

APLICACIÓN DE LA ESTRUCTURA VARIANZA-COVARIANZA DEL FACTOR ANALÍTICO DEL MODELO LINEAL MIXTO EN EL ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DEL RENDIMIENTO DE GRANO DE MAÍZ

Fredy Salazar, Luis Narro

Fitotecnia Colombiana 7(1):24-32 (2007)

RESUMEN

En Colombia, la población se incrementó en 20% en los últimos 10 años, al igual que el consumo nacional de maíz, siendo de 3.2 millones de toneladas/año, de las cuales se están importando 2 millones de toneladas. Lo anterior hace necesario identificar genotipos de alto potencial de producción y generar tecnología adecuada para la habilitación de nuevas áreas de producción. Con el objeto de identificar genotipos elites de maíz, durante los semestres A y B del año 2004 se evaluaron 43 híbridos amarillos en ocho localidades del Ariari (Piedemonte Llanero). Se usó un diseño de α -latice, con tres repeticiones y parcelas de 2 surcos de 5 m. Para el análisis de estabilidad fenotípica se usó el método del factor analítico del modelo lineal mixto, genotipos fijos y localidades aleatorias. Se estimó la varianza de la interacción GxL propuesta por Shukla y el coeficiente de regresión y la varianza de los desvíos de la regresión de Eberhart y Rusell. La metodología usada fue descrita por Phiepho y se usó el modelo mixto del programa SAS. Se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas entre localidades y para la interacción de GxL. Los genotipos mostraron diferencias significativas al 5%. Según la varianza de estabilidad de Shukla, los genotipos más estables con buen potencial de rendimiento son los híbridos simples HEZC3056, HEZC3051, CLA37/CLA103, CLA28/CLA41 y HEZC3054. Según Eberhart y Rusell, los híbridos HEZC3056, HEZC3051, HEZC3054 y CLA151/CLA167 son para ambientes buenos, ya que responden positivamente a los cambios ambientales, y los híbridos Corpoica H111, CLA156/CLA105, CLA83/CLA10, CLA20/CLA10 y CLA86/CLA24 para ambientes desfavorables o con algún tipo de estrés.

Palabras clave: estabilidad, REML, Eberhart y Rusell, Shukla, suelo ácido

SUMMARY

In Colombia, population increased 20% in the last 10 years; on the other hand, maize consumption reached 3.2 million tons/year from which 2 million tons are imported. Consequently, technology, including high yielding and stable genotypes, is needed to increase maize production. Forty-three yellow maize hybrids (G) were evaluated at eight locations (L) of Ariari (Colombian Llanos), using α -lattice design with three replications. Genotypes were considered fixed effects and sites as random effects. Grain yield was one of the most important selection criteria to identify the best hybrids. Lineal mixed model was used for studying the phenotypic stability. GxL variance was estimated as proposed by Shukla (1972) and regression coefficient and regression deviations as proposed by Eberhart and Rusell (1966) as described by Phiepho (1999). SAS Mixed Models were used for performing the statistical analysis. Significant differences were found for G, L, and GxL. Using Shukla method, the highest yielding and stable genotypes were HEZC3056, HEZC3051, CLA37/CLA103, CLA28/CLA41, and HEZC3054. Using the Eberhart y Rusell method hybrids for favorable environments were HEZC3056, HEZC3051, HEZC3054, and CLA151/CLA167, while hybrids H111, CLA156/CLA105, CLA83/CLA10, CLA20/CLA10, and CLA86/CLA24 were more suitable for unfavorable environments.

Key words: stability, REML, Eberhart and Rusell, Shukla, acid soils.

INTRODUCCIÓN

La importancia de los cereales en la nutrición de millones de personas de todo el mundo es ampliamente reconocida. No se les puede considerar sólo una fuente de energía, sino que además suministran cantidades notables de proteínas. El contenido de hidratos de carbono y proteínas de los granos de maíz depende del endospermo y del germen. El maíz aporta aproximadamente el 10% de proteína, con una variación entre el 5% y 14%, y aproximadamente el 72% de carbohidratos con una variación entre (66% y 76%) (CIMMYT, 1996).

El maíz, junto con el trigo y el arroz, son los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos, a los animales y es una materia prima básica de la industria de transformación, con la que se produce almidón, aceite, proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y, desde hace poco, combustible (FAO, 1993).

Según la FAO (1993), el maíz tiene tres aplicaciones importantes: alimento, forraje y materia prima para la industria. Como alimento, se utiliza todo el grano, ya sea éste seco o tierno. Como forraje es utilizado en algunos países desarrollados, donde más del 60% de la producción es ensilada y utilizada en la elaboración de compuestos para aves, cerdos y rumiantes. Con el aumento de los precios del petróleo se ha impulsado la intensificación de las investigaciones sobre la fermentación del maíz para producir alcohol combustible, el cual tiene un uso muy difundido en algunas partes de los Estados Unidos. Con maíz fermentado se elaboran también algunas bebidas alcohólicas, como son las cervezas.

En Colombia, en los últimos 10 años la población se ha incrementado en un 20% (Dane, 2004) al igual que se ha incrementado el consumo nacional de maíz, siendo en la actualidad de 4.4 millones de toneladas/año, de las cuales se están importando 3.4 millones de toneladas (Fenalce, 2006). Lo anterior hace necesario identificar genotipos de alto potencial de producción y generar tecnología adecuadas para la habilitación de nuevas áreas de

producción. El incremento de la producción en nuevas áreas para el cultivo del maíz significa utilizar suelos marginales con baja fertilidad y expuestos a varios estreses abióticos. Una de las principales causas de la baja productividad de los suelos tropicales es la acidez, que está relacionada con bajo pH, alta saturación de Al y baja disponibilidad de fósforo (P). Estos suelos están disponibles tanto en los trópicos (1500 millones de hectáreas) como en sabanas (300 millones de hectáreas) que pueden ser áreas importantes para la producción de alimentos (Narro, *et al.*, 1995).

Para poder cultivar los suelos ácidos se requiere del desarrollo de una tecnología adecuada, que se puede lograr modificando las condiciones edáficas para permitir el desarrollo de cultivos o manipulando la estructura genética de la planta para conseguir que éstas crezcan favorablemente bajo las condiciones de estrés. El CIMMYT, en colaboración con muchos programas nacionales en el mundo, ha estado trabajando en el desarrollo de cultivares de maíz que puedan crecer en condiciones de suelo ácido y, de esta forma, contribuir con una solución permanente, ecológicamente limpia y económicamente factible, tanto para la generación de tecnología como para su adopción por parte de los agricultores.

Para la identificación de los mejores genotipos son de uso frecuente las metodologías de estabilidad, las cuales pueden ser de carácter univariado, como son los modelos de regresión de Finlay y Wilkinson (1963) y el modelo de Eberhart y Rusell (1966). Los métodos multivariados, como son el modelo AMMI (Gauch y Zobel, 1996), GGE (Yan, *et al.*, 2000; 2001) y PLS (Vargas, *et al.*, 1998; 1999). Todas las anteriores metodologías se han utilizado bajo el modelo general lineal. Más recientemente se han utilizado las mismas metodologías ahora fundamentadas en el modelo general mixto, las cuales permiten analizar conjuntos de datos, ya sean balanceados o desbalanceados, lográndose una mejor estimación de los parámetros y, por consiguiente, mayor eficiencia en la selección de genotipos de alto potencial (Phiepho, 1999).

El presente trabajo tiene como objetivos, identificar híbridos de maíz altamente productivos y estables que se adapten a las condiciones de suelos con estrés de los Llanos Orientales de Colombia y usar las nuevas metodologías de análisis estadístico para el estudio de la estabilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Germoplasma

Desde el 2002, en la región de Granada (departamento del Meta), el CIMMYT, en convenio con Fenalce, ha venido desarrollando y evaluando germoplasma de maíz tolerante a diferentes enfermedades y plagas de importancia en la región. Producto de este trabajo se ha generado líneas, sintéticos e híbridos de alto potencial de rendimiento con diferentes niveles de tolerancia a enfermedades e insectos plaga. Para el 2003 se hizo una evaluación general de todo el material generado, durante el convenio y se seleccionaron 35 híbridos promisorios por su alto potencial de rendimiento y

tolerancia a enfermedades. En general, estos híbridos se caracterizan por ser tolerantes a suelo ácido y eficientes en la absorción y toma de fósforo. Además presentan diferentes niveles de tolerancia a enfermedades e insectos plaga presentes en la región.

En los 2 semestres del 2004 se evaluaron los 35 híbridos seleccionados, 3 híbridos comerciales de Corpoica, 3 híbridos experimentales con germoplasma de trópico x subtropico y dos híbridos comerciales como testigo. De los 41 híbridos de maíz que incluyen germoplasma mejorado por el CIMMYT, Colombia, 39 son maíces con endospermo amarillo y 3 con endospermo blanco. No todos los híbridos fueron evaluados en los 2 semestres. En el Cuadro 1 se muestra la relación de los híbridos evaluados.

Los híbridos fueron evaluados en seis localidades de Granada (Meta), una de Puerto Gaitan (Meta) y una de Caicedonia (Valle), las cuales son presentadas en el Cuadro 2.

Cuadro 1. Híbridos evaluados durante el semestre A y B del 2004 sobre ocho localidades del Piedemonte Llanero.

Entry	Pedigrí	Evaluación 2004		Entry	Pedigrí	Evaluación 2004	
		A	B			A	B
1	CLA16/CLA10	x ^a	x	23	CLA86/CLA24	x	x
2	CLA17/CLA10	x	x	24	CLA86/CLA107	x	x
3	CLA20/CLA10	x	x	25	CLA87/CLA103	x	x
4	CLA37/CLA10	x	x	26	CLA153/CLA167	x	x
5	CLA83/CLA10	x		27	CLA148/CLA161	x	x
6	CLA46/CLA10	x		28	CLA151/CLA167	x	x
7	CLA113/CLA20	x	x	29	CLA156/CLA105	x	x
8	CLA41/CLA18	x	x	30	CLA157/CLA105	x	x
9	CLA161/CLA37	x		31	Nsx-B-S2-11-#-1-B/CLA18	x	
10	CML438/CLA155	x		32	(CLA106/CLA65)/CLA151	x	
11	CLA20/CLA24	x	x	33	(CLA168/CLA161)/CLA152	x	x
12	CLA20/CLA41	x	x	34	(CLA168/CLA161)/CLA153	x	x
13	CLA28/CLA41	x	x	35	(CLA106/CLA65)/CLA158	x	x
14	CLA149/CLA162	x	x	36	Corpoica H108	x	x
15	CLA151/CLA169	x	x	37	Corpoica H111	x	x
16	CLA148/CLA162	x	x	38	Corpoica H112	x	x
17	CLA154/CLA139	x	x	39	Testigo1 (P3018)	x	x
18	CLA153/CLA169	x	x	40	Testigo (SYNKO)	x	x
19	CLA159/CLA142	x	x	41	HEZC3051		x
20	CLA7/CLA43	x	x	42	HEZC3054		x
21	CLA36/CLA91	x	x	43	HEZC3056		x
22	CLA37/CLA103	x	x				

x = evaluado.

Cuadro 2. Localidades de evaluación, media, rango y coeficiente de variación de 43 híbridos de maíz.

Localidad	Media	Rank	Min.	Max.	CV (%)	Rango	Rank
Semestre A							
Aguas Blancas	7.96	1	5.67	10.53	11.3	4.9	2
Santa Helena	4.71	6	2.61	6.42	16.5	3.8	4
La Cubillera	4.94	5	3.41	6.67	17.6	3.3	6
Taluma	3.92	8	2.46	5.36	13.9	2.9	7
San Ignacio	5.20	2	3.81	6.48	12.0	2.7	8
Semestre B							
Caicedonia	4.62	7	0.88	7.67	13.7	6.8	1
Canaguaro	5.08	3	3.18	7.98	14.1	4.8	3
Aguas Blancas	5.07	4	3.49	7.03	14.5	3.5	5

Diseño experimental

Los híbridos fueron arreglados en un diseño de α -latice (6×7), con tres repeticiones y una parcela útil de 2 surcos de 5 m lineales. Se manejó una densidad de 5 plantas/metro lineal. Para el análisis de estabilidad fenotípica se usó el arreglo matricial del factor analítico del modelo lineal mixto, en donde los genotipos fueron considerados con efectos fijos y las localidades con efectos aleatorios. Se hizo el análisis de varianza por localidad y combinado a través de localidades. Para el estudio de la estabilidad se estimó la varianza de la interacción de genotipo x localidad propuesta por Shukla (1972) y los parámetros de regresión y la varianza de los desvíos de la regresión de Eberhart y Rusell (1966). La metodología usada en el presente trabajo fue descrita por Phiepho (1999) y se usó el modelo mixto del programa SAS (1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

Se encontraron diferencias significativas entre los híbridos en todas las localidades evaluadas, con coeficientes de variación comprendidos entre 11.3% y 17.6% para las localidades de Aguas Blancas y la Cubillera, respectiva-

mente. Caicedonia, con un rendimiento muy bajo, mostró la mayor discriminación de los genotipos, seguida de La Cubillera y Canaguaro. San Ignacio y Taluma fueron las localidades donde se observó menos discriminación de los genotipos, siendo esta última una de las localidades con más bajo rendimiento (Cuadro 2). Las localidades con rendimiento más alto fueron Aguas Claras y San Ignacio, siendo Aguas Claras la que, a su vez, mostró mayor variación entre los genotipos.

El análisis combinado de varianza mostró diferencias estadísticas significativas para genotipos y altamente significativas para localidades y para la interacción de genotipos x localidad (GxL), siendo estas dos las que están explicando en mayor porcentaje, la variación observada en la expresión del carácter (51% y 20%, respectivamente de la varianza total). El coeficiente de variación fue de 13.9% y el coeficiente de determinación de 91%, lo cual sugiere que el modelo utilizado es el adecuado para explicar la variabilidad observada en el carácter rendimiento de grano (Cuadro 3). Estos resultados son coincidentes por los publicados por Salazar *et al.* (1997, 1999), y Duque *et al.* (1994), en trabajos realizados en suelos ácidos de la altillanura Colombiana.

Cuadro 3. Análisis de varianza a través de ocho localidades y 43 híbridos de maíz. Modelo lineal general.

Fuentes de variación	gl	Rendimiento grano (t/ha)		
		CM	%	p
Localidad (L)	7	163.1	51	**
Rep (Loc)	16	3.1	2	**
Bloq (Loc*Rep)	168	1.2	9	**
Genotipos (G)	42	2.4	5	*
LxG	261	1.7	20	**
Plantas	1	43.2	2	**
Error	464	0.5	11	
Media		5.2		
CV (%)		13.9		
R ²		0.91		

Análisis de estabilidad

En el Cuadro 4 se muestran las medias, los parámetros de estabilidad propuestos por Eberhart y Rusell (1966) y la varianza de estabilidad de Shukla (1972), estimados a través del arreglo matricial de varianza-covarianza del método de máxima verosimilitud restringida (REML) del modelo mixto. La estimación de las varianzas y covarianzas se realizó utilizando el procedimiento mixed del programa SAS, (1997), según la metodología propuesta por Phiepho (1999).

El análisis combinado mostró una media general de 5.27 t/ha, con un rango de variación entre 4.45 y 7.22 t/ha. La diferencia mínima significativa (LSD, 0.05) fue de 0.74 t/ha, la que permitió encontrar diferencias estadísticas entre los genotipos evaluados. Los híbridos con mejor rendimiento fueron HEZC3056, HEZC3051, CLA149/CLA162, CLA28/CLA41 y (CLA168/CLA161)/CLA153 (Cuadro 4). Con respecto al mejor de los testigos, 18 de los híbridos mostraron rendimientos inferiores, 7 mostraron igual rendimiento y 17 fueron significativamente superiores (0.05) con porcentajes mayores a 7.71% (Figura 1).

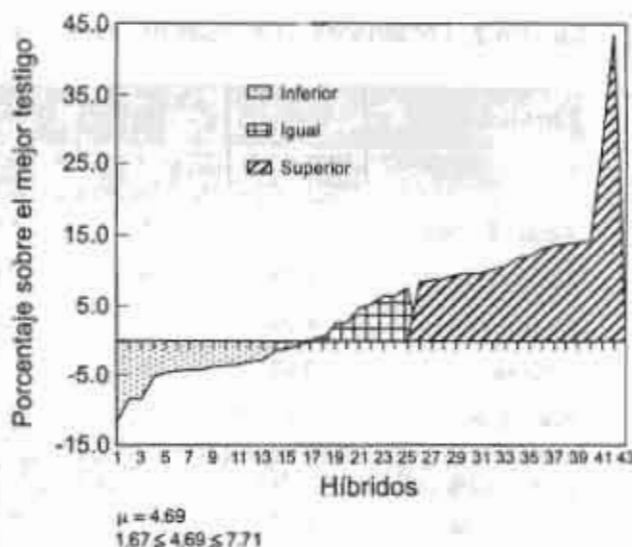


Figura 1. Porcentaje de ganancia sobre el mejor testigo para rendimiento de grano.

Según la varianza de estabilidad de Shukla, los genotipos que están recogiendo los mayores porcentajes de la interacción son CLA148/CLA162, (CLA168/CLA161)/CLA152 y CLA37/CLA10, con coeficientes de regresión por encima de 1 y con rendimientos por debajo de la media general, lo cual sugiere que estos híbridos no son los mejores, ya que son afectados fuertemente por el ambiente. Aunque su respuesta tiende a ser positiva, no alcanza a la media general. El híbrido Corpoica H112, al igual que los anteriores, mostró una varianza de interacción alta con una media baja, pero un coeficiente de regresión por debajo de 1, lo cual sugiere que de todos los híbridos evaluados, éste tiende a ser el menos estable, ya que es fuertemente afectado por el ambiente y que estos cambios tienden a disminuir su rendimiento (Figuras 2 y 3).

Los genotipos CLA83/CLA10, Corpoica H111, CLA86/CLA24, a pesar de estar explicando porcentajes altos de la interacción, mostraron rendimientos por encima de la media general y un coeficiente de regresión por debajo de 1, lo cual está indicando que estos híbridos tienden a ser buenos a pesar de ser afectados fuertemente por el ambiente y que estos responden positivamente cuando son colocados en ambientes desfavorables o con algún tipo de estrés (Figuras 2 y 3).

Cuadro 4. Medias, parámetros de estabilidad por Eberhart y Rusell y varianza de estabilidad de Shukla, estimados por la matriz de varianza-covarianza, método REML del modelo mixto.

Entry	Pedigrí	Media	Rank	BI	s ² d	Varianza (%)
1	CLA16/CLA10	4.61	41	0.53	0.34	2.27
2	CLA17/CLA10	5.30	21	1.12	1.13	3.12
3	CLA20/CLA10	5.36	20	0.92	1.30	3.36
4	CLA37/CLA10	4.83	36	1.28	1.66	4.37
5	CLA83/CLA10	5.64	8	0.66	2.02	6.00
6	CLA46/CLA10	4.96	30	1.19	0.48	1.25
7	CLA113/CLA20	4.89	32	1.22	0.57	1.48
8	CLA41/CLA18	4.89	31	1.54	0.44	1.49
9	CLA161/CLA37	5.62	9	1.32	0.72	1.90
10	CML438/CLA155	5.16	23	1.88	0.79	3.65
11	CLA20/CLA24	4.61	41	1.46	0.12	0.52
12	CLA20/CLA41	5.03	27	1.95	0.42	2.65
13	CLA28/CLA41	5.73	4	1.09	0.17	0.52
14	CLA149/CLA162	5.75	3	1.68	0.51	2.02
15	CLA151/CLA169	5.57	10	2.14	0.33	3.49
16	CLA143/CLA162	4.98	29	1.82	1.61	5.79
17	CLA154/CLA139	4.86	33	1.40	0.22	0.78
18	CLA153/CLA169	5.55	11	1.09	0.44	1.35
19	CLA159/CLA142	4.78	40	0.80	0.33	1.23
20	CLA7/CLA43	4.85	35	0.59	0.15	1.41
21	CLA36/CLA91	4.80	39	1.09	1.46	3.60
22	CLA37/CLA103	5.71	6	1.08	0.15	0.41
23	CLA86/CLA24	5.42	18	0.41	0.85	3.91
24	CLA86/CLA107	5.46	17	1.00	0.48	1.57

Entry	Pedigrí	Media	Rank	BI	s ² d	Varianza (%)
25	CLA87/CLA103	5.15	24	1.04	0.88	2.20
26	CLA153/CLA167	4.81	38	1.23	0.46	1.35
27	CLA148/CLA161	5.47	16	1.44	0.29	1.10
28	CLA151/CLA167	5.47	15	1.36	0.20	0.56
29	CLA156/CLA105	5.51	13	0.65	0.44	1.94
30	CLA157/CLA105	5.27	22	1.04	0.49	1.24
31	Nsx-B-S2-11-#-1-B/CLA18	5.36	19	1.31	0.30	0.91
32	(CLA106/CLA65)/CLA151	5.70	7	1.13	0.69	1.84
33	(CLA168/CLA161)/CLA152	4.82	37	1.85	1.10	4.47
34	(CLA168/CLA161)/CLA153	5.73	5	1.45	0.66	1.94
35	(CLA106/CLA65)/CLA158	4.45	43	1.02	0.47	1.51
36	Corpoica H108	5.07	25	0.55	0.74	3.08
37	Corpoica H111	5.52	12	0.82	1.46	4.03
38	Corpoica H112	5.00	28	0.42	1.97	6.65
39	Testigo local1 (P3018)	4.86	34	0.97	0.47	1.54
40	Testigo local2 (SYNKO)	5.04	26	1.72	0.45	1.96
41	HEZC3051	6.46	2	1.67	0.62	2.03
42	HEZC3054	5.51	14	2.81	0	0.77
43	HEZC3056	7.22	1	4.49	0	2.76
	Media	5.27				
	Min.	4.45				
	Max.	7.22				
	LSD (0.05)	0.74				

Los híbridos más estables en cuanto al aporte de la varianza de la interacción, pero con rendimiento por debajo de la media general y con coeficientes de regresión por encima de 1, son CLA20/CLA24, CLA154/CLA139, y (CLA105/CLA65)/CLA158, lo cual sugiere que, a pesar de su estabilidad y su respuesta positiva en ambientes favorables, no son los más deseables debido a su bajo rendimiento. El híbrido CLA15/CLA142, a pesar de mostrar una baja varianza de interacción, mostró un coeficiente de regresión por debajo de 1 y una media por debajo de la media general, lo cual sugiere que este genotipo tiende a adaptarse a ambientes desfavorables y siempre a rendir igual en todos los ambientes (Figuras 2 y 3).

Los híbridos más promisorios por tener una baja varianza de interacción, un rendimiento por encima de la media general y un coeficiente de regresión por encima de 1 son HEZC3051, HEZC3056, HEZC3054, CLA28/CLA41, CLA37/CLA103, CLA149/CLA162, (CLA168/CLA161)/CLA153 y CLA151/CLA169, lo cual sugiere que hacen un bajo aporte a la varianza de la interacción, y responden positivamente cuando se siembran en ambientes favorables (Buenos), mostrando una media por encima de la media general (Figuras 2 y 3). Resultados similares fueron publicados por Vásquez (2005), quien encontró que los híbridos tolerantes a suelo ácido en condiciones de estrés presentan buena estabilidad del rendimiento.

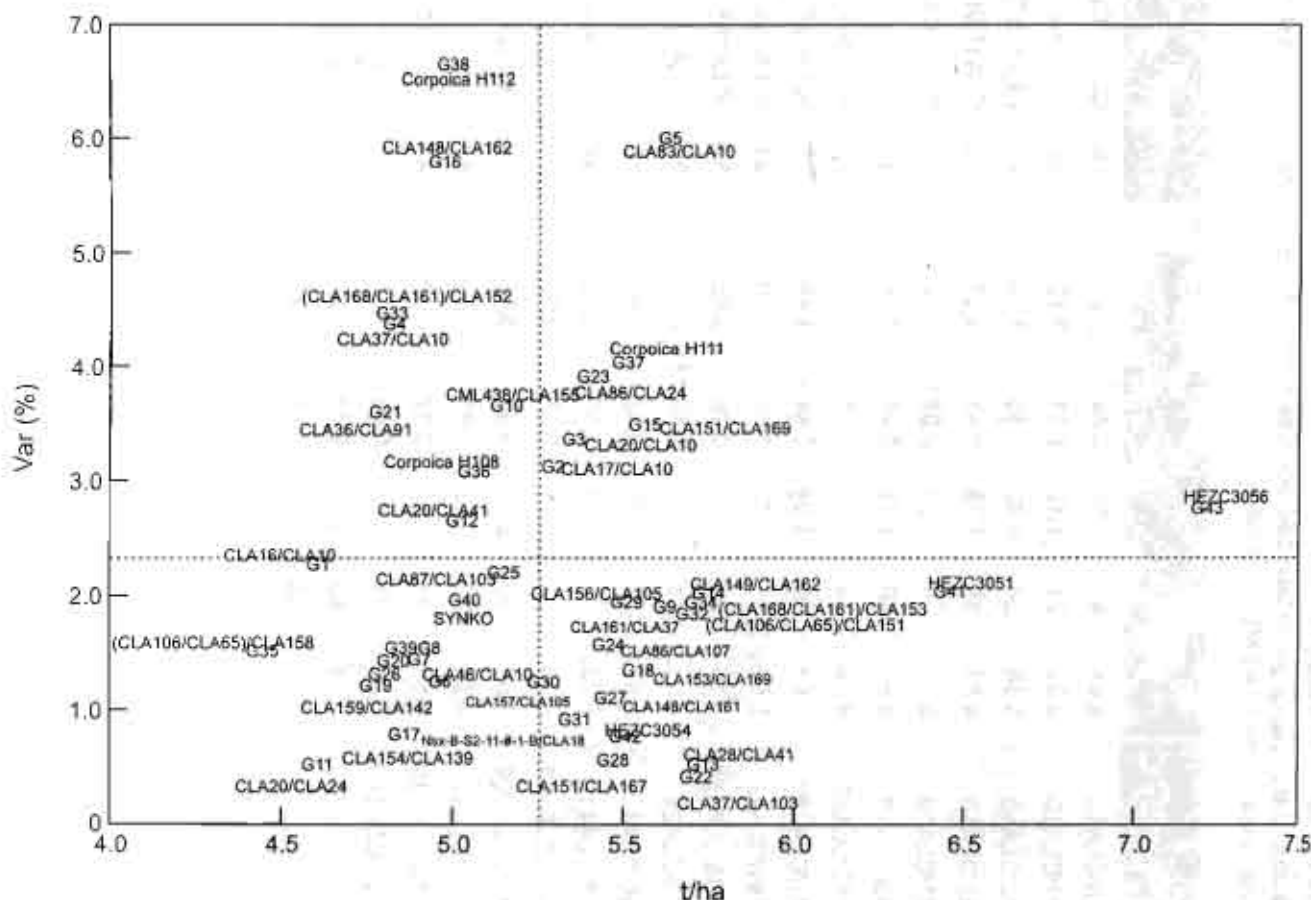


Figura 2. Varianza de estabilidad de Shukla vs. rendimiento de grano (t/ha).

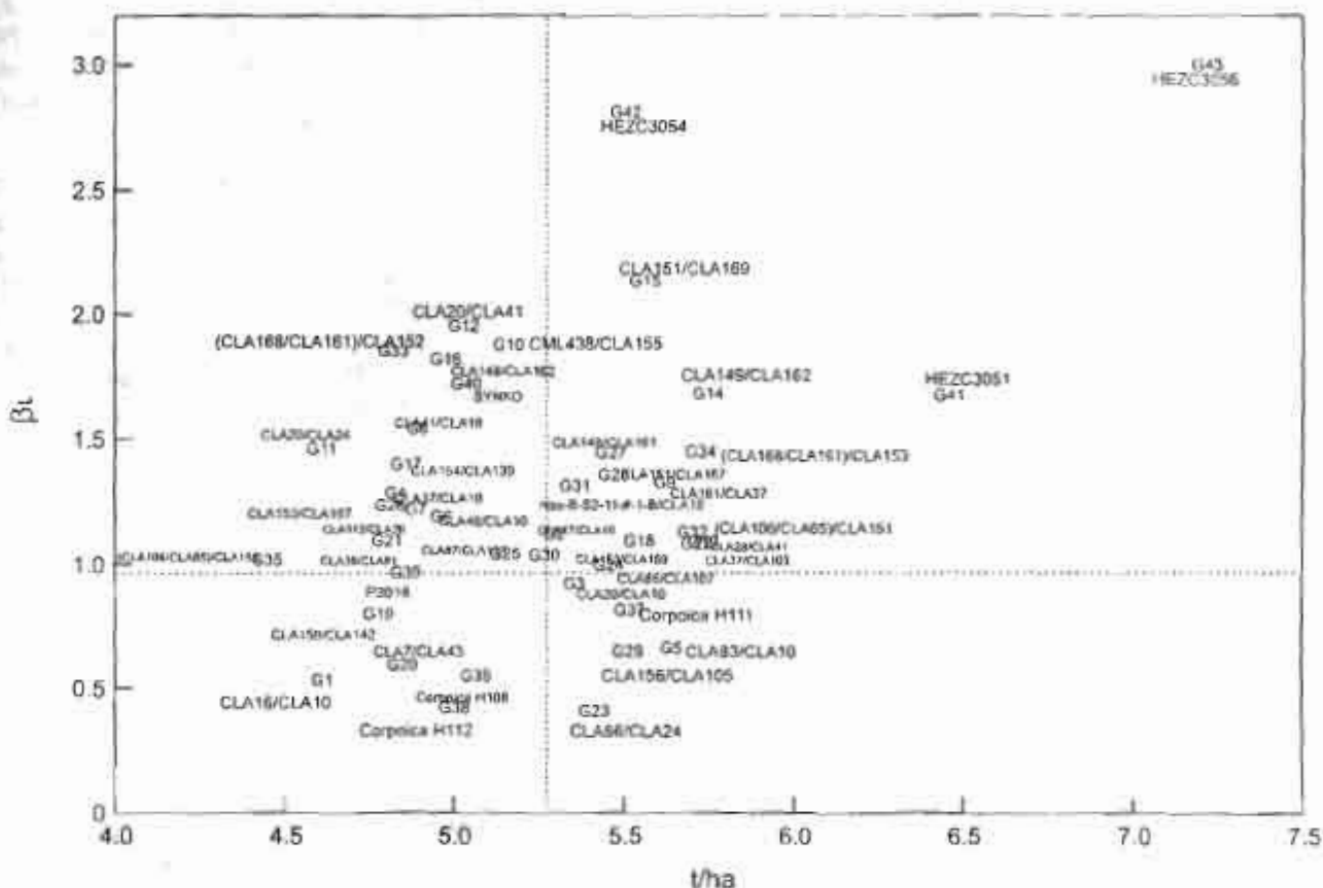


Figura 3. Coeficiente de regresión vs. rendimiento de grano (t/ha).

CONCLUSIONES

1. La metodología de varianza de la interacción de Shukla y la fundamentada en la regresión y desvíos de la regresión de Eberhart y Ruseil mostraron una complementación entre ellas, ya que la primera permite observar los aportes que hacen cada uno de los genotipos a la varianza de la interacción y la segunda permite observar la respuesta de los genotipos y la estabilidad de esta respuesta.
2. Los híbridos HEZC3051, HEZC3056, HEZC3054, CLA28/CLA41, CLA37/CLA103, CLA149/CLA162 y (CLA168/CLA161)/CLA153 mostraron ser los más promisorios por presentar valores bajos en el aporte a la varianza de la interacción y respuestas positivas en su rendimiento de grano cuando son sembrados en ambientes buenos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento al Dr. Fabio Polanía, Fenalce, por el apoyo financiero del proyecto. Al grupo técnico de agrónomos de Fenalce, Granda (Meta) y Corpoica La Libertad y Taluma, (Meta).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1996. Programa Suramericano de Maíz. Final review. CIAT. Cali, Colombia.
- DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). 2004 http://www.dane.gov.co/inf_est/censo_demografia.htm
- Duque-Vargas, J.; Pandey, S.; Ceballos, H.; and Knapp E. 1994. Inheritance of tolerance to soil acidity in tropical maize. *Crop Sci.* 34(1):50-54.

- Eberhart, S.A., and W.A. Russell, 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1993. El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y nutrición, N° 25. Roma, Italia.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2004a. Exportaciones. <http://www.fao.org/es/ess/top/country.jsp?lang=ES&country=44>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2004b. Importaciones. [en línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/es/ess/toptrade/trade.asp>
- http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/T0395S/T0395S07.html
- Fenalce (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas). 2006. Avance económico.
- Finlay, K.W.; Wilkinson, G.N. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14:742-754.
- Gauch, H., y Zobel, R. 1996. AMMI analysis of yield trials. In: Kang, M.S.; Gauch, H.G. (eds.). *Genotype-by-environment interaction*. CRC Press, Boca Raton. pp.85-122.
- Narro, L.; Pandey, S.; León, A.; Pérez J.C.; Salazar, F. 1995. Investigación de maíz para suelos ácidos realizados por el CIMMYT. IV Taller Agropastoril para Suelos Ácidos de las Sabanas y Taller Metodológico Agropastoril. Cochabamba, Bolivia, Sept. 25-29.
- Phieng, H-P. 1999. Stability analysis using the SAS System. *Agron. J.* 91:154-160.
- SAS Institute. 1997. SAS/STAT software: Changes and enhancements measures through release 6.12. Cary, NC.
- Salazar, F.; Pandey, S.; Narro, L.; Pérez, J.C.; Ceballos, H.; Parentoni, S.N.; Bahía Filo, A.F.C. 1997. Diallel analysis of acid soil tolerant and intolerant tropical maize populations. *Crop Sci.* 35:1457-1462.
- Salazar, F.; De León, C.; Narro, L.; Vásquez G.; Arias, M.P. 1999. Estimación de la adaptabilidad de siete variedades de maíz tolerantes a suelo ácido del CIMMYT en 20 ambientes, utilizando diferentes metodologías de análisis estadístico. In: XVIII Reunión Latinoamericana del Maíz, Memorias. Agosto 22-27. Sete Lagoas, MG, Brasil. p. 559-566.
- Shukla, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-Environmental components of variability. *Heredity* 29:237-245.
- Vargas, M.; Crossa, J.; Sayre, K.; Reynolds, M.; Ramirez, M.E.; Talbot, M. 1998. Interpreting genotype environment interaction in wheat by partial least squares regression. *Crop Sci.* 38:679-689.
- Vargas, M.; Crossa, J.; van Eeuwijk, F.A.; Ramirez, M.E.; Sayre, K. 1999. Using partial least squares regression, factorial regression, and AMMI models for interpreting genotype & times; environment interaction. *Crop Sci.* 39:955-967.
- Vásquez, G. 2005. Estimación de la adaptabilidad de siete variedades de maíz tolerantes a suelo ácido del CIMMYT en 20 ambientes utilizando dos metodologías de análisis estadísticos. Tesis. (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira.
- Yan, W., Cornelius, P. L.; Crossa, J.; Hunt, L. A. 2001. Two types of GGE biplots for analyzing multi-environment trial data. *Crop Sci.* 41:656-663.
- Yan, W., Hunt, L.A.; Sheng, Q.; Szilvics, -Z. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40:597-605.