

Estabilidad del rendimiento de 36 cultivares de haba colectadas en el Estado de México*

Yield stability of 36 cultivars had collected in the Estado de Mexico

Laura Stephanie Flores Carrera¹, Delfina de Jesús Pérez López^{2§}, Andrés González Huerta², Martín Rubí Arriaga², Artemio Balbuena Melgarejo² y Francisco Gutiérrez Rodríguez²

¹Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales-Facultad de Ciencias Agrícolas- Universidad Autónoma del Estado de México- Campus Universitario "El Cerrillo". El Cerrillo Piedras Blancas, Municipio de Toluca, Estado de México, México. AP. 435 (CPB-T). Tel: +52 (722) 2965531 Ext. 125 y 128. ²Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento. FCAgr. UAEMex. CPB-T. Tel. y Fax: 01(722)2965518. Ext.148. (lphaniefc@hotmail.com; agonzalez@uaemex.mx; m_rubi65@yahoo.com.mx; abalbuenam@uaemex.mx; fgutierrezr@uaemex.mx). [§]Autora para correspondencia: djperezl@uaemex.mx.

Resumen

El presente trabajo se realizó en el ciclo primavera-verano de 2013 en cinco localidades del Estado de México para evaluar la estabilidad del rendimiento de 36 cultivares de haba. Se eligió una serie de experimentos en bloques completos al azar con tres repeticiones por localidad. Las diferencias altamente significativas que se observaron entre cultivares, entre localidades y en su interacción (IGA) sugieren que hay suficiente variabilidad genética para iniciar un nuevo programa de mejora vegetal, que los ambientes del centro del Estado de México son heterogéneos y que la IGA significativa dificulta la identificación de cultivares sobresalientes. Estos resultados fueron confirmados al aplicar los modelos AMMI y de Eberhart y Russell modificando la clasificación de estabilidad con la propuesta de Carballo y Márquez. Los mejores ambientes fueron San Nicolás Guadalupe y Barrio de Guadalupe, ubicados en los municipios mexiquenses de San Felipe del Progreso y San Mateo Atenco. El rendimiento de grano en las cinco localidades varió de 0.24 a 6 t ha⁻¹. Aun cuando no hubo cultivares estables, los más sobresalientes fueron los identificados como T2, T4, T5, T6, T7, T26 Y T30 (de 2.05 a 2.61 t ha⁻¹), colectados en los municipios de Acambay,

Abstract

This work was done in the spring-summer 2013 in five locations in the Estado de Mexico to assess the stability of the performance of 36 bean cultivars. A series of experiments was chosen in a randomized complete block design with three replications per location. The highly significant differences were observed among cultivars, between localities and their interaction (IGA) suggest that there is enough genetic variability to start a new program of plant breeding, the center environments of the Estado de Mexico are heterogeneous and significant IGA difficult to identify outstanding cultivars. These results were confirmed by applying the AMMI model and Eberhart and Russell changing the classification of stability with the proposal Carballo and Márquez. The best environments were San Nicolás Guadalupe and Barrio de Guadalupe, located in the State of Mexico municipalities of San Felipe del Progreso and San Mateo Atenco. The grain yield in five locations ranged from 0.24 to 6 t ha⁻¹. Although there was no stable cultivars, the most outstanding were identified as T2, T4, T5, T6, T7, T26 and T30 (2.05 to 2.61 t ha⁻¹), collected in the municipalities of Acambay, Jocotitlán, Zinacantepec and Metepec ; except T4, which showed better response in good environments and was consistent, T12, T23, T28 and T36 responded better in good environments but were inconsistent.

* Recibido: junio de 2016
Aceptado: septiembre de 2016

Jocotitlán, Zinacantepec y Metepec; con excepción de T4, que mostró mejor respuesta en buenos ambientes y fue consistente, T12, T23, T28 y T36 respondieron mejor en buenos ambientes pero fueron inconsistentes.

Palabras claves: *Vicia faba* L., estabilidad, modelo AMMI, método de Eberhart y Russell.

Introducción

Aprovechar la variabilidad y diversidad genética de los materiales nativos en haba (*Vicia faba* L.) es importante para obtener variedades de mayor rendimiento y estabilidad, con semillas más grandes, resistentes y/o tolerantes a plagas y enfermedades, entre otros. La IGA significativa puede limitar la identificación de genotipos superiores (Gauch *et al.*, 2008; Crossa *et al.*, 1990; Yan y Kang, 2003; Annicchiarico y Iannucci, 2008; Yahia *et al.*, 2012; Pérez *et al.*, 2015), mega-ambientes favorables o paquetes tecnológicos óptimos que contribuyan al incremento de los ingresos de los agricultores (Annicchiarico, 1997; Flores *et al.*, 2013; Temesgen *et al.*, 2015).

Los modelos de Eberhart y Russell (1966) y de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI Model) han sido ampliamente usados en maíz (*Zea mays* L.; González *et al.*, 2010), haba (Mulusew *et al.*, 2008; Karadavut *et al.*, 2010; Al-Aysh, 2013; Abebe *et al.*, 2015) y papa (*Solanum tuberosum* L.; Pérez *et al.*, 2007; Pérez *et al.*, 2009), entre otros. El Modelo AMMI es superior a otras técnicas multivariadas al permitir la interpretación gráfica de las respuestas de las variedades, de los ambientes y su IGA y es eficiente aún con pocas repeticiones (Zobel *et al.*, 1988; Rodríguez *et al.*, 2005; Gauch, 2006).

El haba está bien adaptada al Centro de México, tolera bajas temperaturas, fija nitrógeno atmosférico, tiene un alto contenido de proteína y se asocia ventajosamente con otras especies como frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) o maíz (*Zea mays* L.). En la región centro de México existe poca información sobre su comportamiento agronómico, potencial de rendimiento y estabilidad. El objetivo principal de este estudio fue identificar colectas de mayor producción de grano y menor interacción genotipo*ambiente mediante dos metodologías.

Keywords: *Vicia faba* L., AMMI model, Eberhart and Russell method, stability.

Introduction

The harnessing the variability and genetic diversity of native materials in bean (*Vicia faba* L.) is important for higher-yielding varieties and stability, with larger seeds, resistant and/or tolerant to pests and diseases, among others, among others. The significant IGA may limit the identification of superior genotypes (Crossa *et al.*, 1990; Yan and Kang, 2003; Annicchiarico and Iannucci, 2008; Gauch *et al.*, 2008; Yahia *et al.*, 2012; Pérez *et al.*, 2015), mega-environments favorable or optimal technological packages that contribute to increasing the income of farmers (Annicchiarico, 1997; Flores *et al.*, 2013; Temesgen *et al.*, 2015).

The models of Eberhart and Russell (1966) and main additive and multiplicative interaction (AMMI Model) effects have been widely used in maize (*Zea mays* L.; González *et al.*, 2010), bean (Mulusew *et al.*, 2008; Karadavut *et al.*, 2010; Al-Aysh, 2013; Abebe *et al.*, 2015) and potato (*Solanum tuberosum* L.; Pérez *et al.*, 2007; Pérez *et al.*, 2009), among others. The AMMI model is superior to other multivariate techniques to enable the graphical interpretation of the responses of varieties of environments and the IGA and is still efficient with few repetitions (Zobel *et al.*, 1988; Rodríguez *et al.*, 2005; Gauch, 2006).

The bean is well suited to the Center of Mexico, tolerates low temperatures, fixes atmospheric nitrogen, has a high protein content and is advantageously associated with other species such as bean (*Phaseolus vulgaris* L.) or maize (*Zea mays* L.). In the central region of Mexico there is little information on their agronomic performance, yield potential and stability. The main objective of this study was to identify collections of higher production and lower grain genotype*environment interaction using two methodologies.

Materials and methods

Description of the study area

This work was established in the spring-summer cycle of 2013 in five localities in the State of Mexico: San Diego (SD; L1), Rancho San Lorenzo (SL; l2), Barrio de

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

El presente trabajo se estableció en el ciclo primavera-verano de 2013 en cinco localidades del Estado de México: San Diego (SD; L1), Rancho San Lorenzo (SL; L2), Barrio de Guadalupe (BG; L3), San Nicolás Guadalupe (SNG; L4) y Los Berros (LB; L5). Sus características se describen en la Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción del área de estudio.
Table 1. Description of the study area.

Localidad	Municipio	Tipo de suelo	Altitud (m)	Ubicación geográfica		Precipitación (mm)	Temperatura media (°C)
				LN	LO		
L1	Almoloya de Juárez	Vertisol	2 531	19° 40' 921"	99° 69' 023"	788	12.5
L2	Metepec	Andosol	2 606	19° 14' 86"	99° 35' 24"	785	13
L3	San Mateo Atenco	Feozen	2 570	19° 14' 55.03"	99° 32' 7.4"	800	12
L4	San Felipe del Progreso	Andosol	2 740	19° 36' 30"	100° 01' 44"	892	15
L5	Villa de Allende	Andosol	2 571	19° 23' 44.69"	100° 03' 11.23"	1 000	17

Fuentes: García (1988); Orozco *et al.* (2013); SEMARNAT (2006).

Material genético

Se consideraron 33 cultivares provenientes del Estado de México y tres variedades del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX) (Cuadro 2).

Diseño experimental y tamaño de la parcela

Se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones por localidad en una serie de experimentos. La parcela constó de tres surcos de 4 m de largo y 0.80 m de ancho; el surco central fue la parcela útil (3.20 m²).

Manejo agronómico de los ensayos

Se realizó un barbecho y un paso de rastra. El surcado se hizo a 0.80 m. La siembra manual en abril se realizó el 13 (L1), 17 (L2), 20 (L3) y 27 (L4) y 01 de mayo (L5) del 2013. En L1, L2, L4 y L5 se fertilizó con 60N- 60P- 30K (urea, 46%; superfosfato de calcio triple, 46%; cloruro de potasio, 60%, y 46N-18P-00K). En L2 se adicionó una fertilización orgánica foliar de 5 ml L⁻¹ y lombricomposta a la mezcla. En L3 sólo se aplicó 2.5 t ha⁻¹ de estiércol de

Guadalupe (BG, L3), San Nicolás Guadalupe (SNG; L4) and Los Berros (LB; L5). Its characteristics are described in Table 1.

Genetic material

The 33 cultivars were considered from the State of Mexico and three varieties of the Institute of Agricultural Research and Training, Aquaculture and Forestry of the State of Mexico (ICAMEX) (Table 2).

Experimental design and size of the plot

An experimental design of randomized complete block with three replicates per location in a series of experiments was used. The plot consisted of three rows of 4 m long and 0.80 m wide; the central sulcus was the useful plot (3.20 m²).

Agronomic management of the trials

The fallow and dredge step was performed. The ridged was 0.8 m. Manual seeding in April made 13 (L1), 17 (L2), 20 (L3) and 27 (L4) and 01 May (L5) 2013. In L1, L2, L4 and L5 fertilized with 60N- 60P- 30K (urea, 46%; calcium triple superphosphate, 46%; potassium chloride, 60%, and 46N-18P-00K). In L2 a foliar organic fertilization 5 ml L⁻¹ it was added and vermicompost to the mixture. The L3 is just 2.5 t ha⁻¹ of cattle manure was applied. The two spuds were performed in L1 and L3 and L2, L4 and L5. In two irrigations L3, L1 and L2 in one and L4 and L5 were handled temporarily applied. The weed control was manual L2, L3, L4, and L5. In L1 was applied basagran 480 (1.5 L ha⁻¹). In L1 and L4 were made three applications of Manzate (Mancozeb) and Cupravix mix (Copper oxychloride + mancozeb; 1 kg

bovino. Se realizaron dos escardas en L1 y L3 y una en L2, L4 y L5. En L3 se aplicaron dos riegos, en L1 y L2 uno, y L4 y L5 se manejaron en temporal. El control de malezas fue manual en L2, L3, L4, y L5. En L1 se aplicó Basagrán 480 (1.5 L ha⁻¹). En L1 y L4 se hicieron tres aplicaciones de Manzate (Mancozeb) y Cupravit mix (Oxicloruro de cobre + mancozeb; 1 kg ha⁻¹) y una de Velcron 60 (1.5 L ha⁻¹). En L2 se aplicó Prosal 50 pH (1 g L⁻¹ agua), Mancozeb (2.5 L⁻¹ agua), Carioca 40-80 (2 ml L⁻¹ agua) y adherente (Insect soap). En L3 y L5 no se aplicó agroquímico. La cosecha se realizó después de madurez fisiológica.

ha⁻¹) and one of Velcron 60 (1.5 L ha⁻¹). In L2 was applied Prosal 50 pH (1 g L⁻¹ water), Mancozeb (2.5 L⁻¹ water), 40-80 Carioca (2ml L⁻¹ water) and adhesive (Insect soap). L3 and L5 was not applied agrichemical. The harvest took place after physiological maturity.

Statistical analysis

The analysis were performed of individual and combined variance and mean comparison between locations and between bean cultivars for grain yield (Tukey, $p= 0.01$).

Cuadro 2. Cultivares evaluados en 2013.

Table 2. Cultivars evaluated in 2013.

Código	Productores	Identificación	Municipios
1	Ángel Cisneros Hernández	Pathé	Acambay
2	Félix Peralta Rivera	Boshindo	Acambay
3	Porfirio Alcántara Becerril	Hodongu	Acambay
4	Palemón Becerril Landeros	Agua Limpia	Acambay
5	Jorge Mateo Estrada	San Pedro de los Metates	Acambay
6	Porfirio Garfías Frías	Pueblo Nuevo	Acambay
7	Carlos Barreno González	Los Reyes	Jocotitlán
8	Benjamín Álvarez Peña	Tixmadeje	Acambay
9	Pedro Plata García	Chanteje	Acambay
10	Héctor Muciño Muciño	Santa María Nativitas	Calimaya
11	Encarnación Estrada González	Santa María Nativitas	Calimaya
12	Sebastián Matías González	San Lorenzo Cuahutenco	Calimaya
13	Roberto Hernández Torres	Calimaya	Calimaya
14	Tiburcio Sánchez Ortega	Calimaya	Calimaya
15	Carlos Zarza Torres	Zaragoza de Guadalupe	Calimaya
16	Encarnación Robles Trujillo	Zaragoza de Guadalupe	Calimaya
17	Edgar Colín Flores	Zaragoza de Guadalupe	Calimaya
18	Manuel Gutiérrez Navarrete	San Marcos de la Cruz	Calimaya
19	Moisés Cortéz Gomora	San Marcos de la Cruz	Calimaya
20	Roberto Muñoz Arriaga	Mexicaltzingo	Mexicaltzingo
21	Mateo Torres Gutiérrez	San Pedro Tlaltizapán	Santiago Tianguistenco
22	Teófilo Carrasco Onofre	San Pedro Tlaltizapán	Santiago Tianguistenco
23	Ramón Martínez Cejudo	Santa Cruz Atizapán	Santa Cruz Atizapán
24	Jesús Martínez Antúnez	Santiago Tianguistenco	Santiago Tianguistenco
25	Teodolfo Hernández Cipriano	Cacalomacán	Toluca
26	Eudoxia Ramírez Rincón	Santa Cruz Cuahutenco	Zinacantepec
27	Carlos Estrada Velasco	Almoloya del Río	Almoloya del Río
28	ICAMEX	Monarca	Metepec
29	ICAMEX	Diamante	Metepec
30	ICAMEX	San Pedro Tlaltizapán	Metepec
31	Sara L. González Romero	Cacalomacán	Toluca
32	Pedro Reyes Carmona	San Marcos de la Cruz	Calimaya
33	Sara L. González Romero	Cacalomacán	Toluca
34	Omar Franco Mora	Santa María Tlalmimilolpan	Lerma
35	Adriana Meza Sosa	Santiago Tianguistenco	Santiago Tianguistenco
36	Ernesto Eduarte Garay	San Nicolás Guadalupe	San Felipe del Progreso

Análisis estadístico

Se realizaron los análisis de varianza individual y combinado y una comparación de medias entre localidades y entre cultivares de haba para rendimiento de grano (Tukey, $p=0.01$). Para determinar la estabilidad del rendimiento se usó el modelo de Eberhart y Russell (1966) con la modificación propuesta por Carballo y Márquez (1970); según ellos, un genotipo es estable si tiene una media superior al promedio general y coeficiente y desviaciones de regresión iguales a 1 y cero, respectivamente. El cálculo de los indicadores de estabilidad de Eberhart y Russell se hizo con el sistema para análisis estadístico (Statistical Analysis System, SAS; versión 6.03 para Windows) empleando el algoritmo construido por Mastache y Martínez (1998). Con el modelo AMMI se analizaron los ambientes, los cultivares y su interacción en uno o dos componentes principales (Zobel *et al.*, 1988; Rodríguez *et al.*, 2005; Pérez *et al.*, 2009) aplicando los programas para SAS elaborados por Vargas y Crossa (2000).

Resultados y discusión

Las diferencias altamente significativas ($p=0.01$) que se detectaron en las Cuadro 3, 4 y 5 indican que al menos entre dos localidades o entre dos cultivares existen diferencias reales en rendimiento de grano y que el comportamiento de las habas varió en función de los ambientes; También sugieren que las cinco localidades del centro del estado de México son muy heterogéneas, que hay suficiente variabilidad genética entre los 36 cultivares de haba y que la IGA dificultará la identificación de cultivares de mayor rendimiento y estabilidad, siendo posible que algunos de los cultivares tengan mejor adaptación a un ambiente específico (Annicchiarico and Iannucci, 2008; Yahia *et al.*, 2012; Flores *et al.*, 2013; Temesgen *et al.*, 2015), situación muy común para los Valles Altos del Centro de México, donde hay gran heterogeneidad ambiental (González *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2014).

En el Valle Toluca-Atlacomulco, Estado de México y en otras localidades del centro de México se ha concluido que la variabilidad ambiental que predomina en esta región se atribuye principalmente a las diferencias que existen en altitud, tipos de suelo, temperaturas y precipitación pluvial (Rodríguez *et al.*, 2005; González *et al.*, 2008; Reynoso *et al.*, 2014; Rodríguez *et al.*, 2015; Franco *et al.*, 2015), como las que se pueden observar en la Cuadro 1.

To determine yield stability was used model Eberhart and Russell (1966) with the modification proposed by Carballo and Márquez (1970); according to them, a genotype is stable if the average above the overall average and coefficient and deviations regression equal to 1 and zero, respectively. The calculation of indicators stability of Eberhart and Russell took the system for statistical analysis (Statistical Analysis System, SAS, version 6.03 for Windows) using the algorithm built by Mastache and Martínez (1998). With the AMMI model were analyzed environments, cultivars and their interaction in one or two major components (Zobel *et al.*, 1988; Rodríguez *et al.*, 2005; Pérez *et al.*, 2009) using programs for SAS made by Vargas and Crossa (2000).

Results and discussion

The highly significant differences ($p=0.01$) than were detected in Table 3, 4 and 5 indicate that at least two locations or between two cultivars there are real differences in grain yield and the behavior of beans varied depending on the environments; They also suggest that the five towns in the Central Estado de Mexico are very heterogeneous, that there is sufficient genetic variability among 36 cultivars of bean and the IGA difficult to identify cultivars greater performance and stability, making it possible that some of the cultivars have better adaptation to a specific environment (Annicchiarico and Iannucci, 2008; Yahia *et al.*, 2012; Flores *et al.*, 2013; Temesgen *et al.*, 2015), very common situation for the Valles Altos the Mexico, where there is great environmental heterogeneity (González *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2014).

In the Valle de Toluca-Atlacomulco, Estado de Mexico and other locations in Central Mexico has been concluded that the environmental variability that prevails in this region is mainly attributed to the differences in altitude, soil types, temperatures and rainfall (Rodríguez *et al.*, 2005; González *et al.*, 2008; Reynoso *et al.*, 2014; Rodríguez *et al.*, 2015; Franco *et al.*, 2015), as those that can be seen in Table 1.

The heterogeneity between localities (Figure 1) is explained by the significant differences were mainly observed among the best environments (SNG and BG) with the other three sites (SL, SD and LB). The average grain yields

Cuadro 3. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F del análisis de varianza individual, combinado (AC) y del modelo AMMI (AMMI).**Table 3. Mean squares and statistical significance of the values of F of analysis of individual variance, combined (AC) and AMMI model (AMMI).**

FV	GL	L1		L2		L3		L4		L5		AC y AMMI
		San Diego	Rancho San Lorenzo	Barrio de Guadalupe	San Nicolás Guadalupe	Los Berros						
Repeticiones	2		0.03 ns	0.06 ns	0.1 ns	1.2 **	0.02 ns					
Cultivares	35		0.16 **	0.73 **	3.83 **	4.54 **	0.49 **					
L	4											68.11 **
R (L)	10											0.28 **
C	35											2.52 **
L * C	140											1.81 **
CP1	38											3.24 **
CP2	36											2.86 **
CP3	34											0.55 ns
CP4	32											0.25 ns
CP5	30											0 ns
Error	70	350	0.015	0.052	0.111	0.18	0.063					0.08
Total	107	539										
\bar{X}			1.05	1.34	2	2.85	0.939					1.63
CV (%)			11.6	17	16.6	14.9	26.8					17.7

* ó ** = significativo al 5 ó 1%. F.V.= fuente de variación; G.L.= grados de libertad, L= localidades; R (L)= repeticiones dentro de L; C= cultivares; L x C= interacción cultivares x localidades; C.V.= coeficiente de variación.

Cuadro 4. Comparación de medias entre cultivares de haba (Tukey, $p=0.01$).**Table 4. Comparison of means between bean cultivars (Tukey, $p=0.01$).**

Cultivares	L1(SD)		L2(SL)		L3(BG)		L4(SNG)		L5(LB)		Combinado	
1	1.38	gbc	1.11	c-i	3.1	a-f	2.52	e-l	1.24	a-e	1.87	c-f
2	0.88	e-j	0.64	ghi	3.33	a-e	4.74	abc	0.94	a-f	2.11	bcd
3	0.79	g-j	1.12	c-i	2.16	e-k	2.36	f-l	1.53	ab	1.59	e-i
4	1.34	gcd	1.24	b-h	2.96	a-f	3.94	cde	1.17	a-f	2.13	bcd
5	0.94	c-j	0.75	ghi	3.9	a	4.3	bcd	1.27	a-e	2.23	abc
6	0.71	ij	1.76	a-d	0.82	l-p	6	a	1.81	a	2.22	abc
7	1.21	b-g	1.19	b-h	3.56	abc	4.73	abc	1.11	a-f	2.36	ab
8	0.89	d-j	1.21	b-h	4.16	a	1.67	h-l	0.93	a-f	1.77	c-gh
9	1.4	ab	0.97	d-i	3.23	a-f	1.45	i-l	1.34	a-d	1.68	d-h
10	1.19	b-h	2.3	a	0.37	op	2.71	e-k	0.95	a-f	1.5	f-k
11	1.19	b-h	1.18	b-h	1.1	k-p	2.82	d-k	0.69	b-f	1.4	g-k
12	0.99	b-j	1.21	b-h	1.33	i-p	3.61	c-f	0.49	c-f	1.52	f-j
13	1.01	b-j	0.96	d-i	1.76	g-n	3.48	c-g	0.44	def	1.53	f-j
14	1.82	a	1.93	abc	1.46	h-p	3.17	c-h	0.79	b-f	1.83	c-g
15	0.75	hij	1.61	a-e	1.6	h-o	1.7	h-l	0.44	def	1.22	ijk
16	1.05	b-j	1.46	a-f	0.86	l-p	2.83	d-k	0.56	c-f	1.35	h-k
17	1.01	b-j	2.23	a	2	f-l	1.99	g-l	0.58	c-f	1.56	f-j
18	0.98	b-j	1.92	abc	0.99	k-p	2.76	d-k	0.36	ef	1.4	g-k
19	1.19	b-h	1.98	ab	0.65	m-p	1.48	i-l	0.6	c-f	1.18	ijk

Medias con las misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente; la = índice ambiental. Los códigos para cultivares y localidades fueron definidos en las Cuadro 2 y 1, respectivamente.

Cuadro 4. Comparación de medias entre cultivares de haba (Tukey, $p=0.01$) (Continuación).
Table 4. Comparison of means between bean cultivars (Tukey, $p=0.01$) (Continuation).

Cultivares	L1(SD)		L2(SL)		L3(BG)		L4(SNG)		L5(LB)		Combinado	
20	1.07	b-j	1.61	a-e	2.53	c-i	2.74	d-k	1.18	a-e	1.83	c-g
21	1.25	b-f	1.91	abc	0.92	l-p	2.75	d-k	0.9	a-f	1.54	f-j
22	1.27	b-e	1.92	abc	1.8	g-m	2.95	d-j	0.81	b-f	1.75	d-h
23	1.02	b-j	1.02	d-i	1	k-p	3.58	c-f	1.19	a-e	1.56	f-j
24	0.69	j	1.57	a-f	2.36	c-j	3	d-i	1.03	a-f	1.73	d-h
25	1.14	b-j	0.92	d-i	2	f-l	1.04	l	1.82	a	1.38	g-k
26	1.17	b-i	0.92	d-i	3.8	ab	5.85	ab	1.33	a-d	2.61	a
27	0.91	d-j	1.71	a-d	2.6	b-h	2.68	e-k	0.61	b-f	1.7	d-h
28	1.19	b-h	0.72	ghi	3.43	a-d	3.38	c-g	0.93	a-f	1.93	b-f
29	0.93	d-j	1.26	b-h	2.2	d-k	1.62	h-l	1.41	abc	1.48	f-k
30	1.18	b-h	1.94	abc	3.23	a-f	3.46	c-g	0.43	def	2.05	b-e
31	0.9	d-j	0.33	i	0.72	m-p	0.98	l	0.24	f	0.63	l
32	0.81	f-j	1.71	a-d	0.28	p	1.41	jkl	1.39	abc	1.12	jk
33	0.93	c-j	1.14	b-i	1.23	j-p	1.96	g-l	0.53	c-f	1.16	ijk
34	0.77	g-j	1.31	b-h	2.93	a-g	2.35	f-l	1.11	a-f	1.69	d-h
35	0.96	b-j	0.84	e-i	1.2	j-p	1.34	kl	0.96	a-f	1.06	kl
36	0.86	e-j	0.57	hi	0.56	nop	3.14	d-h	0.52	c-f	1.13	jk
DMSH	0.45		0.84		1.23		1.57		0.93		0.12	
Media	1.05 d		1.34 c		2 b		2.85 a		0.93 d		1.63	
Ia	-0.58		-0.29		0.36		1.21		-0.69			

Medias con las misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente; Ia = índice ambiental. Los códigos para cultivares y localidades fueron definidos en las Cuadro 2 y 1, respectivamente.

Cuadro 5. Análisis de varianza, media aritmética y parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell (1966).
Table 5. Analysis of variance, arithmetic and stability parameters of Eberhart and Russell (1966).

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada
Total (trat)	179	204.804		
Genotipos (G)	35	29.452	0.841	10.5 **
Residual	144	175.352		
Ambientes (lineal)	1	90.832	90.832	50.18 **
Genotipo x ambiente (lineal)	35	37.314	1.066	2.439 ns
Desviación ponderada	108	47.205	0.437	
Cultivar	\bar{X}		Bi	s^2di
T1	1.87	0.86	ns	0.381**
T2	2.11	2.22	**	0.297**
T3	1.59	0.71	ns	0.143**
T4	2.13	1.54	**	0.067*
T5	2.23	1.97	ns	0.634**
T6	2.22	2.12	ns	2.459**
T7	2.36	2.06	**	0.161**
T8	1.77	0.8	ns	1.933**
T9	1.68	0.35	ns	0.914**
T10	1.5	0.54	ns	0.98**
T11	1.4	0.9	ns	0.178**
T12	1.52	1.42	ns	0.22**
T13	1.53	1.46	*	0.058*
T14	1.83	0.86	ns	0.345**

Cuadro 5. Análisis de varianza, media aritmética y parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell (1966) (Continuación).
Table 5. Analysis of variance, arithmetic and stability parameters of Eberhart and Russell (1966) (Continuation).

Fuentes de variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada
T15	1.22	0.56	ns	0.153**
T16	1.35	0.91	ns	0.32**
T17	1.56	0.59	ns	0.371**
T18	1.4	0.91	ns	0.443**
T19	1.18	0.12	ns	0.407**
T20	1.83	0.92	ns	0.046*
T21	1.54	0.69	ns	0.396**
T22	1.75	0.93	ns	0.097**
T23	1.56	1.18	ns	0.507**
T24	1.73	1.15	ns	0.05*
T25	1.38	-0.08	ns	0.285**
T26	2.61	2.61	**	0.371**
T27	1.7	1.08	ns	0.174**
T28	1.93	1.5	ns	0.52**
T29	1.48	0.34	ns	0.169**
T30	2.05	1.5	ns	0.303**
T31	0.63	0.26	ns	0.062*
T32	1.12	0.05	ns	0.406**
T33	1.16	0.62	ns	0.008ns
T34	1.69	0.91	ns	0.364**
T35	1.06	0.22	ns	-0.02ns
T36	1.13	1.17	ns	0.506**

La heterogeneidad entre localidades (Figura 1) se explica por las diferencias significativas que se observaron principalmente entre los mejores ambientes (SNG y BG) con los otros tres sitios (SL, SD y LB). Los rendimientos de grano promedio para LB, SD, SL, BG y SNG fueron de 0.93, 1.05, 1.34, 2 y 2.85 t ha⁻¹, con una media aritmética de 1.63 t ha⁻¹ (Cuadro 4). Este valor es similar al del estado de México (1.48 t ha⁻¹; Orozco *et al.*, 2013) y superior al nacional (0.66 t ha⁻¹; Pérez *et al.*, 2014). Al considerar la variabilidad fenotípica dentro de localidades se observó que en SNG y en BG se registraron las mayores producciones de grano (6 y 4.16 t ha⁻¹, respectivamente). Ambos valores son superiores a los obtenidos comercialmente en otras entidades mexicanas como Morelos, Sonora, Durango, Guanajuato y Veracruz (entre 1.48 y 3.42 t ha⁻¹; Pérez *et al.*, 2014). Karadavut *et al.* (2010) registraron rendimientos de grano entre 2.52 y 3.21 t ha⁻¹. Los resultados anteriores son similares a los observados por Orozco *et al.* (2013) y Pérez *et al.* (2014).

Rodríguez *et al.* (2015) y Franco *et al.* (2015) comentaron que las localidades que conforman el Valle de Toluca, en el estado de México, son muy heterogéneas y que una distancia

for LB, SD, SL, BG and SNG were 0.93, 1.05, 1.34, 2 and 2.85 t ha⁻¹, with an arithmetic mean of 1.63 t ha⁻¹ (Table 4). This value is similar to the state of Mexico (1.48 t ha⁻¹; Orozco *et al.*, 2013) and higher than the national (0.66 t ha⁻¹; Pérez *et al.*, 2014). In considering the phenotypic variability within localities it noted that SNG and the BG highest grain yields were recorded (6 and 4.16 t ha⁻¹, respectively). Both values are higher than those obtained commercially in other Mexican states like Morelos, Sonora, Durango, Guanajuato and Veracruz (between 1.48 and 3.42 t ha⁻¹; Pérez *et al.*, 2014). Karadavut *et al.* (2010) recorded grain yields between 2.52 and 3.21 t ha⁻¹. The above results are similar to those observed by Orozco *et al.* (2013) and Pérez *et al.* (2014).

Rodríguez *et al.* (2015) and Franco *et al.* (2015) commented that the places that make the Valle de Toluca, in the Estado de Mexico, are very heterogeneous and that an average of 20 km distance between two of them is sufficient to cause statistically significant environmental variability. In this study the greatest distance corresponded to the towns of SNG and SL, and is greater than 100 km.

promedio de 20 km entre dos de ellas es suficiente para originar variabilidad ambiental estadísticamente importante. En el presente estudio la mayor distancia correspondió a las localidades de SNG y SL, y es mayor a 100 km.

Al aplicar el método de Eberhart y Russell (1966), con la modificación de Carballo y Márquez (1970), se observó que sólo T27, colectado en Almoloya del Río, tuvo buena respuesta en todos los ambientes pero ésta fue inconsistente; su producción de grano (1.70 t ha^{-1}) fue ligeramente mayor a la media del estado de México (Pérez *et al.*, 2014) y varió en las cinco localidades desde 0.63 hasta 2.68 t ha^{-1} (Cuadro 4, 5 y 6). Este método ha sido muy utilizado pero también ha sido ampliamente criticado debido a la dependencia de los efectos ambientales de las variedades elegidas y la no linealidad de las respuestas de éstas al medio ambiente (Shukla, 1972). Sin embargo, Márquez (1991) señaló que esta metodología es de gran utilidad para determinar adaptabilidad y, por lo tanto, asociación genotipo x ambiente, al permitir la identificación y la recomendación de genotipos con la mejor respuesta a ambientes favorables y no favorables (González *et al.*, 2010).

Los cultivares identificados como T20, T31, T33 y T35 mostraron mejor respuesta y fueron consistentes en ambientes desfavorables ($b_i < 1$; $S^2_{di} = 0$); los sitios con índices ambientales negativos fueron LB, SD y SL. La media de este grupo fue de 1.17 t ha^{-1} pero T31 sólo produjo 0.63 t ha^{-1} ; este valor grupal es superior a la media nacional (0.66 t ha^{-1}) e inferior a los promedios del estado de México y mundial (1.48 y 2.06 t ha^{-1} , respectivamente; Pérez *et al.*, 2014).

Los cultivares T1, T3, T8, T9, T10, T11, T14, T15, T16, T17, T18, T19, T21, T22, T25, T29, T32, y T34 tuvieron mejor respuesta en ambientes desfavorables pero fueron inconsistentes; sus producciones de grano variaron de 1.12 a 1.87 t ha^{-1} . De acuerdo con Pérez *et al.* (2014) su media aritmética es superior a la nacional (0.66 t ha^{-1}), ligeramente mayor a la del estado de México (1.46 t ha^{-1}) e inferior a la mundial (2.06 t ha^{-1}). De éstos, los más sobresalientes fueron T1, T14, T8 y T22 (1.87 , 1.83 , 1.77 y 1.75 t ha^{-1} , respectivamente; Cuadro 4, 5 y 6).

El grupo formado por T4, T13, y T24 tuvieron una respuesta mejor en buenos ambientes y fueron consistentes ($b_i > 1$; $S^2_{di} = 0$). T4 (2.13 t ha^{-1}) fue el mejor pero la media grupal fue de 1.79 t ha^{-1} , superior a la nacional y del estado de México e inferior a la mundial (Cuadro 4, 5 y 6; Pérez *et al.*, 2014).

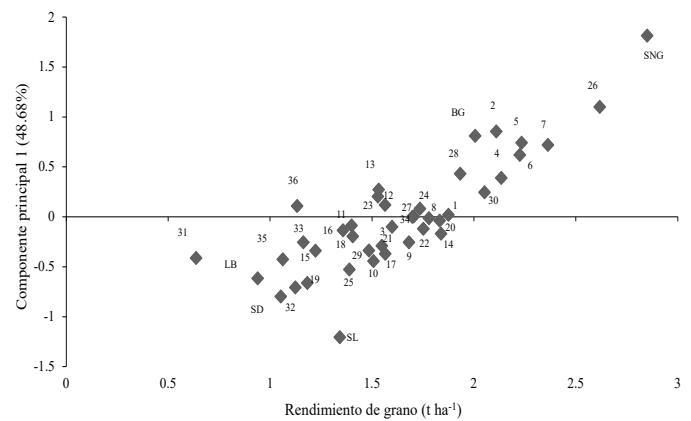


Figura 1. Rendimiento de grano para cultivares y para ambientes y su interrelación con el componente principal 1 del modelo AMMI (los códigos fueron definidos en las Cuadro 1, 3 y 4).

Figure 1. Grain yield for cultivars and environments and their interaction with the principal component 1 of AMMI model (the codes were defined in Table 1, 3 and 4).

By applying the method of Eberhart and Russell (1966), with the modification Carballo and Márquez (1970) found that only T27, collected in Almoloya del Río, had good response in all environments but this was inconsistent; production of grain (1.70 t ha^{-1}) was slightly higher than the average for the state of Mexico (Pérez *et al.*, 2014) and ranged in five locations from 0.63 to 2.68 t ha^{-1} (Table 4, 5 and 6). This method has been widely used but has also been widely criticized because of the dependence of the environmental effects of the varieties chosen and the nonlinearity of these responses to the environment (Shukla, 1972). However, Márquez (1991) noted that this methodology is useful to determine adaptability and, therefore, association genotype x environment, allowing identification and recommendation of genotypes with the best response to favorable environments and unfavorable (González *et al.*, 2010).

Cultivars identified as T20, T31, T33 and T35 showed better response and were consistent in unfavorable environments ($b_i < 1$; $S^2_{di} = 0$); sites with negative environmental indices were LB, SD and SL. The average of this group was 1.17 t ha^{-1} but T31 only produced 0.63 t ha^{-1} ; this group value is higher than the national average (0.66 t ha^{-1}) and lower than the averages of the state of Mexico and global (1.48 and 2.06 t ha^{-1} , respectively; Pérez *et al.*, 2014).

The cultivars T1, T3, T8, T9, T10, T11, T14, T15, T16, T17, T18, T19, T21, T22, T25, T29, T32, and T34 had better response in unfavorable environments but were inconsistent;

Cuadro 6. Clasificación de estabilidad con el modelo de Eberhart y Russell (1966) con la modificación propuesta por Carballo y Márquez (1970).

Table 6. Classification of stability with the model of Eberhart and Russell (1966) with the modification proposed by Carballo and Márquez (1970).

Categoría	bi	s ² di	Definición de estabilidad	Cultivares de haba
A	1	0	Estable	Sin integrantes
B	1	> 0	Buena respuesta en todos los ambientes pero inconsistente	T27
C	< 1	0	Mejor en ambientes desfavorables y consistente	T20, T31, T33, T35
D	< 1	> 0	Mejor en ambientes desfavorables pero inconsistente	T1, T3, T8, T9, T10, T11, T14, T15, T16, T17, T18, T19, T21, T22, T25, T29, T32, T34
E	> 1	0	Mejor en buenos ambientes y consistente	T4, T13, T24
F	> 1	> 0	Mejor en buenos ambientes pero inconsistente	T2, T5, T6, T7, T12, T23, T26, T28, T30, T36

Las colectas T2, T5, T6, T17, T12, T23, T26, T28, T30, T36 mostraron una respuesta mejor en buenos ambientes pero fueron inconsistentes; su media fue de 1.89 t ha⁻¹ pero T2, T4, T5, T6, T7, T26 y T30 rindieron de 2.05 a 2.61 t ha⁻¹, valores superiores a la media mundial (Pérez *et al.*, 2014). Estos resultados son muy similares a los de Al-Aysh (2013). De acuerdo con el modelo AMMI (Figura 2) los cultivares más estables fueron T20, T24 y T27, los más cercanos al origen.

Los resultados anteriores sugieren que la explotación de la adaptación específica debe recibir más atención como una propuesta para incrementar la diversidad y los rendimientos de grano del haba debido a que la inestabilidad del material genético dificulta identificación confiable en la región Central del Estado de México. Rodríguez *et al.* (2005), Crossa *et al.* (1990); Pérez *et al.* (2009); Annicchiarico y Iannucci (2008); Pérez *et al.* (2014) han destacado la situación anterior.

En la Figura 2 se detectó que los componentes principales 1 (48.68%) y 2 (40.61%) explicaron el 89.29% de la variación relacionada con ambientes (E), cultivares (C) y con su interacción (E x C). En este contexto la interpretación gráfica de las interrelaciones en el biplot son confiables (Annicchiarico y Iannucci, 2008; Tadesse y Abay, 2011; Abebe *et al.*, 2015). En el análisis de varianza combinado se puede observar que la contribución de A, C y A x C fue del 44.37, 14.36 y 41.27%, respectivamente. Estos resultados confirman el hecho de que la variabilidad genética que existe entre las habas que

their grain yields ranged from 1.12 to 1.87 t ha⁻¹. According to Pérez *et al.* (2014) the arithmetic mean is higher than the national (0.66 t ha⁻¹), slightly larger than the state of Mexico (1.46 t ha⁻¹) and lower than the world (2.06 t ha⁻¹). Of these, the most outstanding were T1, T14, T8 and T22 (1.87, 1.83, 1.77 and 1.75 t ha⁻¹, respectively; Table 4, 5 and 6).

The group formed by T4, T13, and T24 had a better response in good environments and were consistent (bi > 1; S²di = 0). T4 (2.13 t ha⁻¹) was the best but the group average was 1.79 t ha⁻¹, higher than the national and the state of Mexico and lower than the world (Table 4, 5 and 6; Pérez *et al.*, 2014).

The above results suggest that the exploitation of specific adaptation should receive more attention as a proposal to increase diversity and bean grain yields because the instability of the genetic material reliable identification difficult in the Central region of the Estado de Mexico. Rodríguez *et al.* (2005), Crossa *et al.* (1990); Pérez *et al.* (2009); Annicchiarico and Iannucci (2008); Pérez *et al.* (2014) have highlighted the previous situation.

In Figure 2 it was found that the main components 1 (48.68%) and 2 (40.61%) accounted 89.29% of the variation related environments (E), cultivars (C) and their interaction (E x C). In this context the graphical interpretation of the interrelationships in the biplot are reliable (Annicchiarico and Iannucci, 2008, Tadesse and Abay, 2011; Abebe *et al.*, 2015). In the combined variance analysis it can be seen that the contribution of A, C

se siembran en la región centro del estado de México está enmascarada por los efectos que originan las localidades y la interacción A x C. Como otros investigadores lo han señalado, la interacción genotipo x ambiente causa confusión en la estimación de parámetros genéticos, reduce la respuesta a la selección, y dificulta la identificación de genotipos superiores; no obstante, su análisis e interpretación correcta permite identificar mega-ambientes, detectar genotipos con adaptación específica o amplia, proponer estrategias de mejora vegetal adecuadas o generar, validar, aplicar y/o transferir tecnología (Márquez, 1992; Crossa, 1990; Rodríguez *et al.*, 2002; González *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2014).

En otras técnicas multivariadas se han recomendado valores mayores al 50 % para que las interrelaciones que se pueden detectar en los CP1 y CP2 sean confiables (Sánchez, 1995; González *et al.*, 2010; Reynoso *et al.*, 2014). González *et al.* (2010) concluyeron que la contribución del modelo AMMI a la variabilidad ocasionada por ambientes, genotipos y su interacción fue del 45.11, 48.40 y 6.48 %, respectivamente, cuando ellos evaluaron la estabilidad del rendimiento de maíces recomendables para siembra comercial en el Valle Toluca-Atlaconulco, México.

Conclusiones

Las diferencias altamente significativas que se observaron entre cultivares, entre localidades y en su interacción (IGA) sugieren que hay suficiente variabilidad genética para iniciar un nuevo programa de mejora vegetal, que los ambientes del centro del estado de México son heterogéneos y que la IGA significativa dificulta la identificación de cultivares estables. Estos resultados fueron confirmados al aplicar los modelos AMMI y de Eberhart y Russell con la modificación propuesta por Carballo y Márquez. Los mejores ambientes fueron San Nicolás Guadalupe y Barrio de Guadalupe, ubicados en los municipios mexiquenses de San Felipe del Progreso y Metepec. El rendimiento de grano en las cinco localidades varió de 0.24 a 6 t ha⁻¹. Aun cuando no hubo cultivares estables, los más sobresalientes fueron los identificados como T2, T4, T5, T6, T7, T26 y T30 (entre 2.05 y 2.61 t ha⁻¹), colectados en los municipios de Acambay, Jocotitlán, Zinacantepec y Metepec; con excepción de T4, que mostró mejor respuesta en buenos ambientes y fue consistente, T12, T23, T28 y T36 respondieron mejor a buenos ambientes pero fueron inconsistentes.

and A x C was 44.37, 14.36 and 41.27%, respectively. These results confirm the fact that genetic variability between beans that are grown in the central region of the state of Mexico is masked by the effects originating locations and interaction A x C. As other researchers have noted, genotype x environment interaction causes confusion in the estimation of genetic parameters, reduces the response to selection, and difficult to identify superior genotypes; however, analysis and proper interpretation identifies mega-environments, detect genotypes with specific or broad adaptation, propose strategies appropriate or generate, validate, apply and/or transfer technology (Márquez, 1992; Crossa, 1990; Rodríguez *et al.*, 2002; González *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2014).

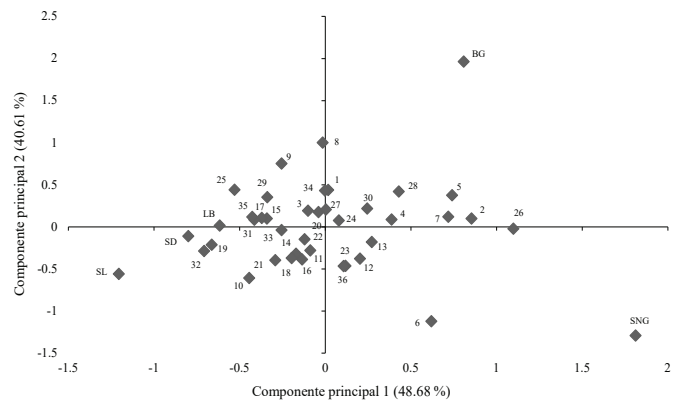


Figura 2. Biplot para los componentes principales 1 y 2 del modelo AMMI.

Figure 2. Biplot for 1 and 2 main components of AMMI model.

In other multivariate techniques have been recommended values greater than 50% for the interrelationships that can be detected in the CP1 and CP2 are reliable (Sánchez, 1995; González *et al.*, 2010; Reynoso *et al.*, 2014). González *et al.* (2010) concluded that the contribution of AMMI model variability caused by environments, genotypes and their interaction was 45.11, 48.40 and 6.48%, respectively, when they evaluated the stability of the performance of corns recommended for commercial planting in Valle de Toluca-Atlaconulco, Mexico.

Conclusions

The highly significant differences were observed among cultivars, between localities and their interaction (IGA) suggest that there is enough genetic variability to start a new program of plant breeding, the center environments state of Mexico are heterogeneous and significant IGA difficult to

Literatura citada

- Abebe, T.; Nega, Y.; Mehari, M.; Mesele, A.; Workineh, A. and Beyene, H. 2015. Genotype by environment interaction of some faba bean genotypes under diverse broomrape environments of Tigray, Ethiopia. *J. Plant Breed. Crop Sci.* 7(3):79-86.
- Al-Aysh, F. M. 2013. Analysis of performance, genotype- environment interaction and phenotypic stability for seed yield and components in faba bean (*Vicia faba* L.) populations. *Jordan J. Agric. Sci.* 9(1):43-51.
- Annicchiario, P. 1997. Additive main effects and multiplicative interaction (AMMI) analysis of genotype-location interaction in variety trials repeated over years. *Theor. Appl. Gen.* 94:1072-1077.
- Annicchiario, P. and Iannucci, A. 2008. Breeding strategy for bean in southern Europe based on cultivar responses across climatically contrasting environments. *Crop Sci.* 48:983-991.
- Carballo, C. A. y Márquez, S. F. 1970. Comparación de variedades de maíz del Bajío y la mesa central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia* 5:129-146.
- Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multilocations trials. *Adv. Agron.* 44:55-85.
- Crossa, J.; Gauch, H. G. and Zobel, R. W. 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30:493-500.
- Eberhart, S. A. and Russell, W. A. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sci.* 6:36-40.
- Flores, F.; Hybl, M.; Knudsen, J. C.; Margot, P.; Muele, F.; Nadal, S.; Narits, L.; Raffiot, B.; Sass, O.; Solis, I.; Winkler, J. L.; Stoddard, F. L. and Rubiales, D. 2013. Adaptation of spring faba bean types across European climates. *Field Crops Res.* 145:1-9.
- Franco, M. J. R. P.; González, H. A.; Pérez, L. D. J. y González, R. M. 2015. Caracterización fenotípica de híbridos y variedades de maíz forrajero en Valles Altos del Estado de México, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(8):1915-1927.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía (ING)- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D. F. 246 p.
- Gauch, H. G. 2006. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science* 46:1488-1500.
- Gauch, H. G.; Piepho, P.; Annicchiarico, P. 2008. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE: further considerations. *Crop Science* 48:866-889.
- González, H. A.; Vázquez, G. L. M.; Sahagún, C. J. y Rodríguez, P. J. E. 2008. Diversidad fenotípica de variedades e híbridos de maíz en el Valle Toluca-Atzacomulco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(1):67-76.
- González, H. A.; Pérez, L. D. J.; Sahagún, C. J.; Franco, M. O.; Morales, R. E. J.; Rubí, A. M.; Gutiérrez, R. F. y Balbuena, M. A. 2010. Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del Valle Toluca - Atzacomulco, México. *Agron. Costarric.* 34(2):129-143.
- Karadavut, U.; Palta, C.; Kavurmaci, Z. and Bölek, Y. 2010. Some grain yield parameters of multi-environmental trials in faba bean (*Vicia faba*) genotypes. *Int. J. Agric. Biol.* 12(2):217-220.
- Márquez, S. F. 1991. Genotecnía vegetal. Métodos, teoría, resultados. AGT Editor, México, D. F. 177-198 pp.
- identify stable cultivars. These results were confirmed by applying the AMMI model and Eberhart and Russell with the modifications proposed by Carballo and Marquez. The best environment were San Nicolas Guadalupe and Barrio de Guadalupe, located in the State of Mexico municipalities of San Felipe del Progreso and Metepec. Grain yield in five locations ranged from 0.24 to 6 t ha⁻¹. Although there was no stable cultivars, the most outstanding were identified as T2, T4, T5, T6, T7, T26 and T30 (between 2.05 and 2.61 t ha⁻¹), collected in the municipalities of Acambay, Jocotitlan, Zinacantepec and Metepec; except T4, which showed better response in good environments and was consistent, T12, T23, T28 and T36 responded better to good environments but were inconsistent.

End of the English version



- Márquez, S. F. 1992. La interacción genético-ambiental en genotecnía vegetal. *In: Menorias del Simposio interacción genotipo-ambiente en genotecnía vegetal.* 26 y 27 de marzo. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Guadalajara, Jalisco. 1-27 pp.
- Mastache, L. A. A. y Martínez, G. A. 1998. Un algoritmo computacional para obtener los indicadores de estabilidad de Eberhart y Russell. *Serie Comunicaciones en Socio economía, Estadística e Informática. Talleres Gráficos del Colegio de Posgraduados, México.* 30 p.
- Mulusew, F.; Tadele, T. and Tesfaye, L. 2008. Genotype-environment interactions and stability parameters for grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes grown in southeastern Ethiopia. *International J. Sustain. Crop Prod.* 3(6):80-87.
- Orozco, C. N.; Pérez, L. D. J.; González, H. A.; Franco, M. O.; Gutiérrez, R. F.; Rubí, A. M.; Castañeda, V. Á. y Balbuena, M. A. 2013. Identificación de poblaciones sobresalientes de haba colectadas en el Estado de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4(6):921-932.
- Pérez, L. D. J.; Vázquez, G. L. M.; Sahagún, C. J. y Rivera, P. A. 2007. Estabilidad del rendimiento de genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Rev. Fitotec. Mex.* 30(3):279-284.
- Pérez, D. J.; González, A.; Sahagún, J.; Vázquez, L. M.; Rivera, A.; Franco, O. and Domínguez, A. 2009. The identification of outstanding potato cultivars using multivariate methods. *Cien. Invest. Agr.* 36(3):391-400.
- Pérez, L. D. J.; González, H. A.; Franco, M. O.; Rubí, A. M.; Ramírez, D. J. F.; Castañeda, V. A. y Aquino, M. J. G. 2014. Aplicación de métodos multivariados para identificar cultivares sobresalientes de haba para el Estado de México, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(2):265-278.
- Pérez, L. D. J.; González, H. A.; Rubí, A. M.; Franco, M. O.; Franco, M. J. R. P. y Padilla, L. A. 2015. Análisis de 35 cultivares de haba por su producción de vaina verde y otros componentes del rendimiento. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(7): 1601-1613.
- Reynoso, Q. C. A.; González, H. A.; Pérez, L. D. J.; Franco, M. O.; Torres, F. J. L.; Velázquez, C. G. A.; Breton, L. C.; Balbuena, M. A. y Mercado, V. O. 2014. Análisis de 17 híbridos de maíz sembrados en 17 ambientes de los Valles Altos del Centro de México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(5): 871-882.

- Rodríguez, F. I.; González, H. A.; Pérez, L. D. J. y Rubí, A. M. 2015. Efecto de cinco densidades de población en ocho cultivares de maíz sembrado en tres localidades del Valle de Toluca, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(8): 1943-1955.
- Rodríguez, P. J. E.; Sahagún, C. J., Villaseñor, M. H. E.; Molina, G. J. D. y Martínez, G. A. 2002. Estabilidad de siete variedades comerciales de trigo (*Triticum aestivum* L.) de temporal. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(2):43-51.
- Rodríguez, P. J. E.; Sahagún, C. J.; Villaseñor, M. H. E.; Molina, G. J. D. y Martínez, G. A. 2005. La interacción genotipo x ambiente en la caracterización de áreas temporales de producción de trigo. *Agrociencia.* 39:51-64.
- Sánchez, G. J. J. 1995. El análisis biplot en clasificación. *Rev. Fitotec. Mex.* 18:188-203.
- SEMARNAT. 2006. Programa de ordenamiento ecológico del Municipio de Villa de Allende, México. Gobierno del Estado de México. http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos%20decretados/caracterizacion_villa_allende.pdf
- Shukla, G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity.* 29:237-245.
- Tadesse, H. y Abay, F. 2011. Additive main effects and multiplicative interactions analysis of yield performance of sesame genotypes environments in northern Ethiopia. *J. Drylands* 4(1):259-266.
- Temesgen, T.; Gemechu, K.; Tadesse, S. and Mussa, J. 2015. Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *Crop J.* 3:258-268.
- Vargas, H. M. and Crossa, J. 2000. The AMMI analysis and graphing the biplot. Biometrics and Statistics Unit, CIMMYT, México. 39 p.
- Yahia, Y. Guetat, A.; Elfalleh, W.; Ferchichi, A.; Yahia, H. and Loumerem, M. 2012. Analysis of agromorphological diversity of southern Tunisia faba bean (*Vicia faba* L.) germplasm. *Afr. J. Biotechnol.* 11(56):11913-11924.
- Yan, W. and Kang, M. 2003. GGEbiplot analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press LLC. Boca Raton, Fl. USA. 276 p.
- Zobel, W.; Wright, M. and Gauch, H. G. 1988. Statistical Analysis of a Yield Trial. *Agron. J.* 88:388-393.