

Aplicación de métodos multivariados para identificar cultivares sobresalientes de haba para el Estado de México, México*

Application of multivariate methods to identify outstanding broad bean cultivars for the State of Mexico, Mexico

Delfina de Jesús Pérez López¹, Andrés González Huerta^{1§}, Omar Franco Mora¹, Martín Rubí Arriaga¹, José Francisco Ramírez Dávila¹, Álvaro Castañeda Vildózola¹ y Jesús Gaudencio Aquino Martínez²

¹Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Fitomejoramiento, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Piedras Blancas, Municipio de Toluca, Estado de México. A. P. 435. Tel. y Fax. 01 (722) 2965518. Ext. 148. (djperezl@uaemex.mx; ofrancom@uaemex.mx; m_rubi65@yahoo.com.mx; jframirez@uaemex.mx; acastanedav@uaemex.mx). ²Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), Laboratorio de Fitopatología. Conjunto SEDAGRO s/n. Metepec, Estado de México, México. C. P. 52140. Tel. 01 (722) 2322116. (jg_aquino@hotmail.com). [§]Autor para correspondencia: agonzalez@uaemex.mx.

Resumen

La aplicación de técnicas multivariadas al estudio de las interrelaciones entre cultivares, ambientes, variables o sus interacciones es una herramienta valiosa para la identificación de material genético sobresaliente. Este estudio se realizó en el ciclo primavera-verano de 2011 en San Nicolás Guadalupe (SF), San Mateo Otzacatipan (MO) y Metepec (M), Estado de México, con el objetivo principal de analizar las interrelaciones entre 36 cultivares de haba (*Vicia faba* L.), tres localidades, y 12 variables. Se utilizaron el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (Modelo AMMI) y los análisis de componentes principales y de conglomerados. Las tres metodologías permitieron identificar cultivares, ambientes y variables sobresalientes. SF y M fueron las mejores localidades para la evaluación del material genético. Los cultivares identificados como 1, 5, 7 y 36 fueron superiores en peso total de semilla, número de vainas por planta, peso de vaina por planta, número de semillas por planta, peso de 100 semillas, peso de semilla limpia, número de semillas limpias y número de semillas por vaina; éstas podrían emplearse en un programa de fitomejoramiento, en la generación de tecnología, en el incremento o intercambio de semilla por parte de los agricultores que los siembran o usarse en siembra comercial en la región centro del Estado de México, México.

Abstract

The application of multivariate techniques to study the interrelationships between cultivars, environments, variables or their interactions is a valuable tool for identifying outstanding genetic material. This study was conducted in the spring - summer 2011 in San Nicolás Guadalupe (SF), San Mateo Otzacatipan (MO) and Toluca (M), State of Mexico, with the main objective of analyzing the interrelationships between 36 cultivars of broad bean (*Vicia faba* L.), three locations, and 12 variables. We used the model of additive main effects and multiplicative interaction (AMMI model) and principal component analysis and cluster analysis. The three methods allowed to identify cultivars, environments and salient variables. SF and M were the best seats for the evaluation of genetic material. Cultivars identified as 1, 5, 7 and 36 were superior in the total weight of seed pods per plant, weight of pod per plant, number of seeds per plant, weight of 100 seeds, clean seed weight, seed number clean and number of seeds per pod, they could be used in a breeding program in technology generation, in increasing or seed exchange by farmers who planted or used in commercial planting in the Central State of Mexico, Mexico.

* Recibido: marzo de 2013
Aceptado: diciembre de 2013

Palabras clave: *Vicia faba* L., análisis de componentes principales, análisis de conglomerados, modelo AMMI, Valles Altos del Centro de México.

Key words: *Vicia faba* L., principal component analysis, cluster analysis, AMMI model, High Valley of Central Mexico.

Introducción

La identificación de cultivares sobresalientes en la agricultura y en la ganadería es de gran importancia por sus implicaciones sobre nuevos programas de fitomejoramiento, en la generación de tecnología eficiente, en la producción de mejor semilla certificada, en la recomendación en siembra comercial, y particularmente, en la propuesta de su adecuado aprovechamiento integral. El haba (*Vicia faba* L.) es la séptima leguminosa de grano más importante en el mundo y se consume en vaina verde y como grano seco; en esta última condición ha tenido un mercado importante en los países industrializados donde es empleada para consumo humano y animal.

El rendimiento mundial de grano seco promedio es de 2.06 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2012) pero en México sólo es de 0.66 t ha⁻¹; los rendimientos más altos se han obtenido en los estados de Morelos, Sonora, Durango, Guanajuato, Veracruz y México (de 1.48 a 3.42 t ha⁻¹) (SIAP, 2012). En la Mesa Central de México se reportan dos grupos botánicos: la mayor y la equina; la primera predomina ampliamente y corresponde a las variedades con semilla grande o mediana (Pérez y González, 2003; Rojas *et al.*, 2012).

El haba era un cultivo de alternativa en los Valles Altos del Centro de México, donde casi 90% de la superficie sembrada con esta leguminosa se establece en condiciones de secano o temporal, en altitudes entre 1 800 y 3 000 m. No obstante lo anterior, en la actualidad su cultivo ha recibido mayor atención debido a que tolera bajas temperaturas y además se asocia con otras especies como maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), dos de los principales granos empleados en la alimentación de los mexicanos(as); por su habilidad para fijar nitrógeno atmosférico el haba puede crecer en zonas marginales, bajo diferentes condiciones de fertilidad y humedad (Pérez y González, 2003; Kalia y Sood, 2004; Díaz *et al.*, 2008; Rojas *et al.*, 2012).

En la región centro de México los métodos multivariados, como el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (Modelo AMMI) y los análisis de componentes principales y de conglomerados que son aplicados en el presente estudio, han sido utilizados para estudiar las

Introduction

Identifying outstanding cultivars in agriculture and livestock is of great importance for its implications on new breeding programs, generating efficient technology in the best certified seed production in commercial planting recommendation, and particularly, in the proposed comprehensive adequate use. The broad bean (*Vicia faba* L.) is the seventh most important food grain legume in the world and consumed green pod and dry grain, in the latter condition has been an important market in industrialized countries where it is used for human consumption and animal.

The world of dry grain yield average is 2.06 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2012) but in Mexico is only 0.66 t ha⁻¹, the highest yields were obtained in the States of Morelos, Sonora, Durango, Guanajuato, Veracruz and Mexico (from 1.48 to 3.42 t ha⁻¹) (SIAP, 2012). In Mesa Central of Mexico reported two botanical groups: the largest and equine, the former predominates and corresponds to the large seeded varieties or median (Pérez and González, 2003; Rojas *et al.*, 2012).

The broad bean was an alternative crop in the Highlands of Central Mexico, where almost 90% of the area planted with this legume is set under rainfed conditions at elevations between 1 800 and 3 000 m. Nevertheless, at present the crop has received the most attention because it tolerates low temperatures and is associated with other species such as maize (*Zea mays* L.) and common beans (*Phaseolus vulgaris* L.), two of the main grains used in the Mexican diet, for their ability to fix atmospheric nitrogen the broad beans can grow in marginal areas under different fertility and moisture conditions (Pérez and González, 2003; Kalia and Sood, 2004; Díaz *et al.*, 2008; Rojas *et al.*, 2012).

In the central region of Mexico multivariate methods, such as the model of additive main effects and multiplicative interaction (AMMI model) and principal component analysis and cluster analysis are applied in this study have been used to study the interrelationships between cultivars

interrelaciones entre cultivares con ambientes (localidades, años o su interacción), con variables cuantitativas y con índices de estabilidad fenotípica; también se han empleado para hacer inferencias sobre el tipo de raza a la que pertenecen un grupo de cultivares, para estudiar los fenómenos de interacción genotipo x ambiente, o para generar tecnología agropecuaria y forestal, entre otros (Sánchez, 1995; Rodríguez *et al.*, 2002; González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008; Pérez *et al.*, 2009; González *et al.*, 2010).

Los ensayos de rendimiento en varios ambientes ayudan a identificar cultivares sobresalientes, con adaptación amplia o específica (Rodríguez *et al.*, 2002). Ésta situación favorece la conservación *in situ* del germoplasma, el intercambio o la compra y venta de semilla entre agricultores (González *et al.*, 2006). La variación genética existente en haba ha sido estudiada en el Mediterráneo por Suso *et al.* (1993) y Terzopoulos *et al.* (2003), pero en México existe poca información escrita sobre ensayos de rendimiento, variabilidad fenotípica, interacción G x A y estabilidad del rendimiento que permitan una adecuada identificación de mejor material genético (Pérez y González, 2003; Díaz *et al.*, 2008; Rojas *et al.*, 2012; Orozco *et al.*, 2013). En el contexto anterior, el objetivo principal del presente estudio fue aplicar tres técnicas multivariadas para identificar cultivares de haba sobresalientes para la región centro del Estado de México, México.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

Este estudio se realizó en el ciclo primavera-verano de 2011 en tres localidades del Estado de México, México (Cuadro 1): San Nicolás Guadalupe, municipio de San Felipe del Progreso (FP), San Mateo Oztzacatipan, municipio de Toluca (MO) y Rancho San Lorenzo, municipio de Metepec (M).

Cuadro 1. Descripción del área de estudio.

Table 1. Description of the study area.

Localidad	Municipio Mexiquense	Tipo de suelo	Altitud (msnm)	Ubicación geográfica		Precipitación (mm)	Temperatura media (°C)
				LN	LO		
San Nicolás Guadalupe	San Felipe del Progreso	Andosol	2 740	19°36'30"	100°01'44"	892	12.0
San Mateo Oztzacatipan	Toluca	Vertisol	2 605	19°20'07"	99°36'02"	1100	13.7
Rancho San Lorenzo	Metepec	Andosol	2 606	19°14'86"	99°35'24"	785	13.0

Fuente: García (1988); Orozco *et al.* (2013).

with environments (locations, years, or their interaction) with quantitative variables and phenotypic stability indices; also used to make inferences about the type of race they belong to a group of cultivars, to study the phenomena of G*E, or to generate agricultural and forestry technology, among others (Sánchez, 1995; Rodríguez *et al.*, 2002; González *et al.*, 2006; González *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008; Pérez *et al.* 2009; González *et al.*, 2010).

Yield testes in various environments helped to identify outstanding cultivars with broad or specific adaptation (Rodríguez *et al.*, 2002). This situation favors the *in situ* conservation of germplasm, exchange or buying and selling of seed among farmers (González *et al.*, 2006). The existing genetic variation had been studied in the Mediterranean by Suso *et al.* (1993) and Terzopoulos *et al.* (2003), but in Mexico there is little written information on yield testes, phenotypic variability, GxE interaction and yield stability to allow adequate identification of best genetic material (Pérez and González, 2003; Díaz *et al.*, 2008; Rojas *et al.*, 2012; Orozco *et al.*, 2013). Considering this, the main objective of this study was to apply three multivariate techniques to identify outstanding broad bean cultivars for the central region of the State of Mexico, Mexico.

Materials and methods

Description of the study area

This study was conducted in the spring-summer of 2011 at three locations in the State of Mexico, Mexico (Table 1): San Nicolas Guadalupe, municipality of San Felipe del Progreso (FP), San Mateo Oztzacatipan, municipality of Toluca (MO) and Rancho San Lorenzo, municipality of Metepec (M).

Estructura de los tratamientos

Se consideraron 32 cultivares proporcionados por agricultores del Valle Toluca-Atlacomulco, México, y cuatro variedades comerciales formadas por el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX, Cuadro 2).

Treatments structure

We considered 32 cultivars provided by farmers Atlacomulco, Toluca Valley, Mexico, and four commercial varieties formed by the Institute of Agricultural Research and Training, Aquaculture and Forestry of the State of Mexico (ICAMEX, Table 2).

Cuadro 2. Origen del material genético utilizado en el presente estudio.**Table 2. Origin of the genetic material used in the present study.**

Código	Agricultor- institución	Localidad-cultivar	Municipio Mexiquense
1 a 6 8, 9	Ángel Cisneros Hernández, Félix Peralta Rivera, Porfirio Alcántara Becerril, Palemón Becerril Landeros, Jorge Mateo Estrada, Porfirio Garfias Frías, Benjamín Álvarez Peña, Pedro Plata García	Pathé, Boshindo, Hondogu, Agua Limpia, San Pedro de los Metates, Pueblo Nuevo, Tixmadeje, Chanteje	Acambay
7	Carlos Berreneo González	Los Reyes	Jocotitlán
10 a 19 y 34	Hector Muciño Muciño, Encarnación Estrada González, Sebastián Matías Gómez, Roberto Hernández Torres, Tiburcio Sánchez Ortega, Carlos Zarza Torres, Encarnación Robles Trujillo, Edgar Colín Flores, Manuel Gutiérrez Navarrete, Moisés Cortez Gomora, Pedro Reyes Carmona	Santa María Nativitas, Santa María Nativitas, San Lorenzo Cuauhtenco, Calimaya, Calimaya, Zaragoza de Guadalupe, Zaragoza de Guadalupe, Zaragoza de Guadalupe, San Marcos de la Cruz, San Marcos de la Cruz, San Marcos de la Cruz	Calimaya
20	Roberto Muñoz Arriaga	Mexicaltzingo	Mexicaltzingo
21, 22, 24,25	Mateo Torres Gutiérrez, Teófilo Carrasco Onofre, Guillermo Guadarrama Sánchez, Jesús Martínez Antúnez	San Pedro Tlaltizapán, San Pedro Tlaltizapán, Santiago Tianguistenco, Santiago Tianguistenco	Santiago Tianguistenco
23 26,33 34	Ramón Martínez Cejudo Teodolfo Hernández Cipriano, Sara Lucía González Romero, Sara Lucía González Romero	Santa Cruz Atizapán Cacalomacon	Santa Cruz Atizapan Toluca
27 28 29 a 32	Eudoxia Ramírez Rincón Carlos Estrada Velazco ICAMEX	Santa Cruz Cuauhtenco Almoleya del Río San Isidro, Monarca, Diamante, San Pedro Tlaltizapan	Zinacantepec Almoleya del Río Metepec
36	Omar Franco Mora	Santa María Tlalmimilolpan	Lerma

Tamaño de la parcela y diseño experimental

La parcela constó de tres surcos de 4 x 0.80 m; el surco central fue la parcela útil (3.2 m²). Las semillas se distanciaron a 0.40 m. Los tres ensayos se establecieron en un diseño de

Plot size and experimental design

The plot consisted of three rows of 4 x 0.80 m; the central furrow was useful plot (3.2 m²). The seeds were distanced 0.40 m. All three trials were established on a complete block

bloques completos al azar con tres repeticiones por localidad. El análisis combinado de los datos se hizo como una serie de experimentos en espacio.

Manejo agronómico de los ensayos

La preparación del suelo en las tres localidades fue mecánica. La siembra se realizó el 28 (SF), el 18 (MO) y 20 de abril (M). La fertilización se hizo con 60 N- 60 P- 30 K, utilizando urea (46%), superfosfato de calcio triple (46%) y cloruro de potasio (60%). Los aporques se realizaron el 05 y 15 de julio (SF), y el 25 (M) y 26 de mayo (MO). El control de maleza fue manual. Para prevenir y controlar enfermedades en SF se aplicó dos veces Manzate (Mancozeb) y Cupravit mix (Oxicloruro de cobre + Mancozeb) en dosis de 1 kg ha⁻¹, en MO no se hizo ninguna aplicación y en M se aplicó cinco veces Manzate y Cupravit mix en dosis de 1 kg ha⁻¹ y Lannate 90 (Metamilo), Folimat (Ometoato) y Carioca (Clorpirifos etil) (1 L ha⁻¹). La cosecha se realizó en noviembre de 2011.

Variables registradas

Se eligieron 10 unidades de muestreo en la parcela útil y se consideró altura de planta (AP, medida en cm con una regla, desde la base hasta el ápice del tallo principal); número de ramas por planta (NR), número de nudos florales (NMF, determinado en su eje central), número de vainas por planta (NVP), peso de vainas por planta (PVP, se determinó en g con una báscula digital), número de semillas por vaina (NSV) y por planta (NSP), peso total de semilla por planta (PTS, g), número de semillas limpias por planta (NSL), pesos, en g, de semilla limpia por planta (PSL), de 100 semillas (P 100 S) y de semilla manchada por planta (PSM).

Análisis estadístico

Se hizo un análisis de varianza (individual y combinado) y los cuadrados medios fueron empleados para obtener los componentes de varianza y heredabilidad en sentido amplio, éste último considerado como un estimador de la variabilidad genética entre cultivares (González *et al.*, 2006). El PTS fue analizado con el modelo AMMI (Pérez *et al.*, 2009). El análisis se realizó con el SAS (Statistical Analysis System) (Vargas y Crossa, 2000). Las medias aritméticas de cada cultivar para las 12 variables fueron utilizados para obtener los análisis de componentes principales (ACP) y de conglomerados. Antes de obtener el biplot los datos fueron estandarizados y sometidos a la descomposición de valores singulares.

design with three replications per location. The combined analysis of the data was done as a series of experiments in space.

Agronomic management of the trials

Soil preparation in the three localities was mechanical. Sowing was done on 28 (SF), 18 (MO) and April 20 (M). Fertilization was done with 60 N-60 P- 30 K, using urea (46%), calcium triple superphosphate (46%) and potassium chloride (60%). The hilling were conducted on 05 and 15 July (SF), and 25 (M) and May 26 (MO). Weed control was manual. For preventing and controlling diseases in SF, Manzate was applied twice (Mancozeb) and Cupravit mix (copper oxychloride + Mancozeb) in doses of 1 kg ha⁻¹, MO not made any application and M was applied five times Manzate and Cupravit mix in doses of 1 kg ha⁻¹ and Lannate 90 (Metamilo), Folimat (Ometoate) and Carioca (Chlorpyrifos ethyl) (1 Lha⁻¹). The harvest took place in November 2011.

Variables recorded

Ten items were selected on the plot sampling was considered useful and plant height (AP, measured in cm with a ruler, from the base to the apex of the main stem), number of branches per plant (NR), number of flowering nodes (NMF, particularly in its central axis), number of pods per plant (NVP), weight of pods per plant (PVP, was determined in g with a digital scale), number of seeds per pod (NSV) and per plant (NSP), total weight of seed per plant (PTS, g), number of clean seeds per plant (NSL), weights, in grams, of clean seed per plant (PSL) of 100 seeds (P 100 S) and spotted seed per plant (PSM).

Statistical analysis

An analysis of variance (individual and combined) and mean squares were used to obtain the variance components and heritability in the broad sense, the latter considered as an estimator of genetic variability among cultivars (González *et al.*, 2006). The PTS was analyzed with the AMMI model (Pérez *et al.*, 2009). The analysis was performed using SAS (Statistical Analysis System) (Vargas and Crossa, 2000). The arithmetic of each cultivar for the 12 variables was used to obtain the principal components analysis (PCA) and cluster analysis. Before obtaining, the biplot data were standardized and subjected to singular value decomposition.

La estandarización se realizó al restar la columna de medias (variables) y posteriormente al dividir los elementos de cada columna por la raíz cuadrada de la suma de cuadrados de desviaciones. En el biplot se analiza la estructura de una matriz de datos (varianza y correlaciones) compuesta de unidades taxonómicas (cultivares), asignadas a las hileras, y los valores de las variables que los caracterizan, asignadas a las columnas. El biplot del ACP que se obtuvo con el SAS (Sánchez, 1995) reemplazó la necesidad de usar gráficas múltiples para cada variable y cuadros de correlación y permite determinar visualmente la existencia de patrones entre unidades taxonómicas, que variables separan los grupos definidos y qué relación existen entre las variables; su similitud se determina por la magnitud del ángulo que se forma entre parejas de vectores: un ángulo de 90° indica no correlación; un ángulo de 0 ó 180° indica correlación de 1 ó -1 , respectivamente.

En un mismo cuadrante del biplot puntos cercanos están correlacionados positiva y significativamente. El análisis de conglomerados correspondió al método de media aritmética no ponderada o método de ligamiento promedio; en éste se estima la distancia promedio para formar un agrupamiento (i, j) y se usan las distancias de todas las parejas de individuos en el cluster (ni, nj) y las distancias entre el grupo (i, j) y otro cluster H. Esta metodología une grupos con varianzas pequeñas y muestra poco sesgo hacia la producción de grupos con la misma varianza, y es la más simple de las técnicas multivariadas. El dendrograma también se obtuvo con el SAS. Las gráficas para el modelo AMMI y para el ACP se elaboraron en Microsoft Excel (González *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008; Pérez *et al.*, 2010).

Resultados y discusión

Los componentes de varianza (CV) se evalúan en términos de respuesta a la selección y el empleo del método de momentos, calculado con sus funciones lineales, permite estimar variabilidad genética (H^2) entre cultivares cuando se emplean los cuadrados medios del análisis de varianza individual o combinado (González *et al.*, 2006; Shimelis y Shringani, 2010). Esta metodología es la más simple y es un prerequisite importante para decidir si es posible emplear un diseño genético para efectuar una partición de la variabilidad genética en sus principales componentes: aditividad, dominancia y epistasis. En caracteres cuantitativos, como rendimiento de grano, es

The standardization is performed by subtracting the average column (variables) and later by dividing the elements of each column by the square root of the sum of squared deviations. In the Biplot we analyzed the structure of a data matrix (variance and correlations) composite taxonomic units (cultivars) assigned to the row, and the values of the variables that characterize them, assigned to the columns. The ACP biplot was obtained with the SAS (Sánchez, 1995) replaced the need for multiple graphs for each variable and correlation tables and allows visually determine the existence of patterns between taxonomic units, which separate the groups defined variables and what relationship exist between the variables, the similarity is determined by the magnitude of the angle formed between pairs of vectors: an angle of 90° indicates no correlation, an angle of 0 or 180° indicates correlation of 1 or -1 , respectively.

In the same quadrant of the biplot, near points are positively and significantly correlated. Cluster analysis corresponded to the method of arithmetic average or average linkage method, in which the average distance is estimated to form a cluster (i, j) are used and the distances of all pairs of individuals in the cluster (ni, nj) and the distances between the group (i, j) and another cluster H. This methodology linking groups with small variances and shows little bias to the production of groups with the same variance, and is the simplest of multivariate techniques. The dendrogram was also obtained with the SAS. The graphs for the AMMI model and the ACP were developed in Microsoft Excel (González *et al.*, 2007; González *et al.*, 2008; Pérez *et al.*, 2010).

Results and discussion

The components of variance (CV) were evaluated in terms of response to the selection and use of the method of moments, calculated with linear functions to estimate genetic variability (H^2) between cultivars when using the mean squares analysis of variance individually or combined (González *et al.*, 2006; Shimelis and Shringani, 2010). This method is the simplest and is an important prerequisite to decide if we can use a genetic design to affect a partition of genetic variability in their main components: additive, dominance and epistasis. In quantitative traits such as grain yield, it is desirable that the values of H^2 are higher than 50% (Susso and Cubero 1986; Filippetti and Ricciardi, 1988; Khare and Singh, 1991; Bakheit, 1992).

deseable que los valores de H^2 sean superiores al 50% (Suso y Cubero, 1986; Filippetti y Ricciardi, 1988; Khare y Singh, 1991; Bakheit, 1992).

En el presente estudio los valores de H^2 variaron de 79 a 99% (SF), de 52 a 95% (MO) y de 79 a 98% (M); con la información del análisis de varianza combinado estas estimaciones variaron de 51 a 90% (Cuadro 3). Estos resultados sugieren que existe variabilidad genética entre cultivares de haba que podría ser importante para nuevos programas de fitomejoramiento (Suso *et al.*, 1993; El-Zaher y Mustafa, 2007; Duc *et al.*, 2010; Yahia *et al.*, 2012). Para la región centro de México, específicamente para el Estado de México, ésta podría emplearse en la mejora de altura de planta (AP), ramas por planta (NR), nudos florales (NNF), vainas por planta (NVP), semillas por vaina (NSV), semillas por planta (NSP), semillas limpias (NSL), y en los pesos de vaina por planta (PVP), total de semilla (PTS), semilla limpia (PSL), de 100 semillas (P100S) y de semilla manchada (PSM). Éstos resultados también sugieren que es posible incrementar la producción de grano en esta leguminosa si se realiza selección directa para incrementar el rendimiento de grano por planta o si se practica selección indirecta para mejorar los componentes principales del grano y de la vaina, como NVP, NSP, NSV, NSP, NSL y P100S. Orozco *et al.* (2013) detectaron variabilidad fenotípica significativa en los 36 cultivares considerados en el presente estudio en estas 12 variables.

In the present study H^2 values ranged from 79 to 99% (SF), 52 to 95% (MO) and from 79 to 98% (M), with the information combined of ANOVA these estimates varied from 51 to 90% (Table 3). These results suggest that genetic variability exists among broad bean cultivars that could be important for new breeding programs (Suso *et al.*, 1993; El-Zaher and Mustafa, 2007; Duc *et al.*, 2010; Yahia *et al.*, 2012). For the central region of Mexico, specifically for the State of Mexico, it could be used for improving plant height (AP), branches per plant (NR), flowering nodes (NNF), pods per plant (NVP), seeds per sheath (NSV), plant seeds (NSP), clean seed (NSL) and sheath weights per plant (PVP), total seed (PTS), clean seed (PSL) of 100 seeds (P100S) and stained seed (PSM). These results also suggest that it is possible to increase grain production in this legume if performed direct into the selection for increased grain yield per plant or if practiced indirect selection to improve the main components of grain and pod, as NVP, NSP, NSV, NSP, NSL and P100S. Orozco *et al.* (2013) detected significant phenotypic variability in the 36 cultivars included in this study in these 12 variables.

The results of this study contrast with those of Alan and Geren (2007) and Suso and Cubero (1986), who estimated H^2 values below 50% in AP, number of stems, number of branches, NVP, NSV, NSP and P100S, but are similar to those

Cuadro 3. Componentes de varianza y heredabilidad (H^2) en sentido amplio en 12 variables evaluadas en 36 cultivares de haba. Análisis combinado de tres localidades del Estado de México, México.

Table 3. Components of variance and heritability (H^2) in 12 variables evaluated in 36 broad bean cultivars. Combined analysis of three locations in the State of Mexico, Mexico.

Variable	σ^2_G	σ^2_{GE}	σ^2_E	H^2 (%)
AP	0.0074	0.0046	0.0070	77.08
NR	0.1917	0.2789	0.273	60.87
NNF	1.1452	1.8574	0.8614	61.56
NVP	24.1896	17.6235	5.8403	78.76
PVP	278.7617	235.3204	106.018	75.74
NSV	0.024	0.0179	0.0402	69.97
NSP	95.9364	61.9703	22.5059	80.55
PTS	170.4986	119.7844	58.1987	78.60
NSL	97.2904	43.1555	14.3317	85.89
PSL	151.134	159.6298	47.8657	72.08
P100S	550.3703	36.6788	405.179	90.57
PSM	3.3936	6.6062	9.2786	51.21

σ^2_G = varianza entre cultivares; σ^2_{GA} = varianza de la interacción G x E; σ^2_E = varianza del error combinado. Altura de planta (AP); número de ramas (NR); número de nudos florales (NNF); número de vainas por planta (NVP); peso de vaina por planta (PVP); número de semillas por vaina (NSV); número de semillas por planta (NSP); peso total de semilla (PTS); número de semillas limpias (NSL); peso de semilla limpia (PSL); peso de 100 semillas (P100S) y peso de semilla manchada (PSM).

Los resultados del presente estudio contrastan con los de Alan y Geren (2007) y Suso y Cubero (1986), quienes estimaron valores de H^2 inferiores al 50% en AP, número de tallos, número de ramas, NVP, NSV, NSP y P100S, pero son similares a los de Filippeti y Ricciardi (1988), Khare y Singh (1991), y Bakheit (1992), quienes estimaron heredabilidades superiores al 50% en AP, NVP, NSP, PTS y P100S.

En PTS, el modelo AMMI fue útil para determinar las interrelaciones entre las tres localidades y los 36 cultivares de haba. Los componentes principales 1 (CP1) y 2 (CP2) explicaron 60 y 39% de la variación original. El CP1 se asoció negativamente con San Nicolás Guadalupe (SF) y positivamente con San Mateo Oztzacatipan (MO), mientras que la CP2 se determinó principalmente por Metepec (M); su dispersión en tres de los cuatro cuadrantes del biplot sugiere que estos ambientes son heterogéneos y estadísticamente diferentes. Aun cuando las tres localidades forman parte del Valle Toluca-Atacomulco, México, éstas difieren principalmente en altitud, tipo de suelo y precipitación pluvial (Cuadro 1; Figura 1).

El cultivo de haba en los Valles Altos del Centro de México es tolerante al frío y a la sequía pero es muy susceptible al exceso de humedad, específicamente en suelos Vertisol (Pérez y González, 2003; Díaz *et al.*, 2008; Rojas *et al.*, 2012). Lo anterior explica porque en el presente estudio las mejores localidades para la evaluación del material genético fueron SF y M (Figura 1); García (1988) y Orozco *et al.* (2013) refieren que en ambas predominan los suelos Andosol, con excelentes condiciones de drenaje, y se registran precipitaciones pluviales de 785 y 892 mm, respectivamente, mientras que en MO los suelos Vertisol y el exceso de agua durante el ciclo de cultivo (1 100 mm) contribuyen al desarrollo de enfermedades y a una disminución en las dimensiones de la vaina y en la producción de grano.

En el biplot de la Figura 1 también puede observarse que las diferencias causadas por la heterogeneidad entre localidades (L) fueron mayores que las originadas entre cultivares de haba (C) o por su interacción CxL. Orozco *et al.* (2013) observaron este tipo de diferencias significativas entre estas tres fuentes de variación en peso de semilla total y en otras 10 variables cuantitativas, y Annicchiarico y Iannucci (2008) llegaron a conclusiones similares en estudios efectuados en Europa con otro tipo de material genético.

Al analizar las interrelaciones entre cultivares y variables se observó que los componentes principales 1 (57.1%) y 2 (17.9%) explicaron 75% de la variación original (Figura

of Filippeti and Ricciardi (1988), Khare and Singh (1991) and Bakheit (1992) who estimated heritability of over 50% in AP, NVP, NSP, PTS and P100S.

In PTS, the AMMI model was useful in determining the relationships between the three locations and the 36 broad bean cultivars. The main components 1 (PC1) and 2 (PC2) explained 60 and 39% of the original variation. The PC1 was negatively associated with San Nicolás Guadalupe (SF) and positively with San Mateo Oztzacatipan (MO), while CP2 is determined mainly by Metepec (M) its dispersion in three of the four quadrants of the biplot suggests that these environments are heterogeneous and statistically different. While all three locations are part of Toluca Valley-Atacomulco, Mexico, differing primarily in elevation, soil type and rainfall (Table 1, Figure 1).

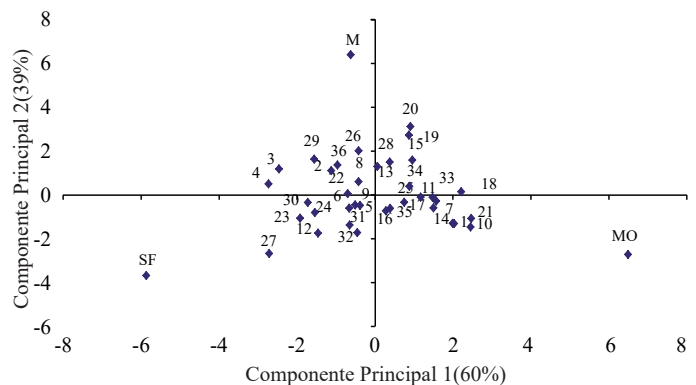


Figura 1. Modelo AMMI aplicado al estudio de las interrelaciones entre tres localidades (en letra) y 36 cultivares de haba (en número).

Figure 1. AMMI Model applied to the study of the interrelationships between three locations (in words) and 36 cultivars of broad bean (in number).

The broad bean crop in the Highlands of Central Mexico is cold tolerant and drought but is very susceptible to excess moisture, specifically in vertisol soils (Pérez and González, 2003; Díaz *et al.*, 2008; Rojas *et al.* 2012). This explains why in the present study the best locations for the assessment of genetic material were SF and M (Figure 1), García (1988) and Orozco *et al.* (2013) report that in both Andosol soils predominate, with excellent drainage, and recorded rainfall of 785 and 892 mm, respectively, while in MO Vertisol soils and excess water during the growing season (January 100 mm) contribute to the development of disease and a decrease in the dimensions of the sheath and in the production of grain.

In the biplot of Figure 1, it's also shown that, the differences caused by the heterogeneity among the sites (L) were higher than those originated between broad bean cultivars (C) or

2). Sánchez (1995), Pérez *et al.* (2009) y González *et al.* (2010) sugirieron que estos porcentajes son deseables para interpretar confiablemente las correlaciones aproximadas que se observan en el biplot. La dispersión de los 36 cultivares en los cuatro cuadrantes sugiere que hay variabilidad genética disponible para un programa de fitomejoramiento. Éstos resultados fueron confirmados anteriormente cuando se estimaron los componentes de varianza y heredabilidad en sentido amplio H^2 (Cuadro 3).

En el cuadrante 1 de la Figura 2 se localizaron 4 cultivares (1, 5, 7, y 36) con el mejor comportamiento agronómico en peso de 100 semillas (P100S), semillas por vaina (NSV), peso de semilla limpia (PSL), semillas limpias (NSL), peso de vaina por planta (PVP), semillas por planta (NSP), peso total de semilla (PTS) y vainas por planta (NVP); por la cercanía que presentan estas variables se infiere que su incremento, directo o indirecto podría originar un aumento en su producción de grano, debido a que están correlacionadas positiva y significativamente y, adicionalmente, sus valores de H^2 fueron superiores a 70% (Cuadro 3).

El gran número de flores producidas por cada nudo y, en consecuencia por cada planta, demuestra el alto potencial de producción que presentan las plantas pero éste no se expresa en la cosecha debido a la abscisión de elementos reproductivos, con valores entre 75 y 90% (Bianco, 1990); el peso de la semilla está determinado por el número de vainas comerciales, pero sólo una pequeña fracción de las flores logra este objetivo. Neal y Mcvetty (1983) concluyeron que el peso de semilla está determinado por el número de vainas, número semillas por vaina y el peso de 100 semillas y Terzopoulos *et al.* (2003) lo atribuyen al número de vainas por planta, número de óvulos y de semillas por vaina, o al número de ramas y peso por planta (De Costa *et al.*, 1997).

Los cultivares 1, 5, 7, y 36 fueron colectados en los municipios mexiquenses de Acambay, Jocotitlán y Lerma (Cuadro 2); éstos podrían emplearse en un nuevo programa de mejoramiento genético, de generación de tecnología, para el incremento e intercambio de semilla por parte de los agricultores que los siembran o para recomendación en siembra comercial en la región centro del Estado de México. Díaz *et al.* (2008) concluyeron que la sanidad, el tamaño y el color de la semilla son tres características muy importantes que consideran los agricultores para la selección de variedades criollas en el estado de Puebla, México.

by interaction CxL. Orozco *et al.* (2013) observed this type of significant differences between these three sources of variation in total seed weight and in 10 other quantitative variables and Annicchiarico and Iannucci (2008) reached similar conclusions in studies conducted in Europe with other genetic material.

By analyzing the relationships between variables and cultivars we observed that major component 1 (57.1%) and 2 (17.9%) explained 75% of the original rate (Figure 2). Sánchez (1995), Pérez *et al.* (2009) and González *et al.* (2010) suggested that these percentages are desirable to reliably interpret approximate correlations observed in the biplot. The dispersion of the 36 cultivars in the four quadrants suggests that there is genetic variability available for a breeding program. These results were confirmed earlier when estimating the variance components and broad-sense heritability H^2 (Table 3).

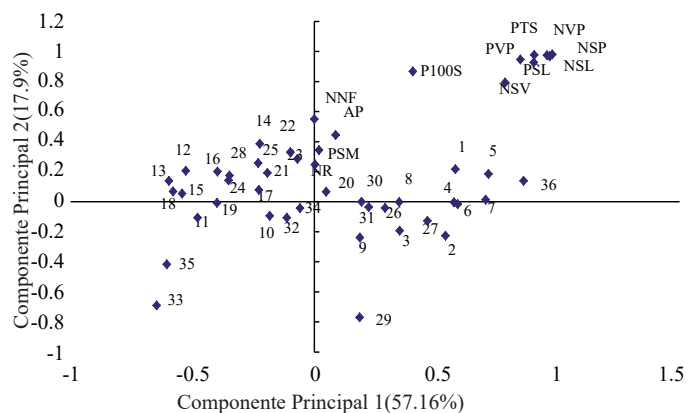


Figura 2. Interrelaciones entre 36 cultivares de haba (en número) y 12 variables agronómicas (en letra).
Figure 2. Interrelationships between 36 cultivars of broad bean (in number) and 12 agronomic variables (in words).

Quadrant 1 of Figure 2 was located 4 cultivars (1, 5, 7, and 36) to yield in 100 seed weight (P100S) seeds per pod (NSV), clean seed weight (PSL), clean seed (NSL), sheath weight per plant (PVP), plant seeds (NSP) total seed weight (PTS) and pods per plant (NVP) presented by the proximity of these variables it is inferred that the increase direct or indirect may cause an increase in grain yield, because they are positively and significantly correlated and, in addition, values of H^2 were higher than 70% (Table 3).

The large number of flowers produced by each node and consequently for each plant, demonstrates the high potential present production plants but it is not expressed

Nadal *et al.* (2004 a), Salih *et al.* (1993) y Mohammed *et al.* (2010) reportaron 11, de 30.2 a 31.3 y de 9.1 a 11.2 NVP, respectivamente. NVP depende de la distribución de la vaina sobre el tallo y puede ser principalmente basal, distribuida uniformemente a lo largo del tallo o terminal; también depende del número de vainas por nudo, que varía de uno a tres (Terzopoulos *et al.*, 2004) y está muy relacionada con la fecundación. Singh *et al.* (1987) indicaron que NVP influye favorablemente sobre el peso de la semilla. Orozco *et al.* (2013) concluyeron que en la población 36 (97.71 g), proveniente del municipio de Lerma, se registró el mayor PVP, seguida de 5 (86.73 g), 1 (83.46 g) y 7 (82.83 g). La población 7 (1.89) mostró el mayor número de semillas por vaina (NSV), seguida de 4 (1.84), 5 (1.81), 6 (1.81) y 8 (1.81).

Nadal *et al.* (2004 b) reportaron tres semillas por vaina. Pilbeam *et al.* (1992) mencionaron que el máximo rendimiento dependió del número de semillas por vaina. En NSP la población 36 (50.51) mostró la mayor cantidad, seguida de 6 (44.61), 7 (44.37), 5 (43.62), 1 (42.68), 2 (42.61) y 4 (42.54); ohammed *et al.* (2010) reportaron de 16.8 a 21.3 semillas por planta. En peso total de semilla por planta (PTS) sobresalieron los cultivares 36 (72.78 g), 5 (68.05 g), 7 (63.17 g), 1 (62.31 g) y 6 (61.02 g). El PTS es el resultado de diferentes etapas fenológicas de las plantas, las cuales están expresadas en el NVP, NSV, y PSL por planta; el mayor PST es obtenido cuando se maximizan estos componentes (Ayaz *et al.*, 2004).

Orozco *et al.* (2013) concluyeron que la población 36 (42.50) tuvo mayor número de semillas limpias (NSL), seguido de 7 (37.16), 5 (37.01), 4 (35.37) y 6 (35.32). Ésta característica determina la producción final de una planta y la calidad fitosanitaria de la semilla. En peso de semillas limpias (PSL) las poblaciones 5 (60.08 g), 7 (56.29 g), 1 (54.32 g), 6 (53.47 g), 2 (50.82 g), 4 (50.56 g) y 3 (48.79) fueron las más sobresalientes. En peso de 100 semillas (P100S) sobresalieron los cultivares 11 (201.20 g), 13 (202.04 g), 14 (201.52 g), 12 (197.06 g), 18 (196.73 g), 24 (198.75 g) y 28 (196.73); Salih *et al.* (1993) registraron valores de 57.8 g y Mohammed *et al.* (2010) de 30.0 a 39 g.

La contribución del número de ramas (NR), del peso de semilla manchada (PSM), de la altura de la planta (AP) y del número de nudos florales (NNF) fue menor que el de las ocho variables restantes, pero éstas también contribuyeron a un mayor peso total de semilla; aun cuando estas cuatro variables presentaron los menores valores de H^2 (Cuadro 3), el fitomejorador podría seleccionar indirectamente para mejorarlas, ya que éstas están correlacionadas positiva

in the crop due to abscission reproductive elements, with values between 75 and 90% (Bianco, 1990), the weight of the seed is determined by the number of commercial pods, but only a small fraction of flowers achieves this goal. Neal and McVetty (1983) concluded that, the number of pods determines seed weight, seeds per pod number and weight of 100 seeds and Terzopoulos *et al.* (2003) attribute this to the number of pods per plant, number of ovules and seeds per pod, or the weight and number of branches per plant (De Costa *et al.*, 1997).

Cultivars 1, 5, 7, and 36 were collected in the municipalities of Acambay, Jocotitlán and Lerma (Table 2), they could be used in a new breeding program, technology generation, to increase and exchange of seed by farmers who planted or recommendation commercial planting in the central state of Mexico. Díaz *et al.* (2008) concluded that the health, size and color of the seed are three very important characteristics that farmers consider the selection of landraces in the State of Puebla, Mexico.

Nadal *et al.* (2004), Salih *et al.* (1993) and Mohammed *et al.* (2010) reported 11 of 31.3 to 30.2 and from 9.1 to 11.2 NVP, respectively. NVP depends on the distribution of the sheath on the stem and may be mainly basal, evenly distributed along the stem or terminal, also depends on the number of pods per node, which varies from one to three (Terzopoulos *et al.*, 2004) and is closely related to fertilization. Singh *et al.* (1987) indicated that NVP favorably influences the weight of the seed. Orozco *et al.* (2013) concluded that population 36 (97.71 g), from the town of Lerma, had the highest PVP, followed by 5 (86.73 g), 1 (83.46 g) and 7 (82.83 g). 7 population (1.89) showed the greatest number of seeds per pod (NSV), followed by four (1.84), 5 (1.81), 6 (1.81) and 8 (1.81).

Nadal *et al.* (2004 b) reported three seeds per pod. Pilbeam *et al.* (1992) reported that the maximum yield depended on the number of seeds per pod. Population NSP 36 (50.51) showed the highest amount, followed by 6 (44.61) 7 (44.37), 5 (43.62), 1 (42.68), 2 (42.61) and 4 (42.54); Mohammed *et al.* (2010) reported 16.8 to 21.3 seeds per plant. Total seed weight per plant (PTS) outstanding the cultivars 36 (72.78 g), 5 (68.05 g), 7 (63.17 g), 1 (62.31 g) and 6 (61.02 g). PTS is the result of different stages phenological plants, which are expressed in the NVP, NSV and PSL per plant, the higher PST is obtained when these components are maximized (Ayaz *et al.*, 2004).

y significativamente; adicionalmente, el ángulo que se forma entre las 12 variables cuantitativas fue inferior a 90° (Sánchez, 1995).

Los cultivares sobresalientes en NF, PSM, AP y NNF fueron 20, 21, 22, 23 y 25, colectados en los municipios de Mexicaltzingo, Santa Cruz Atizapán y Santiago Tianguistenco (Figura 2). Mohammed *et al.* (2010) reportaron de 3.23 a 11.5 ramas. Los cultivares de haba presentan una gran cantidad de ramas improductivas; a medida que la planta se desarrolla las ramas se expanden y se alejan del eje central y terminan quebrándose cuando las vainas llegan a madurez fisiológica (Faiguenbaum, 2003). Suso *et al.* (1993) comentaron que AP permitió discriminar cultivares de diversas regiones geográficas. La AP depende del tamaño de la semilla; las plantas crecen más si se siembran semillas más grandes (Al-Reface *et al.*, 2004). La AP también depende del genotipo, del ambiente y de su interacción. Orozco *et al.* (2013) midieron esta variable en 36 cultivares y registraron promedios de 0.88 a 1.42 m.

En peso de semilla manchada (PSM) la población 22 (11.73 g) mostró el mayor promedio. El daño por enfermedades disminuye la calidad de la semilla y el productor no recupera su inversión. En 34 poblaciones hubo presencia de mancha de chocolate (*Botrytis fabae*, Sardina) y las menos afectadas fueron Monarca y 33 colectados en Metepec y Cacalomacán, aunque estas no produjeron el mayor peso de semilla. El estado de Puebla es el mayor productor de semilla y 93% de los campesinos consideran que la sanidad de semilla es el principal criterio en la selección, y 55% consideran importante la sanidad y el tamaño de la semilla (Díaz *et al.*, 2008). En otro estudio se concluyó que 50% de los productores prefieren semilla más grande y 40% semilla mediana, pero un mayor número de vainas y semillas por vaina, precocidad y resistencia a enfermedades también son necesarios (Rojas *et al.*, 2012).

En el dendograma de la Figura 3, al cortar a una distancia promedio entre conglomerados de 0.7, se identificaron cuatro grupos. En el grupo 1 se detectó a 1, 7, 5, 2, 27, 4, 6, 3, 8, 9, 26, 30, 31, y 36, colectados en los municipios de Acambay, Jicotitlán, Toluca, Zinacantepec, Metepec y Lerma; en el ACP se detectó que éstos fueron los más sobresaliente en PTS y en los principales componentes del rendimiento (Figura 2). En el grupo 3 sólo se identificó al cultivar 29, proveniente del municipio de Metepec y con el comportamiento agronómico más pobre en las 12 variables.

Orozco *et al.* (2013) concluded that the population 36 (42.50) had the most number of clean seeds (NSL), followed by 7 (37.16), 5 (37.01), 4 (35.37) and 6 (35.32). This feature determines the final production of quality plant and plant the seed. Clean seed weight (PSL) 5 populations (60.08 g), 7 (56.29 g), 1 (54.32 g), 6 (53.47 g), 2 (50.82 g), 4 (50.56 g) and 3 (48.79) were the most salient. Weight of 100 seeds (P100S) stood 11 cultivars (201.20 g), 13 (202.04 g), 14 (201.52 g), 12 (197.06 g), 18 (196.73 g), 24 (198.75 g) and 28 (196.73); Salih *et al.* (1993) reported values of 57.8 g and Mohammed *et al.* (2010) of 30.0 to 39 g.

The contribution of the branch number (NR) stained seed weight (PSM), the height of the plant (AP) and the number of flowering nodes (NNF) was lower than the remaining eight variables, but these also contributed to higher total weight of seed, even when these four variables had the lowest values of H^2 (Table 3), the breeder could select indirectly for improvement, as they are positively and significantly correlated, in addition, the angle formed between 12 quantitative variables was lower than 90° (Sánchez, 1995).

Outstanding cultivars of NF, PSM, AP and NNF were 20, 21, 22, 23 and 25, collected in the municipalities of Mexicaltzingo, Santa Cruz Atizapán and Santiago Tianguistenco (Figure 2). Mohammed *et al.* (2010) reported from 3.23 to 11.5 branches. Broad bean cultivars have many unproductive branches, as the plant grows and expands branches away from the central axis and end up breaking when pods reach physiological maturity (Faiguenbaum, 2003). Suso *et al.* (1993) commented that AP was able to discriminate cultivars of different geographic regions. The AP depends on the size of the seed plants grow if planted larger seeds (Al-Reface *et al.*, 2004). The AP also depends on the genotype, environment and their interaction. Orozco *et al.* (2013) measured this variable in 36 cultivars and recorded averages of 0.88 to 1.42 m.

In stained seed weight (PSM) population 22 (11.73 g) showed the highest average. Diseases damage decreases the quality of the seed and does not recover its investment producer. In 34 populations were present chocolate spot (*Botrytis fabae* Sardina) and the least affected were Monarch and 33 collected in Metepec and Cacalomacán, although these did not produce the highest seed weight. The State of Puebla is the largest producer of seed and 93% of farmers consider seed health as the main criterion in the selection, and 55% consider it important to health and seed size (Díaz *et al.*, 2008). Another study concluded that 50% of the largest

El grupo 4 sólo se conformó por los cultivares 33 y 35, colectados en el municipio de Toluca y con los promedios aritméticos más pequeños en la mayoría de las variables. En el grupo 2 se clasificaron los cultivares 10, 25, 21, 20, 22, 23, 14, 16, 28, 24, 17, 32, 34, 11, 12, 13, 18, 15, y 19, con un comportamiento agronómico promedio al de los otros tres grupos; en la Figura 2 puede confirmarse que algunos de éstos fueron sobresalientes en NR, PSM, AP, y NNF: su origen geográfico está relacionado con los municipios de Calimaya, Mexicaltzingo, Santa Cruz Atizapán, Santiago Tianguistenco, Almoloya del Río, y Metepec.

Con relación al origen geográfico del material genético, los resultados anteriores también sugieren que la dispersión e intercambio, así como la compra-venta de semilla de esta leguminosa ha tenido dos rutas principales en la región centro del Estado de México: a) de Toluca hacia Acambay, y b) de Santiago Tianguistenco hacia Calimaya.

Conclusiones

El modelo AMMI y los análisis de componentes principales y de conglomerados permitieron identificar cultivares, ambientes y variables sobresalientes. SF y M fueron las mejores localidades para la evaluación del material genético. Los cultivares identificados como 1, 5, 7 y 36 fueron superiores en peso total de semilla, número de vainas por planta, peso de vaina por planta, número de semillas por planta, peso de 100 semillas, peso de semilla limpia, número de semillas limpias y número de semillas por vaina; éstas podrían emplearse en un programa de fitomejoramiento, en la generación de tecnología, en el incremento o intercambio de semilla por parte de los agricultores que los siembran o usarse en siembra comercial en la región centro del Estado de México, México.

Literatura citada

- Annicchiarico, P. and A. Iannucci. 2008. Breeding strategy for bean in southern Europe based on cultivar responses across climatically contrasting environments. *Crop Sci.* 48:983-991.
- AL-Reface, M.; Turk, M. and Tawaha, A. 2004. Effect of seed size and plant population density of yield and yield components of local faba bean (*Vicia faba* L. Mayor). *Int. J. Agric. Biol.* 2:294-299.
- Ayaz, S.; McKenzie, B.; Hill, G. and Mcneil, D. 2004. Variability in yield of four grain legume species in a subhumid temperate environment. II. Yield components. *J. Agric. Sci.* 142: 21-28.

seed producers prefer and 40% seed medium, but a larger number of pods and seeds per pod, earliness and disease resistance are also needed (Rojas *et al.*, 2012).

In the dendrogram of Figure 3, when cutting at an average distance between clusters of 0.7, we identified four groups. In group 1 was detected at 1, 7, 5, 2, 27, 4, 6, 3, 8, 9, 26, 30, 31, and 36, collected in the municipalities of Acambay, Jocotitlán, Toluca, Zinacantepec, Metepec and Lerma, in the ACP was found that these were the most prominent in PTS and major yield components (Figure 2). In group 3, only cultivar 29 was identified, from the town of Metepec and agronomic performance was the poorest in the 12 variables.

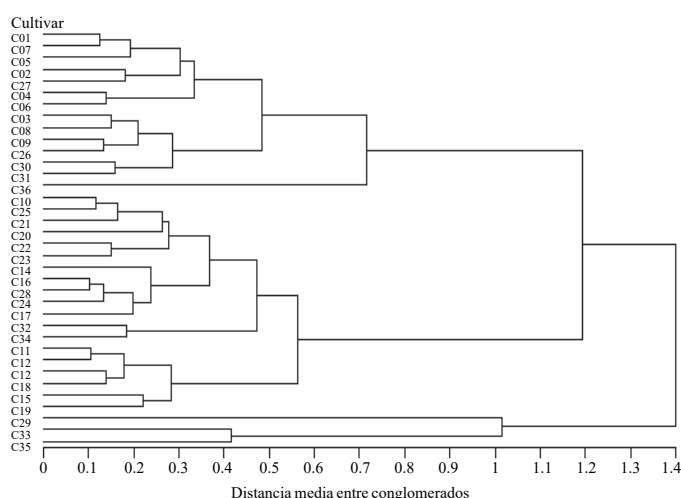


Figura 3. Agrupación de 36 cultivares de haba con base en 12 variables agronómicas. Método de media aritmética no ponderada (UPGMA Method).

Figure 3. Grouping of 36 broad bean cultivars based on 12 agronomic variables. Method of arithmetic average (UPGMA Method).

Group 4 was comprised of only 33 and 35 cultivars, collected in the municipality of Toluca and smaller arithmetic means in most variables. In group 2 cultivars were classified 10, 25, 21, 20, 22, 23, 14, 16, 28, 24, 17, 32, 34, 11, 12, 13, 18, 15, and 19, with an average agronomic behaving that of the other three groups in Figure 2 can be confirmed that some of these were outstanding in NR, PSM, AP, and NNF: its geographical origin is related to the municipalities of Calimaya, Mexicaltzingo, Santa Cruz Atizapán, Santiago Tianguistenco, Almoloya River, and Metepec.

With regard to the geographical origin of the genetic material, the results also suggest that the dispersion and exchange as well as the purchase and sale of seed of this

Bakheit, B. R. 1992. Shambat 104. A new faba bean cultivar for the Gezira, Sudan. *FABIS Newsletter* 30:20-22.

Bianco, V. 1990. Fava (*Vicia faba* L.). In: Bianco, V. and Pimpini, F. (Ed). *Orticultura*. Patron Editore, Bologna, Italia. 991 p.

De Costa, W. A.; Dennett, M. D.; Ratnaweera, U. and Nyalemegbe, K. 1997. Effects of different water regimes of field-grown determinate and indeterminate faba bean (*Vicia faba* L.). II. Yield, yield components and harvest index. *Field Crops Res.* 52:169-178.

Díaz, B. M.; Herrera, C. B. E.; Ramírez, J. J.; Aliphath, F. M. y Delgado, A. A. 2008. Conocimiento campesino en la selección de variedades de haba (*Vicia faba* L.) en la sierra norte de Puebla, México. *Interciencia* 33(8):610-615.

Duc, G.; Boa, S.; Baum, M.; Redden, B.; Sadiki, M.; Suso, M. J.; Vishniakova, M. and Zong, X. 2010. Diversity maintenance and use of *Vicia faba* L. genetic resources. *Field Crops Res.* 115:270-278.

El-Zaher, A. and Mustafa, M. A. 2007. Genetic variation among Egyptian cultivars of *Vicia faba* L. *Pakistan J. Biol. Sci.* 10(23):4204-4210.

Faiguenbaum, H. 2003. Haba. In: labranza, siembra y producción de los principales cultivos de Chile. Ediciones Vivaldi y Asociados, Santiago, Chile. 706 p.

Filippetti, A. and Ricciardi, L. 1988. Development of new determinate growth habit in *Vicia faba* L. Mayor. Analysis of cross between determinate mutant and autofertile line. *Genet. Agr.* 42:299-316.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía Universidad Autónoma de México (UNAM). México. 246 p.

González, H. A.; Sahagún, C. J.; Pérez, L. D. J.; Domínguez, L. A.; Serrato, C. R.; Landeros, F. V. y Dorantes, C. E. 2006. Diversidad fenotípica del maíz Cacahuacintle en el Valle de Toluca, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 29(3):255-261.

González, H. A.; Vázquez, G. L. M.; Sahagún, C. J.; Rodríguez, P. J. E. y Pérez, L. D. J. 2007. Rendimiento del maíz de temporal y su relación con la pudrición de mazorca. *Agric. Téc. Méx.* 33(1):33-42.

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-Atzacmulco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(01):67-76.

González, A.; Pérez, J. D.; Sahagún, O. J.; Franco, E. J.; Morales, M.; Rubí, F.; Gutiérrez, A. Balbuena, M. A. 2010. Aplicación y comparación de métodos univariados para evaluar la estabilidad en maíces del Valle Toluca-Atzacmulco, México. *Agronomía Costarricense*. 34(2):129-143.

Kalia, P. and Sood, S. 2004. Genetic variation association analyses for pod yield and other agronomic and quality characters in and Indian Himalayan collection of broad bean (*Vicia faba* L.). *J. Breed. Genetics* 36(2):55-61.

Khare, D. and Singh, C. B. 1991. Genetic behavior of yield and quality traits of *Vicia faba* L. *New Phytologist* 72:1293.

Mohammed, O. A. A.; Osman Y. S. and Awok, T. O. 2010. Performance of faba beans (*Vicia faba* L.) cultivars grown in new agro-ecological region of Sudan (Southern Sudan). *Australian J. Basic Appl. Sci.* 4(11):5516-5521.

Nadal, S.; Moreno, M. T. y Cubero, J. I. 2004a. Habas (*Vicia faba* L. In: Las leguminosas de grano en la agricultura moderna. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 318 p.

legume has had two major routes in the central State of Mexico: a) from Toluca to Acambay, b) from Santiago Tianguistenco to Calimaya.

Conclusions

The AMMI model and main component analysis and cluster analysis allowed the identification of cultivars, environments and salient variables. SF and M were the best seats for the evaluation of genetic material. Cultivars identified as 1, 5, 7 and 36 were superior in the total weight of seed pods per plant, weight of pod per plant, number of seeds per plant, weight of 100 seeds, clean seed weight, seed number clean and number of seeds per pod; these could be used in a breeding program, for technology generation, in increasing or seed exchange by farmers who planted or used in commercial planting in the Central State Mexico, Mexico.

End of the English version



Nadal, S.; Moreno, M. T. y Cubero, J. I. 2004b. Registration of "Retaca" Faba Bean. *Crop Sci.* 44:18-65.

Neal, J. R. and Mcvetty, P. B. E. 1983. Yield structure of faba bean (*Vicia faba* L.) grown in Monitoba. *Field Crops Res.* 8:349-360.

Orozco, C. N.; Pérez, L. D. J.; González, H. A.; Franco, M. O.; Gutiérrez, R. F.; Rubí, A. M. A.; Castañeda, V. A. y Balbuena, M. A. 2013. Identificación de poblaciones sobresalientes de haba colectadas en el Estado de México. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 4(6):921-932.

Pérez, L. D. J. y González, H. A. 2003. Cultivo y mejoramiento de haba. 1ª (Ed.). Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Toluca, Estado de México. 101 p.

Pérez, D. J.; González, J. A.; Sahagún, L. M.; Vázquez, G.; Rivera, O. A.; Franco, and A. Domínguez. 2009. The identification of outstanding potato cultivars using multivariate methods. *Ciencia e Investigación Agraria. J. Agric. Natural Res.* 36(3):391-400.

Pilbeam, C. J.; Aktase, J. K.; Hebblethwaite, P. D. and Wrigth, S. D. 1992. Yield production in two contrasting form of spring-sown faba bean in relation to water supply. *Field Crops Res.* 29:273-287.

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):143-151.

Rojas, T. J.; Díaz, R. R.; Álvarez, G. F.; Ocampo, M. J. y Escalante, E. A. 2012. Tecnología de producción de haba y características socioeconómicas de productores en Puebla y Tlaxcala. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 3(1):35-49.

Sánchez, G. J. J. 1995. El análisis biplot en clasificación. *Rev. Fitotec. Mex.* 18:188-203.

Salih, F. A.; Sarra, A. A. and Salih, H. S. 1993. Performance of faba bean genotypes in the Jabel Marra area. *Fabis Newsletter.* 33:37.

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Cierre de la producción agrícola por estado. <http://www.siap.gob.mx>.
- Singh, S. P.; Singh, N. P. and Pandey, R. K. 1987. Irrigation studies in faba bean. *Fabis Newsletter* 18:24-26.
- Statistical Analysis System (SAS). 1988. SAS/STAT User's Guide-Release 6.03 edition Cary, N. C.: SAS Institute Inc.1028 p.
- Suso, M. J. and Cubero, J. I. 1986. Primitive and modern forms of *Vicia faba* L.: differences concerning the quantitative inheritance of characters related to yield. *Kulturpflanze* 29 (Suppl.). 137-141.
- Suso, M. J.; Moreno, M. T. and Cubero, J. I. 1993. New isozyme markers in *Vicia Faba*: inheritance and linkage. *Plant Breed.* 40:105-111.
- Terzopoulos, P. J.; Kaltsikes P. J. and Bebeli. P. J. 2003. Collection, evaluation and classification of Greek populations of faba bean (*Vicia faba* L.). *Genetic Res. Crop Evol.* 50:375-381.
- Terzopoulos, P. J.; Kaltsikes, P. J. and Bebeli, P. J. 2004. Characterization of Greek populations of Faba bean (*Vicia faba* L.) and their evaluation using a new parameter. *Genetic Res. Crop Evol.* 51:655-667.
- Vargas, M. and Crossa, J. 2000. The AMMI analysis and graphing the biplot. Biometrics and Statistics Unit. CIMMYT, México. 39 p.
- Yahia, Y.; Guetat, W.; Elfalleh, A.; FeRchichi, A.; Yahia, H. and Loumerem, M. 2012. Analysis of agromorphological diversity of southern Tunisia faba bean (*Vicia faba* L.) germplasm. *African J. Biotechnol.* 11(56):11913-11924.