar genotipos tolerantes al estrés hídrico.

Los antecedentes del empleo de estos métodos de análisis de la IGA referidos a triticale son escasos e inexistentes para tricipiro. Barnett et al. (2006) emplearon la regresión para estimar estabilidad ambiental del rendimiento y peso hectolítrico de 22 triticales primaverales de origen diverso en cuatro localidades y dos años de ensayo, encontrando diferencias altamente significativas entre genotipos debido a la diversidad genética y ambiental, y concluyen que los programas de mejoramiento pueden ser exitosos en desarrollar

cultivares adaptados a un amplio rango de ambientes.

El rendimiento y otros caracteres de 27 introducciones de origen CIMMYT durante tres años en dos localidades canadienses, fue analizado por Goyal et al., (2011) empleando los métodos de la regresión y SREG. Los resultados fueron coincidentes entre la regresión de Findlay y Wilkinson y el modelo SREG al identificar una misma línea como la más estable y rendidora, mientras que por el método de Eberhart y Russel se identificó una línea diferente para los mismos atributos. Los autores recomendaron el registro de la primera línea a la autoridad competente.

Otro antecedente refiere al análisis de la estabilidad del rendimiento realizado en la región del Mármara, Turquía, por Dogan et al. (2011) durante dos años y en tres localidades, utilizando solamente la regresión. Este análisis permitió elegir líneas por su estabilidad y buena adaptabilidad a todos los ambientes.

Por otra parte, Moreno-González y Crossa (1998), buscando desarrollar modelos GEAR (genotipos, ambientes y atributos en modelos de regresión), emplearon ensayos de triticale, maíz (*Zea mays* L.) y haba (*Vicia faba* L.) para comparar los resultados con los obtenidos con diferentes modelos AMMI. Respecto a los resultados referentes a triticale concluyen que, dentro de los diferentes modelos de efectos principales aditivos y la interacción multiplicativa, el AMMI₂ como el aquí empleado, resultó el mejor predictor.

CONCLUSIONES

Respecto a los genotipos de triticale y tricipiro analizados en los ambientes Santa Rosa, provincia de La Pampa, y Río Cuarto, Provincia de Córdoba, Argentina, 2008-2012, la mejor combinación para estudiar la IGA y elegir los genotipos más rendidores y estables para el carácter rendimiento de grano resultó ser la combinación de la regresión según Eberhart y Russell con el G+GE biplot de la regresión por sitio.

El análisis conjunto realizado para los dos sitios y cuatro años permite considerar aptas para su registro las líneas experimentales de triticale 9 (C95/88) por su alto rendimiento, estabilidad y adaptación a todos los ambientes, así como los triticales 2 (C94/510) y 3 (C94/528) y el tricipiro 27 (LF98 x Horovitz/5) por alto rendimiento y potencial de respuesta en ambientes favorables.

RECONOCIMIENTO

A las Universidades Nacionales de Río Cuarto y La Pampa por la financiación de los proyectos conjuntos para realizar este estudio.

LITERATURA CITADA

- Arseniuk, E. 2013. Triticale abiotic and biotic stresses – an overview. p. 37-38. In 8th Int. Triticale Symp. June 10th-14th. Abstract Book. Associated Faculty of Applied Biological Sciences, University College Ghent, Belgium.
- Balzarini, M., C. Bruno, y A. Arroyo. 2005. Análisis de ensayos agrícolas multiambientales. Ejemplos en Info-Gen. Estadística y Biometría. 1^o ed. 141 p. Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Córdoba, Argentina.
- Barnett, R.D., A.R. Blount, P.L. Pfahler, P.L. Bruckner, D.M. Wesenberg, and J.W. Johnson. 2006. Environmental stability and heritability estimates for grains yield and test weight in triticale. *J. Appl. Genet.* 47(3):207-213.
- Becker, H.C., and J. León. 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding* 101(1):1-23.
- Castro, N., R. Domínguez, y H. Paccapelo. 2011. Análisis del rendimiento de grano y sus componentes en cereales sintéticos (tricepiros y triticales). *Rev. Facultad de Agronomía Univ. Nacional La Pampa* 22(1):22-31.
- Castro, N., H. Rufach, F. Capellino, R. Domínguez, y H. Paccapelo. 2012. Evaluación del rendimiento de forraje y grano de triticales y tricepiros. *RIA Rev. Investig. Agrop.* 37(3):281-289.
- Cornelius, P., J. Crossa, and M.S. Seyedsardr. 1996. Statistical test and estimators of multiplicative models for genotype-by-environment interaction. p.199-234. In M.S. Kang, and H.G. Gauch (eds.) *Genotype-by-environment interaction*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Dogan, R., O. Kacar, E. Goksu, and N. Azkan. 2011. Evaluation of triticale genotypes in terms of yield stability for the Southern Marmara region. *Not. Bot. Horti Agrobi* 39(2):249-253.
- Eberhart, S.A., and W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6(1):36-40.
- Ferrari, M.R., E. Greizerstein, H. Paccapelo, C. Naranjo, A. Cuadrado, N. Jouve, and L. Poggio. 2005. The genomic composition of Tricepiro, a synthetic forage crop. *Genome* 48(1):154-159.
- Ferreira, V., H. Paccapelo, A. Ferreira, E. Castillo, H. di Santo, y E. Grassi. 2012. Tricepiro: rendimiento en grano y producción de biomasa de líneas avanzadas. p. 240-241. En XV Congreso Latinoamericano de Genética. *J. Basic Applied Gen. (JBAG)* 23 (Suppl.). 28-31 de Octubre. Rosario, S. Fe, Argentina. Asociación Latinoamericana de Genética (ALAG), Sociedad Argentina de Genética, Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Ferreira, V., M. Scaldaferrero, E. Grassi, y B. Szpiniak. 2007. Nivel de ploidía, estabilidad citológica y fertilidad en cruces de triticale x trigopiro (tricepiros). *J. Basic Applied Gen. (JBAG)* 18(1):15-22.
- Finlay, K.W., and G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. *Austr. J. Agric. Res.* 14(6):742-754.
- Flores, F., M.T. Moreno, and J.I. Cubero. 1998. A comparison of univariate and multivariate methods to analyze GxE interaction. *Field Crop. Res.* 56(3):71-286.
- Fradkin, M., E. Greizerstein, H. Paccapelo, V. Ferreira, E. Grassi, L. Poggio, and M.R. Ferrari. 2009. Cytological analysis of hybrids between triticales and trigopiros. *Gen. Mol. Biol.* 32(4):797-801.
- Gauch, H.G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Sci.* 46(4):1488-1500
- Gauch, H.G., and R.W. Zobel. 1996. AMMI analysis of yield trials. In M.S. Kang, and H.G. Gauch (eds.). p. 85-122. *Genotype-by-environments interactions*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Gauch, H.G., and R.W. Zobel. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Sci.* 37(2):311-326.
- Goyal, A., B. Beres, H. Randhawa, A. Navabi, D. Salmon, and F. Eudes. 2011. Yield stability analysis of broadly adaptive triticale germplasm in southern and central Alberta, Canada, for industrial end-use suitability. *Can. J. Pl. Sci.* 91(1):125-135.
- Grassi, E., A. Odorizzi, D. Croatto, B. Szpiniak, L. Reynoso, y V. Ferreira. 2001. Producción de semilla en triticale forrajero. Efecto de la densidad de siembra y la fertilización nitrogenada sobre componentes del rendimiento e indicadores agroecológicos. *Rev. Arg. Prod. Animal (RAPA)* 21(3-4):181-190.
- Grassi, E., A. Odorizzi, L. Reynoso, B. Szpiniak, y V. Ferreira. 2004. Producción de semilla en triticale forrajero. Efecto de diferentes prácticas agronómicas. *Rev. Univ. Nac. Río Cuarto* 24(1-2):43-56.
- Grassi, E., L. Reynoso, A. Odorizzi, B. Szpiniak, y V. Ferreira. 2003. Producción de semilla en triticales forrajeros con riego suplementario en Río Cuarto, Córdoba. *Rev. Univ. Nac. Río Cuarto* 23(1-2):49-57.
- Grassi, E., M. Scaldaferrero, L. Reynoso, A. Ferreira, E. Castillo, y V. Ferreira. 2011. Líneas de tricepiro: acumulación de materia seca, fertilidad y rendimiento de grano en Río Cuarto

- to, Córdoba. Rev. Arg. Prod. Animal (RAPA) 31(1):1-16.
- Lin, C.S., and M.R. Binns. 1988. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. Can. J. of Pl. Sci. 68(1):193-198.
- Lúquez, J., M. Capurro, and L. Erazzú. 2010. Genotype-environment interactions, mega-environments and winner genotypes and environments for soybean grain yield in Argentina. Rev. Fac. Agronomía, Univ. Nac. La Plata 109(1):31-36.
- Mergoum, M., W.H. Pfeiffer, R.J. Peña, K. Ammar, y S. Rajaram. 2004. Triticale crop improvement: the CIMMYT programme. p. 11-26. In Mergoum, M., and H. Gómez-Macpherson (eds.). Triticale improvement and production. Plant Production and Protection Paper 179. FAO, Rome, Italy.
- Mergoum, M., W.H. Pfeiffer, S. Rajaram, y R.J. Peña. 1998. Triticale at CIMMYT: improvement and adaptation. Vol. 1. p. 58-64. Proceeding 4th Int. Triticale Symp.. July 26-31. Red Deer, Alberta, Canada.
- Mohamed, N.E.M. 2013. Genotype by environment interactions for grain yield in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Pl. Bred. Crop Sci. 5(7):150-157.
- Moreno-González, J., y J. Crossa. 1998. Combining genotype, environment and attributes variables in regression models for predicting the cell-means of multi-environment cultivars trials. Theor. Appl. Gen. 96(6-7):803-811.
- Myer, R, y A.J. Lozano del Río. 2004. Triticale as animal feed. p. 49-58. In Mergoum, M., and H. Gómez-Macpherson (eds.). Triticale improvement and production. Plant Production and Protection Paper 179. FAO, Rome, Italy.
- Namorato, H., G. Vieira Miranda, L. Vagno de Souza, L. Rodrigues Olivera, R. Oliveira De-Lima, and E.E. Mantovani. 2009. Comparing biplot multivariate analyses with Eberhart and Russell' method for genotype x environment interaction. Crop Breed. Appl. Biotechnol. 9(3):299-307.
- Naroud Rad, M.R., M. Abdul Kadir, M.Y. Rafii, H.Z.E. Jaafar, M.R. Naghavi, and F. Ahmadi. 2013. Genotype x environment interaction by AMMI and GGE biplot analysis in three consecutive generations of wheat (*Triticum aestivum*) under normal and drought stress conditions. Austr. J. Crop Sci. 7(7):956-961.
- Oliete, B., G. Pérez, M. Gómez, P. Ribotta, M. Moiraghi, and A. León. 2010. Use of wheat, triticale and rye flours in layer cake production. J. Food Sc. and Tech. 45(4):697-706.
- Paccapelo, H., D. Funaro, T. Mac Cormick, y O. Melis. 2004. Rendimiento de grano y sus componentes en cereales sintéticos (tríceps y triticales). Rev. Facultad de Agronomía, Univ. Nac. La Pampa 15(1/2):3-8.
- Peña, R.J. 2004. Food uses in triticale. p. 37-48. In Mergoum, M., and H. Gómez-Macpherson (eds.) Triticale improvement and production. Plant Production and Protection Paper 179. FAO, Rome, Italy.
- Rueda Puente, E.O., R.E. Rodríguez, F. Ponce, L. Avendaño, J. Santillano, y M. Cruz. 2011. Interacción genotipo-ambiente para la estabilidad de rendimiento en trigo en la región de Mexicali, B.C., México. Tropical and Subtrop. Agroecosyst. 14(2):543-558.
- Sabaghnia, N., H. Dehghani, and S.H. Sabahpour. 2008. Graphic analysis of genotype by environment interaction for lentil yield in Irán. Agron. J. 100(3):760-764.
- Tosso, H., H. Paccapelo, y G. Covas. 1997. Caracterización de líneas avanzadas de tríceps. II. Productividad de forraje, producción de grano y evaluación de componentes de rendimiento. RIA Rev. Invest. Agrop. 28(1):47-54.
- van Barneveld, R., and K. Cooper. 2002. Nutritional quality of triticale for pigs and poultry. Vol. I. p. 277-282. Proceeding 5th Int. Triticale Symp. June 30-July 5. Plant Breeding and Acclimatization Institute, Radzików, Poland.
- Wricke, G. 1962. Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. Zeitschrift für Pflanzen. 47:92-96.
- Yan, W. 2001. GGE Biplot - A windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. Agron. J. 93(5):1111-1118.
- Yan, W., L. Hunt, Q. Sheng, and Z. Szlavnic. 2000. Cultivars evaluation and mega-environment investigation based on GGE Biplot. Crop Sci. 40(3):597-605.
- Yan, W., and M. Kang. 2003. GGE Biplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists and agronomists. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Yan, W., M.S. Kang, B. Ma., S. Woods, and P.L. Cornelius. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. Crop Sci. 47(2):641-653.
- Zobel, R., M. Wright, and H. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. Agron. J. 80(3):388-393.