

Análisis de 35 cultivares de haba por su producción de vaina verde y otros componentes del rendimiento*

Analysis of 35 broad bean cultivars for its production of green pod and other yield components

Delfina de Jesús Pérez López, Andrés González Huerta[§], Martín Rubí Arriaga, Omar Franco Mora, José Ramón Pascual Franco Martínez y Araceli Padilla Lara

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, México. A. P. 435. Tel. y Fax: 01(722) 2965518. Ext. 148. (djperezl@uaemex.mx; mrubia@uaemex.mx; ofrancom@uaemex.mx; jrfrancom@uaemex.mx; apadillal@uaemex.mx). [§]Autor para correspondencia: agonzalezh@uaemex.mx.

Resumen

El cultivo de haba en los Valles Altos del Centro de México, para la producción en vaina verde o para seco, es importante para los habitantes de escasos recursos. Este estudio se hizo en otoño -invierno de 2011 en San Francisco Oxtotilpan y en primavera- verano de 2012 en San Nicolás Guadalupe y en San Diego, México, para evaluar 35 cultivares de haba en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones por localidad. En las 12 variables evaluadas se detectaron diferencias altamente significativas entre cultivares, entre localidades y en su interacción. En San Diego se registraron los mayores promedios en las características de la semilla, de la vaina, en índice de verdor, en foliolos por hoja y en rendimiento en verde (RV). Los cultivares con mayor RV fueron los identificados como 1, 2, 6, 7, 8, 20, 31, 32 y 35 (11.15 a 12.83 t ha⁻¹). Los componentes principales 1 (35 %) y 2 (21.7 %) explicaron el 56.7 % de la variación total original; número de vainas, peso de semilla por planta y tamaño de la semilla contribuyeron a un mayor RV y estas variables podrían emplearse en un programa de mejoramiento genético usándolas como criterio de selección indirecta para incrementar el rendimiento y los componentes del rendimiento en verde.

Abstract

Broad bean cultivation in Valles Altos from central Mexico, to produce green or dry pod, it is important for people of limited resources. This study was carried in autumn-winter 2011 in San Francisco Oxtotilpan and spring-summer 2012 in San Nicolas Guadalupe and in San Diego, Mexico, to evaluate 35 broad bean cultivars in a randomized complete block design with three replications per location. In the 12 evaluated variables highly significant differences among cultivars, between localities and in their interaction were detected. San Diego recorded the highest averages in the characteristics of the seed, pod, greenness index, in leaflets per leaf and green yield (RV). The cultivars with higher RV were identified as 1, 2, 6, 7, 8, 20, 31, 32 and 35 (11.15 to 12.83 t ha⁻¹). The main components 1 (35%) and 2 (21.7%) accounted for 56.7% of the original total variation; number of pods, seed weight per plant and seed size contributed to a higher RV and these variables could be used in a breeding program as criteria for indirect selection to increase yield and green yield components.

Keywords: *Vicia faba* L., multivariate analysis, Valles Altos from Central Mexico, yield trial.

* Recibido: enero de 2015
Aceptado: abril de 2015

Palabras clave: *Vicia faba* L., análisis multivariados, ensayo de rendimiento, Valles Altos del Centro de México.

Introducción

En los Valles Altos de México el haba (*Vicia faba* L.) es cultivada por pequeños productores y es muy importante en su alimentación; esta leguminosa está adquiriendo mayor trascendencia para los consumidores de escasos recursos. En los últimos 10 años el precio de su grano osciló de \$20.0 a \$40.0, dependiendo de su tamaño y sanidad, principalmente; los precios del maíz y trigo son de tan sólo \$3.50 y \$3.33. En años de escasez, el precio de la semilla ha sido de \$61.0 a \$76.0 por kg. En vaina verde el kilo ha variado desde \$2.0 hasta \$11.50. Su valor proteínico (23%) es superior al del maíz 8% (*Zea mays* L.) y trigo 11% (*Triticum aestivum* L.) y casi similar al del frijol 20% (*Phaseolus vulgaris* L.).

Su siembra se realiza principalmente bajo condiciones de temporal, en altitudes entre 1 800 y 3 000 m, es tolerante al frío y también se asocia o intercala con otras especies como maíz, frijol, calabaza (*Cucurbita* spp.) y papa (*Solanum tuberosum* L.). Por su habilidad para fijar nitrógeno atmosférico el haba puede crecer bajo diferentes condiciones de fertilidad y regímenes de humedad (Orozco *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2014; Salazar *et al.*, 2015). El Estado de México es el principal productor en verde, con un promedio de 6.10 t ha⁻¹.

El rendimiento y la calidad de la semilla y de la vaina están determinados por el cultivar, por el ambiente, por el manejo agronómico y por sus interacciones o asociaciones (Annicchiarico and Iannucci, 2008; Orozco *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2014). La identificación de cultivares superiores basada en rendimiento es menos eficiente pero ésta mejora al considerar simultáneamente semillas por vaina, vainas por nudo y peso de 100 semillas (Filippetti y De Pace, 1984). La interacción genotipo x ambiente (IGA) origina variación en nudos por planta y vainas por nudo (Bond *et al.*, 1985), así como en vainas por planta y número de tallos (Alan y Geren, 2007).

La altura de planta está considerada como la mayor fuente de diversidad y es afectada por el tamaño de la semilla: plantas más altas provienen de semillas más grandes (Al-Refaei *et al.*, 2004) y en éstas hay un mayor número de ramas, que al ser más más productivas aumentarán el rendimiento. Singh *et al.* (1987) concluyeron que una mayor productividad está determinada por una mejor expresión fenotípica en vainas

Introduction

In Valles Altos from Mexico, broad bean (*Vicia faba* L.) is grown by small farmers and is very important in their diet; this legume is growing in importance for consumers of scarce resources. In the last 10 years the price of this grain ranged from \$ 20.0 to \$40.0, depending on size and health; maize and wheat prices are \$3.50 and \$3.33 respectively. In shortage years, the price of the seed has been \$61.0 to \$76.0 per kg. In green pod the kilo has ranged from \$2.0 to \$11.50. Its protein value (23%) is higher than maize 8% (*Zea mays* L.) and wheat 11% (*Triticum aestivum* L.) and almost similar to bean 20% (*Phaseolus vulgaris* L.).

Planting is mostly done under rainfed conditions at altitudes between 1 800 and 3 000 m, it is cold tolerant and is also associated or intercropped with other species such as corn, beans, squash (*Cucurbita* spp.) and potato (*Solanum tuberosum* L.). For its ability to fix atmospheric nitrogen, broad bean can grow under different fertility condition and moisture regimes (Orozco *et al.*, 2013; Perez *et al.*, 2014; Salazar *et al.*, 2015.). The State of Mexico is the largest producer in green, with an average of 6.10 t ha⁻¹.

Yield and seed and pod quality are determined by the cultivar, environment, crop management and their interactions or associations (Annicchiarico and Iannucci, 2008; Orozco *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2014). The identification of superior cultivars based on yield is less efficient but this improves when simultaneously considering seeds per pod, pods per node and 100 seeds weight (Filippetti and De Pace, 1984). Genotype x environment (IGA) interaction causes variation in nodes per plant and pods per node (Bond *et al.*, 1985) and in pods per plant and number of stems (Alan and Geren, 2007).

Plant height is considered as the largest source of diversity and is affected by seed size; higher plants come from larger seeds (Al-Refaei *et al.*, 2004) and on these there are a greater number of branches, by being more productive, yield would be increased. Singh *et al.* (1987) concluded that higher productivity is determined by a better phenotypic expression in pods per plant, seeds per pod, 100 seeds weight, stem length, branches per plant and leaf efficiency (Mohamed *et al.*, 2013).

In Mexico there is little published information on the identification of outstanding broad bean cultivars evaluated in time and space and limitation exists also for the generation,

por planta, semillas por vaina, peso de 100 semillas, longitud del tallo, ramas por planta y eficiencia de la hoja (Mohamed *et al.*, 2013).

En México existe poca información publicada sobre la identificación de cultivares de haba sobresalientes evaluados en tiempo y espacio y también existe esta limitante para la generación, aplicación y validación de tecnología; los agricultores son los principales poseedores de los conocimientos empíricos que han contribuido a ello (Díaz *et al.*, 2008; Rojas *et al.*, 2012; Orozco *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2014). En el contexto anterior, el objetivo principal del presente estudio fue evaluar el rendimiento y los componentes de la vaina verde en 35 cultivares sembrados en tres localidades del estado de México, México.

Materiales y métodos

Características de las localidades

Este estudio se hizo en 2011 en San Francisco Oxtotilpan (SFO, L1) y en 2012 en San Nicolás Guadalupe (SNG, L2) y en San Diego (SND, L3); los tres sitios se localizan en el Estado de México, México (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de las tres localidades.

Table 1. Characteristics from the three locations.

Descripción	SFO	SNG	SD
Ubicación geográfica	N 19 ⁰ 17'365'' O 99 ⁰ 89'956''	N 19 ⁰ 36' 30'' O 100 ⁰ 01' 44''	N 19 ⁰ 40'921'' O 99 69'023''
Altitud	2 648	2 740	2 531
Temperatura (°C)	12.5	15.0	21.3
Precipitación(mm)	1200	891.8	788.1
Tipo de suelo	Franco arenoso	Franco arenoso	Arcillo arenoso

Fuente: García (1988); Orozco *et al.* (2013). SFO, San Francisco Oxtotilpan; SNG, San Nicolás Guadalupe; SD, San Diego.

Material genético

Se consideraron 31 cultivares colectados en los municipios de Acambay (1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9), Jocotitlán (7), Calimaya (10 a 19), Mexicaltzingo (20), Santiago Tianguistengo (21, 22, 24, 25), Santa Cruz Atizapán (23), Zinacantepec (27), Almoloya del Río (28), Toluca (26, 33 y 34) y Lerma (35). Las colectas identificadas como 29, 30, 31 y 32 fueron proporcionadas por el Instituto de Investigación y

implementation and validation of technology; farmers are the main holders of empirical knowledge contributing to it (Díaz *et al.*, 2008; Rojas *et al.*, 2012; Orozco *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2014). In the above context, the main objective of this study was to evaluate yield and yield components from green pod on 35 cultivars grown in three localities from the State of Mexico, Mexico.

Materials and methods

Locations characteristics

This study was carried in 2011 in San Francisco Oxtotilpan (SFO, L1) and in 2012 in San Nicolás Guadalupe (SNG, L2) and San Diego (SND, L3); the three sites are located in the State of Mexico, Mexico (Table 1).

Genetic material

31 cultivars collected in the municipalities of Acambay (1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9), Jocotitlán (7), Calimaya (10 to 19), Mexicaltzingo (20), Santiago Tianguistengo (21, 22, 24, 25), Santa Cruz Atizapán (23), Zinacantepec (27), Almoloya del Río (28), Toluca (26, 33 and 34) and Lerma (35) were

considered. Collections identified as 29, 30, 31 and 32 were provided by the Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México from the State of Mexico (ICAMEX), based in Metepec, Mexico. The relationship from cooperating farmers and origin of each of the cultivars was described in Orozco *et al.* (2013) and Pérez *et al.* (2014), but collection 34 was not included in the present study and those identified as 35 and 36 are now 34 and 35.

Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX), con sede en Metepec, México. La relación de agricultores cooperantes y el origen de cada uno de los cultivares fue descrita en Orozco *et al.* (2013) y Pérez *et al.* (2014), pero la colecta 34 no fue incluida en el presente estudio y las identificadas como 35 y 36 ahora corresponden a 34 y 35.

Diseño experimental y tamaño de la parcela

Los tres ensayos se establecieron en campo como una serie de experimentos en espacio en un diseño de bloques completos al azar usando tres repeticiones por localidad. La parcela constó de tres surcos de 4 x 0.80 m; el surco central fue considerado como la unidad experimental útil (3.20 m²). Se depositaron dos semillas por mata y la distancia entre éstas fue de 0.40 m.

Manejo agronómico de los ensayos

La siembra manual se realizó el 19 de noviembre de 2011 (SFO, L1), el 29 de marzo (SNG, L2) y el 21 de abril (SD, L3) de 2012. En L1 se aplicaron 7 riegos y los ensayos en L2 y L3 se manejaron en condiciones de temporal. La fertilización se hizo con 60N- 60P-30K {16N-16P-16K, urea (46%), superfosfato de calcio triple (46%), cloruro de potasio (60%) y 18N-46P-00K}. En L1 se aplicó byozime (1 L ha⁻¹) y aminoácidos. Se realizaron tres escardas en L1, y dos en L2 y L3. El control de malezas fue manual en L1 y L2. En L3 se aplicó Basagran 480 (1.5 L ha⁻¹). En L1 se realizó doble aplicación de Cercovin (Dimetil), Lannate 90 (metomilo), malatión (1L ha⁻¹) y pirimor (pirimicarb, 200 g ha⁻¹). En L2 se dieron cinco aplicaciones de Curzate (1 kg ha⁻¹) y folimat (ometoato, 1 L ha⁻¹). En L3 se aplicó 6 veces Manzate (Mancozeb), Cupravit mix (Oxicloruro de cobre + mancozeb; 1 kg ha⁻¹), tecto 60 (1.5 kg ha⁻¹) y Velcron 60 (1.5 L ha⁻¹). La cosecha en L1, L2 y L3 inició el 12 de mayo, el 22 de agosto y el 08 de septiembre, respectivamente.

Variables de estudio

Se tomaron 10 plantas de la parcela útil y se registró su altura (AP, medida en cm desde la base hasta el ápice del tallo principal), índice de verdor (CC, en los foliolos de la hoja compuesta; Minolta SPAD 502 plus), ramas por planta (RP), foliolos por hoja (FH), vainas por planta (VP), peso de vaina por planta (PVP, se determinó en g con una báscula digital), longitud (LV, cm), diámetro (DV, cm) y espesor de vaina (EV, cm), longitud (LS, cm), diámetro (DS, cm) y espesor de semilla (ES, cm) y rendimiento en verde (RV, t ha⁻¹).

Experimental design and plot size

All three trials were established in the field as a set of experiments in space with a randomized complete block design and three replications per location. The plot consisted of three rows of 4 x 0.80 m; the central row was considered as the useful experimental unit (3.20 m²). Two seeds per plant were deposited and the distance between them was 0.40 m.

Agronomical management of the trials

The planting was made by hand on November 19, 2011 (SFO, L1), March 29 (SNG, L2) and April 21 (SD, L3) 2012. In L1 were applied 7 irrigations and trials from L2 and L3 were carried under rainfed conditions. Fertilization was done with 60N- 60P-30K {16N-16P-16K, urea (46%), calcium triple superphosphate (46%), potassium chloride (60%) and 18N-46P-00K}. In L1 applied byozime (1L ha⁻¹) and amino. Three weeding were performed on L1 and two in L2 and L3. Weed control was manual in L1 and L2. In L3 applied Basagran 480 (1.5 L ha⁻¹). In L1 double application of Cercovin (Dimethyl), Lannate 90 (methomyl), malathion (1L ha⁻¹) and Pirimor (pirimicarb, 200 g ha⁻¹) were made. In L2 five applications of Curzate (1 kg ha⁻¹) and Folimat (omethoate, 1 L ha⁻¹) were made. In L3 applied 6 times Manzate (Mancozeb), Cupravit mix (Copper oxychloride + mancozeb; 1 kg ha⁻¹), tecto 60 (1.5 kg ha⁻¹) and Velcron 60 (1.5 L ha⁻¹). The harvest in L1, L2 and L3 began on May 12, August 22 and September 08, respectively.

Study variables

10 plants from the useful plot were taken and recorded their height (AP measured in cm from the base to the apex of the main stem), greenness index (CC, on the leaflets of the composite sheet; Minolta SPAD 502 Plus), branches per plant (RP), leaflets per leaf (FH), pods per plant (VP), pod weight per plant (PVP, was recorded in g with a digital scale), length (LV, cm), diameter (DV, cm) and pod thickness (EV, cm), length (LS, cm), diameter (DS, cm) and seed thickness (ES, cm) and green yield (RV t ha⁻¹).

Statistic analysis

Data from the three trials were used to perform an analysis of variance and mean comparison between cultivars and localities (Tukey, $p=0.01$). Additionally, a principal component analysis (Sánchez, 1995), also described in Pérez *et al.* (2014) was generated. The outputs were obtained with the statistical analysis system (Statistical Analysis

Análisis estadístico

Los datos provenientes de los tres ensayos fueron empleados para realizar un análisis de varianza y una comparación de medias entre cultivares y entre localidades (Tukey, $p=0.01$). Adicionalmente se generó un análisis de componentes principales (Sánchez, 1995), descrito también en Pérez *et al.* (2014). Las salidas se obtuvieron con el sistema para análisis estadístico (Statistical Analysis System ver. 6.01, USA), pero la gráfica del biplot con los dos primeros componentes principales se hizo con Microsoft Excel, en la forma como lo indicaron Reynoso *et al.* (2014).

Resultados y discusión

Los resultados que se observan en el Cuadro 2 son similares a los de Flores *et al.* (2013) y Fikreselassie y Seboka (2012) y sugieren que las tres localidades, los 35 cultivares de haba y su interacción fueron fuentes importantes para generar variabilidad fenotípica, como lo indicaron Yahia *et al.* (2012), Orozco *et al.* (2013) y Pérez *et al.* (2014).

System view. 6.01, USA), but the biplot graph of the first two principal components was made with Microsoft Excel, in the manner indicated by Reynoso *et al.* (2014).

Results and discussion

The results shown in Table 2 are similar to Flores *et al.* (2013) and Fikreselassie and Seboka (2012) suggesting that the three localities, 35 broad bean cultivars and their interaction were important sources to generate phenotypic variability, as indicated by Yahia *et al.* (2012), Orozco *et al.* (2013) and Perez *et al.* (2014).

Valles Altos from central Mexico, integrated mainly by the states of Hidalgo, Puebla, Estado de México and Tlaxcala are very heterogeneous; soil type, altitude, rainfall, climate, geographical location (Table 1) and the incidence of hail and frost during the growing season are the main components of variation. These environmental factors cause problems for reliable identification of genetic materials with outstanding characteristics, and also have

Cuadro 2. Cuadros medios y significancia estadística de los valores de F.
Table 2. Mean squares and statistical significance of F values.

FV	GL	AP	CC	RP	FH	VP	LV	DV
L	2	3.10 **	1845.1**	221.7**	19.4**	1932.3 **	188.4**	13.6 **
R	6	0.002	70.55**	0.128	4.2**	65.949 **	0.312 *	0.099 **
G	34	0.104**	6.348	1.217 **	0.19	249.6**	2.43 **	0.226 **
LxG	68	0.023**	4.803	1.106 **	0.15*	54.115 **	1.292**	0.065 **
Error	204	0.001	4.622	0.115	0.106	16.253	0.15	0.021
CV (%)		2.9	4.5	5.6	5.3	17	3.5	6.4
FV	GL	EV	PVP	LS	DS	ES	RV	
L	2	21.8 **	587873.9 **	2 **	7.6 **	12.8 **	440.8 **	
R(L)	6	0.065 **	10743.85	0.036 *	0.011	0.458 **	37.709 **	
G	34	0.14 **	71078.09 **	0.282 **	0.127 **	0.037 *	36.63 **	
LxG	68	0.073 **	18456.13 **	0.087 **	0.081 **	0.023	15.745 **	
Error	204	0.011	7301.497	0.014	0.005	0.024	5.934	
CV (%)		6.2	19.9	4.2	3.7	12.2	24.8	

L, localidades; R(L), repeticiones dentro de L; G, cultivares; LxG, interacción cultivares x localidades; CV, coeficiente de variación. * ó **= significativo al 5 ó 1 %. AP, altura de planta; CC, índice de verdor; RP, ramas por planta; FH, foliolos por planta; LV y DM, longitud y diámetro de vaina; VP, vainas por planta. L, R(L), G, LxG, CV= localidades, repeticiones dentro de localidades, cultivares, localidades por cultivares y coeficiente de variación, respectivamente. EV, espesor de vaina; PVP, peso de vaina por planta; LS, DS, ES, longitud, diámetro y espesor de semilla; RV, rendimiento de vaina.

Los Valles Altos del Centro de México, integrados principalmente por los estados de Hidalgo, Puebla, Estado de México y Tlaxcala son muy heterogéneos; el tipo de

a significant influence the generation, validation and application of technology as well as in seed production. This is why it is advisable to conduct tests in time and / or

suelo, la altitud, la precipitación pluvial, el clima, su localización geográfica (Cuadro 1) y la incidencia de granizo y heladas durante el ciclo de cultivo, son las principales componentes de esta variación. Estos factores del medio ambiente causan problemas para la identificación confiable de materiales genéticos sobresalientes, y también influyen significativamente en la generación, validación y aplicación de tecnología, así como en la producción de semilla. Es por esto que es recomendable conducir ensayos en tiempo y/o espacio con el propósito de recomendar cultivares superiores con base en su rendimiento y sus componentes del rendimiento, como lo sugirieron Reynoso *et al.* (2014) y Pérez *et al.* (2014).

Las localidades mexiquenses de Temascaltepec, Almoloya de Juárez y San Felipe del Progreso, consideradas en el presente estudio, difirieron principalmente en altitud, temperatura, precipitación y tipo de suelo (Cuadro 1), hecho que explica las diferencias significativas que se pueden apreciar en los Cuadros 2 y 3.

Las condiciones ambientales que predominaron en SFO (L1) favorecieron una mejor expresión fenotípica del número de vainas (VP) y del peso de vainas por planta (PVP); ambas contribuyeron a un mayor rendimiento (10.57 t ha^{-1}) en condiciones de riego. Singh *et al.* (1987) encontraron que en haba la siembra con riego incrementa los rendimientos de grano y biológico de 8 a 52 %. Suso *et al.* (1996) sugirieron que el rendimiento está determinado por el aborto de óvulos, por vainas jóvenes, así como por número y tamaño de las semillas.

En SD (L3) se registró la mayor altura (AP, 1.58 m); ésta favoreció índice de verdor (CC), foliolos por hoja (FH) y las dimensiones de la vaina y de la semilla, como longitud (LV, LS), diámetro (DV, DS) y espesor (EV, ES). El rendimiento en verde (RV) fue de 11.36 t ha^{-1} pero hubo menos vainas por planta (VP) y fue menor el peso de vaina por planta (PVFP). Singh *et al.* (1987) observaron que el principal componente del rendimiento es número de vainas por planta y que éste es menor en temporal que en riego, como sucedió con SFO, aun cuando no hubo diferencias significativas en producción de vaina entre L1 y L3. En SNG (L2) el mayor número de ramas (7.26) no contribuyó a un mayor rendimiento 7.49 t ha^{-1} (Cuadro 3).

En los cultivares 11 (1.57 m) y 34 (1.52 m) se registró la mayor altura de planta (AP) y ambos son estadísticamente diferentes de los otros 33 (Cuadro 4, Figura 1). Orozco *et*

space for in order to recommend superior cultivars based on their yield and yield components, as suggested by Reynoso *et al.* (2014) and Perez *et al.* (2014).

Locations from the State of Mexico as Temascaltepec, Almoloya de Juárez and San Felipe del Progreso, considered in this study differed mainly in altitude, temperature, rainfall and soil type (Table 1), which explains the significant differences that can be seen in Tables 2 and 3.

Environmental conditions that prevailed in SFO (L1) favored a better phenotypic expression on number of pods (VP) and weight of pods per plant (PVP); both contributed to a higher yield (10.57 t ha^{-1}) under irrigated conditions. Singh *et al.* (1987) found that broad bean under irrigation increases grain and biological yield from 8 to 52%. Suso *et al.* (1996) suggested that the yield is determined by ovule abortion, young pods, as well as number and seed size.

SD (L3) recorded the highest height (AP, 1.58 m); this favored greenness index (CC), leaflets per leaf (FH), pod and seed dimensions, such as length (LV, LS), diameter (DV, DS) and thickness (EV, ES). Green yield (RV) was 11.36 t ha^{-1} but fewer pods per plant (VP) and pod weight per plant (PVFP) was lower. Singh *et al.* (1987) found that the main yield component is the number of pods per plant and this is lower under rainfed than in irrigation, as happened in SFO, although there were no significant differences in pod production between L1 and L3. SNG (L2) had the largest number of branches (7.26) did not contribute to higher yields 7.49 t ha^{-1} (Table 3).

Cuadro 3. Medias aritméticas de localidades.

Table 3. Arithmetic means from locations.

Variabes	SFO (L1)	SNG (L2)	SD (L3)
AP	1.23 c	1.37 b	1.58 a
CC	44.90 b	44.18 b	51.78 a
RP	4.42 c	7.26 a	6.38 b
FH	5.64 c	6.26 b	6.47 a
NVP	27.53 a	24.35 b	19.04 c
LV	10.06 b	10.03 b	12.36 a
DV	1.97 c	2.19 b	2.67 a
EV	1.23 c	1.62 b	2.14 a
PVP	510.27 a	410.23 b	363.86 c
LS	2.75 b	2.76 b	3.00 a
DS	1.77 c	1.87 b	2.28 a
ES	0.94 c	1.22 b	1.64 a
RV	10.57 a	7.49 b	11.36 a

Altura de planta (AP); índice de verdor (CC); ramas por planta (RP); foliolos por hoja (NF); vainas por planta (VP); longitud (LV); diámetro (DV) y espesor de vaina (EV); peso de vaina por planta (PVP); longitud (LS); diámetro (DS) y espesor de semilla (ES); rendimiento de vaina (RV).

al. (2013) midieron plantas inferiores a 1.42 m y Suso *et al.* (1993) reportaron que la AP permitió discriminar cultivares de diversas regiones geográficas; plantas que provienen de semillas grandes son más altas que las originadas de semillas pequeñas. La AP depende del cultivar y de la interacción GxA y varía de 0.5 a 2 m (Bond *et al.*, 1985).

Cultivars 11 (1.57 m) and 34 (1.52 m) recorded the highest plant height (AP) and both are statistically different from the other 33 (Table 4, Figure 1). Orozco *et al.* (2013) measured plants lower than 1.42 m and Suso *et al.* (1993) reported that AP allowed to discriminate cultivars from different geographic regions; plants that come from larger

Cuadro 4. Comparación de medias para altura de planta (AP), índice de verdor (CC), ramas por planta (RP), foliolos por hoja (FH), vainas por planta (VP), longitud (LV) y diámetro de vaina (DV).

Table 4. Means comparison for plant height (AP), greenness index (CC), branches per plant (RP), leaflets per leaf (FH), pods per plant (VP), pod length (LV) and pod diameter (DV).

POB	AP (m)	CC	RP	FH	VP	LV(cm)	DV(cm)
1	1.42 c-k	46.64 a	5.76e-k	6.02 a	26.87a-c	10.20 ij	2.12 c-g
2	1.35 j-n	48.75 a	6.34 a-f	6.10 a	29.53 ab	10.75 d-i	2.07 d-g
3	1.37g-m	47.88 a	5.27 jk	5.86 a	29.87 ab	10.60 e-j	2.14 b-g
4	1.35 j-n	46.83 a	5.52 i-k	6.03 a	32.45 a	10.73 e-i	2.21 b-g
5	1.28 no	47.21 a	6.26a-g	6.16 a	27.25a-c	10.25 ij	2.01 g
6	1.44 c-i	46.66 a	6.38 a-f	6.22 a	31.75 a	10.97 b-i	2.12 b-g
7	1.34 k-n	46.70 a	5.63g-k	6.35 a	29.57 ab	10.81 c-i	2.08 d-g
8	1.42 c-k	47.10 a	6.14 a-i	6.15 a	32.37 a	10.88 b-i	2.05 fg
9	1.32 l-o	47.39 a	5.96 a-j	6.11 a	29.61 ab	10.49 g-j	2.06 e-g
10	1.43 c-j	46.36 a	6.64 a	6.06 a	18.47d-h	11.60 a-c	2.36 a-e
11	1.57 a	46.95 a	5.98 a-i	6.15 a	20.14c-h	11.92 a	2.41 a-c
12	1.42 d-k	46.89 a	5.74e-k	6.07 a	20.15c-h	11.14 ah	2.51 a
13	1.46 b-f	45.68 a	5.85 d-j	6.17 a	17.65e-h	10.81 c-i	2.41 a-c
14	1.39 f-l	47.02 a	6.31a-g	6.07 a	22.92 b-f	11.25 ag	2.41 a-c
15	1.44 b-h	47.86 a	6.32a-g	6.01 a	21.22c-g	11.18 ah	2.37 a-d
16	1.45 b-f	46.44 a	6.41a-e	6.14 a	20.82e-h	11.33 ae	2.42 ab
17	1.45 b-g	46.64 a	6.24a-h	6.13 a	17.12 f-h	10.63 e-j	2.32 a-f
18	1.47b-e	48.27 a	6.01a-i	6.33 a	18.27d-h	11.64ab	2.40abc
19	1.44b-h	47.36 a	6.36a-f	5.81 a	20.75c-h	10.51f-j	2.54a
20	1.40e-l	47.73 a	5.86d-j	5.92 a	25.75a-e	10.99b-i	2.35a-e
21	1.40e-l	46.89 a	6.61ab	6.04 a	20.09c-h	11.53a-d	2.40abc
22	1.50abc	46.11 a	5.87c-j	6.20 a	20.37c-h	11.29a-f	2.41abc
23	1.49b-d	45.78 a	5.78d-k	6.32 a	22.61b-f	10.99b-i	2.54a
24	1.37h-m	46.28 a	6.56abc	6.07 a	24.84a-f	10.72e-i	2.41abc
25	1.46b-f	46.44 a	6.46a-d	6.38 a	19.02c-h	10.93b-i	2.33a-f
26	1.35j-n	47.29 a	6.00a-i	5.87 a	24.61a-f	10.70e-i	2.25a-g
27	1.30mno	47.93 a	5.55h-k	6.07 a	27.18abc	10.57e-j	2.03fg
28	1.41d-k	46.36 a	6.14a-i	6.15 a	18.33d-h	10.99b-i	2.42ab
29	0.91p	45.79 a	6.38a-f	5.98 a	24.77a-f	9.33k	2.16b-g
31	1.26o	46.51 a	6.02a-i	6.30 a	30.39ab	11.28a-f	2.37a-d
32	1.36i-n	45.78 a	5.97a-i	6.37 a	26.28a-d	10.76d-i	2.25a-g
33	1.47b-f	45.67 a	5.92b-j	6.33 a	13.35gh	9.89jk	2.04fg
34	1.52ab	48.82 a	5.14k	5.97 a	12.82h	10.40hij	2.16b-g
35	1.43c-j	48.02 a	5.70f-k	6.23 a	25.52a-e	10.21ij	2.30a-g

Las medias con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente (Tukey, $p=0.01$).

El índice de verdor (CC) puede ser un indicador del N en la planta, éste es necesario para su síntesis y determina su intensidad, la eficiencia fotosintética de la hoja, y la

seeds are higher than those originated from small seeds. AP depends on the cultivar and G X E interaction and ranges from 0.5 to 2 meters (Bond *et al.*, 1985).

producción de materia seca; sin embargo, los 35 cultivares no difirieron estadísticamente y sus promedios variaron de 45.67 a 48.82; los más sobresalientes fueron 2, 18, 34 y 35 (Cuadro 4, Figura 1).

En ramas por planta (RP) el cultivar 10 (6.64) fue el mejor (Cuadro 4) seguido de 21 (6.61), 24 (6.56) y 25 (6.46) (Figura 1), pero esta variable no contribuyó a un mayor rendimiento en éstos. Orozco *et al.* (2013) reportaron valores similares (4.62 a 6.67) y Mohammed *et al.* (2010) presentaron de 3.23 a 11.5 ramas. En haba son deseables cultivares con ramas más productivas.

La mayor producción de vainas por planta (VP) se registró en los cultivares 4, 8, 6, 31, 3, 9, 7, 2, 5 y 27 de 27, 18 a 32.45; (Cuadro 4, Figura 1). Éstos difirieron estadísticamente de otros 25 y fueron superiores a los evaluados por Orozco *et al.* (2013) (10 a 26) y similares a los de Salih *et al.* (1993; 30.2 a 31.3). VP depende del número de vainas por nudo, que varía de uno a tres (Terzopoulos *et al.*, 2004); Singh *et al.* (1987) indicaron que ésta afecta directamente al rendimiento y Alan y Geren (2007) mostraron que el ambiente tiene un gran efecto sobre vainas y semillas por planta.

El cultivar 11 fue superior en longitud de vaina (LV) (11.92 cm), seguido de 18 (11.64 cm) y 10 (10.60); éstos difirieron estadísticamente de los otros 32 (Cuadro 4, Figura 1). Suso *et al.* (1993) estimaron amplia variabilidad en LV; ésta depende del tamaño de la semilla (Al-Refaei *et al.*, 2004) y el consumidor prefiere LV de 20 cm (Bascur, 1997). Según Bond *et al.* (1985) el rango varía de 5 a 25 cm y con 2, 3 ó 4 semillas por vaina.

El mayor diámetro de vaina (DV) se registró en los cultivares 12, 19, 23, 16, 28, 11, 13, 14, 18, 21, 22 y 24 (de 2.40 a 2.54 cm). El DV es muy afectado por el tamaño de la semilla (Al-Refaei *et al.*, 2004). La mayoría de los cultivares evaluados en el presente estudio provienen de semilla grande y mediana, y sólo dos son de tamaño chico. El cultivar 31 (1.85 cm) tuvo el máximo espesor de la vaina (EV), seguido de 23 (1.85 cm), 18 (1.83 cm) y 12 (1.82 cm), éstos superaron estadísticamente a los otros 32 (Cuadro 5, Figura 1).

Los cultivares 6 y 8 (562.15 y 567.48 g) mostraron el mayor peso de vaina por planta (PVP) y ambos difirieron estadísticamente de los otros 30 (Cuadro 5, Figura 1). A mayor número de vainas más PVP y mayor rendimiento por ha; estas variables comúnmente están correlacionadas

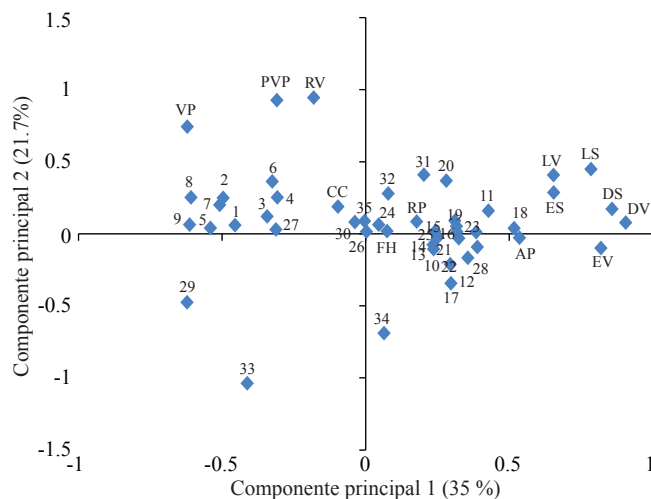


Figura 1. Biplot entre 35 cultivares (en número) y 13 variables (en letra). Los códigos se describen en los Cuadros 4 y 5.

Figure 1. Biplot of 35 cultivars (in number) and 13 variables (in print). The codes are described in Tables 4 and 5.

The greenness index (CC) can be an indicator of N in the plant, this is necessary for its synthesis and determines its intensity, photosynthetic efficiency of the leaf, and dry matter production; however, the 35 cultivars were not statistically different and their averages ranged from 45.67 to 48.82; the most outstanding were 2, 18, 34 and 35 (Table 4, Figure 1).

In branches per plant (RP), cultivar 10 (6.64) was the best (Table 4) followed by 21 (6.61), 24 (6.56) and 25 (6.46) (Figure 1), but this variable did not contribute to a higher yield on these. Orozco *et al.* (2013) reported similar values (4.62 to 6.67) and Mohammed *et al.* (2010) presented 3.23 to 11.5 branches. In broad bean are desirable cultivars with more productive branches.

The highest production of pods per plant (VP) was recorded in cultivars 4, 8, 6, 31, 3, 9, 7, 2, 5 and 27 from 27.18 to 32.45; (Table 4, Figure 1). These differ statistically from other 25 and were superior to those evaluated by Orozco *et al.* (2013) (10 to 26) and similar to Salih *et al.* (1993; 30.2 to 31.3). VP depends on the number of pods per node, which varies from one to three (Terzopoulos *et al.*, 2004); Singh *et al.* (1987) indicated this directly affects yield and Alan and Geren (2007) showed that the environment has a great effect on pods and seeds per plant.

Cultivar 11 was superior in pod length (LV) (11.92 cm), followed by 18 (11.64 cm) and 10 (10.60); these differ statistically from the other 32 (Table 4, Figure 1). Suso *et al.* (1993) estimated wide variability in LV; it depends on seed

positiva y significativamente, por lo que la elección del cultivar y del sitio apropiados y del paquete tecnológico óptimo son deseables para lograr una mayor productividad.

size (Al-Refae *et al.*, 2004) and the consumer prefers a LV of 20 cm (Bascur, 1997). According to Bond *et al.* (1985) the range varies from 5 to 25 cm and with 2, 3 or 4 seeds per pod.

Cuadro 5. Comparación de medias para espesor de vaina (EV), peso de vaina por planta (PVP), longitud (LS), diámetro (DS) y espesor de semilla (ES), así como rendimiento de vaina (RV).

Table 5. Means comparison for pod thickness (EV), pod weight per plant (PVP), length (LS), diameter (DS) and seed thickness (ES), thus pod yield (RV).

POB	EV (cm)	PVP(g)	LS(cm)	DS(cm)	ES(cm)	RV(t ha ⁻¹)
1	1.54e-j	473.15a-d	2.69fg	1.89e-h	1.16 a	12.42 ab
2	1.48h-j	520.71abc	2.72e-g	1.84hi	1.20 a	11.84 abc
3	1.58g-j	498.11a-d	2.72e-g	1.99b-g	1.22 a	10.23 abc
4	1.58g-j	536.33ab	2.70fg	2.03a-f	1.22 a	11.40abc
5	1.52f-j	489.15a-d	2.71fg	1.84hi	1.19 a	10.67abc
6	1.50g-j	562.15 a	2.79d-g	1.88fgh	1.25 a	12.29ab
7	1.43 j	536.11 ab	2.68fgh	1.85ghi	1.22 a	11.50abc
8	1.47ij	567.48 a	2.69fg	1.68 j	1.19 a	11.43abc
9	1.46j	487.70a-d	2.71e-g	1.72ij	1.19 a	10.38abc
10	1.71a-g	379.49b-e	2.96a-e	1.96d-h	1.21 a	8.81a-d
11	1.74a-f	463.89a-d	3.01a-d	2.03a-f	1.31 a	10.14abc
12	1.82ab	338.18de	2.79d-g	2.07a-d	1.31 a	8.56a-e
13	1.75a-e	356.74cde	2.99a-d	1.99c-h	1.28 a	8.46a-e
14	1.80abc	401.44a-d	2.86b-g	2.04a-e	1.27 a	9.77abc
15	1.79a-d	433.41a-d	3.00a-d	2.09a-d	1.27 a	8.40a-e
16	1.76a-d	420.55a-d	3.06ab	1.99b-g	1.26 a	9.98abc
17	1.84ab	332.85def	2.86b-g	2.08a-d	1.26 a	6.92cde
18	1.83ab	362.00b-e	3.05abc	2.14abc	1.30 a	9.86abc
19	1.59c-j	398.96a-d	3.07ab	2.14ab	1.32 a	10.82abc
20	1.72a-f	481.26a-d	3.17a	2.07a-d	1.39 a	11.94ab
21	1.64b-j	372.33b-e	2.99a-d	1.99b-g	1.24 a	8.30abc
22	1.58d-j	414.07a-d	2.92b-f	2.04a-e	1.31 a	8.95a-d
23	1.85ab	420.67a-d	2.95a-e	2.08a-d	1.26 a	10.08abc
24	1.70a-g	467.04a-d	2.92b-f	1.97d-h	1.22 a	10.07abc
25	1.68a-h	413.26a-d	2.85b-g	2.15 a	1.35 a	9.24a-d
26	1.69a-h	412.70a-d	2.85b-g	2.00b-g	1.31 a	9.75abc
27	1.58d-j	410.31a-d	2.81c-g	1.94d-g	1.27 a	10.20abc
28	1.77a-d	382.27b-e	3.06ab	2.09a-d	1.29 a	8.67a-d
29	1.67a-i	328.89def	2.44hi	1.85ghi	1.19 a	7.67b-e
30	1.72a-f	484.04a-d	2.83b-g	1.98d-h	1.30 a	10.41abc
31	1.87 a	529.15abc	2.89b-f	2.03a-f	1.40 a	11.97ab
32	1.70a-g	488.18a-d	2.85b-g	2.05a-d	1.38 a	12.83 a
33	1.53f-j	159.59f	2.35i	1.72ij	1.17 a	3.60 c
34	1.71a-g	219.81ef	2.64gh	1.96d-g	1.30 a	4.55de
35	1.72a-f	442.17a-d	2.68fgh	2.01a-f	1.38 a	11.15abc

Las medias con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente (Tukey, $p=0.01$).

En longitud de semilla (LS) el mejor cultivar fue 20 (3.17cm), seguido de 19, 16, 18, 11, 15 y 21 (de 2.99 a 3.07 cm); éstos difirieron estadísticamente de los otros 28 (Cuadro 5; Figura 1). En el cultivar 20 la LS contribuyó significativamente a un

The larger pod diameter (DV) was recorded in cultivars 12, 19, 23, 16, 28, 11, 13, 14, 18, 21, 22 and 24 (from 2.40 to 2.54 cm). Seed size has a big influence on DV (Al-Refae *et al.*, 2004). Most cultivars evaluated in this study come

incremento en su rendimiento (11.94 t ha^{-1}). Nadal *et al.* (2004) registraron valores de 1.3 cm. Las semillas verdes pueden ser largas (más de 1.6 cm), medianas (de 0.8 a 1.6 cm) y chicas (menos de 0.8 cm) (Bascur, 1997). En este trabajo 33 cultivares tuvieron semilla larga y sólo dos mediana (P29, P33); de acuerdo con Mera (1999) éstos pertenecen a la variedad botánica mayor (2.5 cm de largo). En habas frecuentemente se observa que una mayor cantidad de semillas por unidad de superficie está relacionada con un menor tamaño de grano debido a la mayor competencia que existe dentro y entre plantas en las densidades más altas ocasionada por luz, agua, espacio y nutrientes. Las habas de México tienen dos semillas por vaina (Orozco *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2014), esto explica parcialmente porqué su grano es de mayor tamaño.

El mayor diámetro de semilla (DS) se registró en los cultivares 25 (2.15 cm), 19 (2.14 cm), 18 (2.14 cm), 28 (2.09 cm) y 32 (2.05 cm), estadísticamente diferentes de los otros 30 (Cuadro 5, Figura 1). Bascur (1997) obtuvo semillas de 3.3 cm de longitud y 2.2 cm de diámetro; este tamaño de grano se maneja como producto congelado y se exporta. En México 50% de los productores prefieren semilla grande y otro 40% mediana y con mayor número de vainas y de semillas y mejor sanidad (Díaz *et al.*, 2008; Rojas *et al.*, 2012). En los 35 cultivares de haba no hubo diferencias estadísticas en grosor o espesor de semilla (ES) pero ambas están correlacionadas significativamente con LS. ES fue menos afectada por las condiciones ambientales de las tres localidades que CC, RP y FH, por lo que podrían usarse como un criterio de selección indirecta para incrementar el rendimiento en verde.

El cultivar 32 (12.83 t ha^{-1}), denominado San Pedro Tlaltizapán, fue superior en rendimiento en verde (RV), seguido de 1, 6, 20, 31, 2, 4, 7, 8 y 35 entre 11.15 y 12.42 t ha^{-1} ; (Cuadro 5, Figura 1). Estos valores son mayores a la media del estado de México, que es de 6 t ha^{-1} , y se localizan en el intervalo registrado por Baginsky *et al.* (2013), de 7.6 a 15.7 t ha^{-1} . En 2012 en México el rendimiento promedio fue de 5.96 t ha^{-1} . Estos promedios muestran que 19 cultivares fueron sobresalientes, y otras 13 tuvieron el promedio nacional (Cuadrantes 1 y 2 del biplot de la Figura 1).

El rendimiento en verde se está manejando como rendimiento industrial. En habas para congelado interesa el porcentaje de grano que se obtendrá a partir de vainas cosechadas. En este contexto, 10 de las 35 cultivares podrían emplearse favorablemente en la industria mexicana. En otro estudio se observó que la colecta 7, proveniente del Municipio de Jocotitlán (11.5 t ha^{-1}), se separó del resto de los cultivares

from large and medium seed size, and only two are small size. Cultivar 31 (1.85 cm) had the maximum pod thickness (EV), followed by 23 (1.85 cm), 18 (1.83 cm) and 12 (1.82 cm), statistically exceeding the other 32 (Table 5, Figure 1).

Cultivars 6 and 8 (562.15 and 567.48 g) showed the greatest weight of pod per plant (PVP) and both differed statistically from the other 30 (Table 5, Figure 1). At greater number of pods more PVP and higher yield per ha; these variables are usually positively and significantly correlated, so the choice of cultivar and appropriate site and optimum technology package are desirable to achieve greater productivity.

In seed length (LS) the best cultivar was 20 (3.17 cm), followed by 19, 16, 18, 11, 15 and 21 (from 2.99 to 3.07 cm); these differed statistically from the other 28 (Table 5, Figure 1). In cultivar 20, LS contributed significantly to an increase in yield (11.94 t ha^{-1}). Nadal *et al.* (2004) recorded values of 1.3 cm. Green seeds can be large (more than 1.6 cm), medium (from 0.8 to 1.6 cm) and small (less than 0.8 cm) (Bascur, 1997). In this study 33 cultivars had large seeds and only two medium (P29, P33); according to Mera (1999) these belong to a larger botanical variety (2.5 cm length). In broad beans it is frequently observed that a higher number of seeds per unit area are associated with a smaller grain size due to the increased competition that exists within and between plants in higher density caused by light, water, space and nutrients. Broad beans from Mexico have two seeds per pod (Orozco *et al.*, 2013; Perez *et al.*, 2014) this explains partially why their grain is larger.

The largest seed diameter (DS) was recorded in cultivars 25 (2.15 cm), 19 (2.14 cm), 18 (2.14 cm), 28 (2.09 cm) and 32 (2.05 cm), statistically different from the other 30 (Table 5, Figure 1). Bascur (1997) obtained seeds of 3.3 cm long and 2.2 cm in diameter; this grain size is handled as a frozen product and exported. In Mexico 50% of producers prefer large seeds and 40% medium and with higher pod number and seeds and better health (Díaz *et al.*, 2008; Rojas *et al.*, 2012). In the 35 broad bean cultivars there were no statistical differences in thickness or seed thickness (ES) but both are significantly correlated with LS. ES was less affected by environmental conditions from the three localities than CC, RP and FH, so these could be used as an indirect selection criterion to increase green yield.

Cultivar 32 (12.83 t ha^{-1}), called San Pedro Tlaltizapán was superior in green yield (RV), followed by 1, 6, 20, 31, 2, 4, 7, 8 and 35 between 11.15 and 12.42 t ha^{-1} ; (Table 5, Figure 1).

sembrados para producción en seco cuando se hizo el análisis molecular usando marcadores ISSR, hecho que sugiere que ésta es genéticamente muy contrastante y podría emplearse como progenitor en un nuevo programa de fitomejoramiento (Salazar *et al.*, 2015).

Al analizar las interrelaciones entre cultivares y variables se observó que los componentes principales 1 (35%) y 2 (21.7%) explicaron 56.7% de la variación total original (Figura 1). Sánchez (1995) mencionó que estos porcentajes son deseables para interpretar confiablemente las correlaciones que se pueden observar en un biplot. Orozco *et al.* (2013) y Pérez *et al.* (2014) observaron que los cultivares 1, 5, 7, y 35, colectados en los municipios de Acambay, Jocotitlán y Lerma y sembrados para la cosecha en seco, fueron los más sobresalientes en nudos florales, vainas por planta, peso de vaina por planta, semillas por planta, peso total de semilla, semillas limpias y peso de semilla limpia; en el presente estudio, a excepción del segundo cultivar, los otros tres fueron muy sobresalientes en RV.

En el biplot de la Figura 1 también se puede observar que otros cultivares sobresalientes en RV fueron los identificados como 2, 4, 6, 8 y 31, los primeros cuatro provenientes de Acambay y el último de Metepec. Estos y los cultivares 1, 7, y 35 es la fracción del material genético más recomendable para la siembra comercial cuyo propósito sea la producción en vaina verde o en seco (Orozco *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2014). También se puede inferir que el rendimiento en verde estuvo determinado fundamentalmente por peso de semilla y por vainas por planta. Estos resultados son similares a lo reportado por Yahia *et al.* (2012) y Mohamed *et al.* (2013). La dispersión de los 35 cultivares en los cuatro cuadrantes confirma la existencia de variabilidad genética, disponible para un nuevo programa de mejoramiento genético.

Conclusiones

La fracción superior del material genético en tamaño de semilla y vaina, índice de verdor, foliolos por hoja y rendimiento en verde estuvo representada por las poblaciones identificadas como 1, 2, 4, 6, 7, 8, 20, 31, 32 y 35 (de 11.15 a 12.83 t ha⁻¹), colectadas en los municipios mexiquenses de Acambay, Jocotitlán, Mexicaltzingo, Metepec y Lerma. Los componentes principales 1 (35%) y 2 (21.7%) explicaron

These values are higher than the state average of Mexico, which is 6 t ha⁻¹ and are located within the range recorded by Baginsky *et al.* (2013) of 7.6 to 15.7 t ha⁻¹. In Mexico 2012 the average yield was 5.96 t ha⁻¹. These averages show that 19 cultivars were outstanding, and another 13 had the national average (Quadrants 1 and 2 of biplot Figure 1).

Green yield is being handled as industrial yield. For frozen broad bean is of interest the grain percentage, that will be harvested from the pods. In this context, 10 of the 35 cultivars could be used in Mexican industry. In another study it was observed that the collection 7 comes from the municipality of Jocotitlán (11.5 t ha⁻¹), was separated from the rest of the cultivars planted for dry production when the molecular analysis using ISSR markers was performed, fact that suggests that this is very contrasting genetically and could be used as a parent in a new breeding program (Salazar *et al.*, 2015).

Analyzing the interrelationships between cultivars and variables was observed that the main components 1 (35%) and 2 (21.7%) accounted for 56.7% of the original total variation (Figure 1). Sanchez (1995) mentioned that these percentages are desirable to reliably interpret the correlations that can be observed on a biplot. Orozco *et al.* (2013) and Perez *et al.* (2014) r that cultivars 1, 5, 7, and 35, collected in the municipalities of Acambay, Jocotitlán and Lerma and planted for dry harvest, were the most outstanding in floral nodes, pods per plant, pod weight per plant, seeds per plant, total weight of seeds, clean seeds and clean seed weight; in this study, except for the second cultivar, the other three were very outstanding in RV.

In the biplot from Figure 1 can be noted that other outstanding cultivars for RV were identified as 2, 4, 6, 8 and 31, the first four come from Acambay and the last from Metepec. These and cultivars 1, 7, and 35 is the fraction from the most recommended genetic material for commercial planting whose purpose is the production of green or dry pod (Orozco *et al.*, 2013; Perez *et al.*, 2014). It can also be inferred that green yield was determined mainly by seed weight and pods per plant. These results are similar to those reported by Yahia *et al.* (2012) and Mohamed *et al.* (2013). The dispersion of the 35 cultivars in the four quadrants confirms the existence of genetic variability available for a new breeding program.

56.7% de la variación total. La dispersión de los 35 cultivares en los cuatro cuadrantes del biplot sugiere la existencia de variabilidad genética disponible para un nuevo programa de fitomejoramiento; número de vainas, peso de semilla por planta y tamaño de la semilla contribuyeron a un mayor rendimiento en verde y estas variables podrían usarse como criterio de selección indirecta para incrementar el rendimiento y los componentes primarios del rendimiento en esta región del centro de México.

Literatura citada

- Alan, O. and Geren, H. 2007. Evaluation of heritability and correlation for seed yield and yield components in faba bean (*Vicia faba* L.). *J. Agron.* 6(3):484-487.
- Annicchiarico, 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.
- 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.
- Baginsky, C.; Silva, P.; Auza, J. and Acebedo, E. 2013. Evaluation for fresh consumption of new broad bean genotypes with a determinate growth habit in central Chile. *Chilean J. Agric. Res.* 73(3):225-232.
- Bascur, B. G. 1997. Adaptación de la variedad de haba (*Vicia faba* L.) Portuguesa-INIA para la producción en grano seco y uso agroindustrial en la zona centro Norte de Chile. *Agríc. Téc.* 57(1):70-76.
- Bond, D. A.; Lewes, G. C.; Hawtin, M. C.; Saxena, C. and Stephens, H. F. 1985. Faba bean (*Vicia faba* L.). In: Summerfield, R. J. and Roberts, E. H. (Eds.), *Grain Legumes Crops*. Collins, London.
- 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.
- Filippetti, A. and de Pace, C. 1984. Genetic parameters and selection in *Vicia faba* L. VII. Variability in *Vicia faba* minor x *Vicia faba* mayor progenies. *Genética Agr.* 38:169-182.
- Fikreselassie, M. and Seboka, H. 2012. Genetic variability on seed yield and related traits of elite Faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *Pakistan J. Biol. Sci.* 15(8):380-385.
- Flores, F.; Hybl, J. M.; Knudsen, C.; Marget, P.; Muel, F.; Nadak, S.; Narits, L.; Raffiot, B. and Sass, O. 2013. *Field Crops Research* 145: 1-9.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. México. 246 p.
- Mera, M. 1999. Leguminosas de grano de las tribus Viciaeae y Cicerae. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Universidad de la Frontera. 15(1):1-15.
- 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.

Conclusions

The top fraction of the genetic material in seed size and pod, greenness index, leaflets per leaf and green yield was represented by populations identified as 1, 2, 4, 6, 7, 8, 20, 31, 32 and 35 (from 11.15 to 12.83 t ha⁻¹) collected in Acambay, Jocotitlán, Mexicaltzingo, Lerma and Metepec, municipalities from the State of Mexico. The main components 1 (35%) and 2 (21.7%) accounted for 56.7% of the total variation. The dispersion of the 35 cultivars in the four quadrants of the biplot suggests the existence of genetic variability available for a new breeding program; number of pods, seed weight per plant and seed size contributed to increased green yield and these variables could be used as criteria for indirect selection to increase yield and primary components from yield in this region from central Mexico.

End of the English version



- Mohammed, O. A. A.; Hamid, A. A. and Bakheit, G. M. 2013. Correlation between seed yield components in Faba bean (*Vicia faba* L.). *Av. Environ. Biol.* 7(1):82-85.
- Nadal, S.; Moreno, M. T. y Cubero, J. I. 2004. Registration of "Retaca" Faba Bean. *Crop Sci.* 44:18-65.
- Orozco, C. N.; Pérez, L. D. J.; González, H. A.; Franco, M. O.; Gutiérrez, R. F.; Rubí, A. M. Castañeda, V. A. 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.; 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.
- Reynoso, Q. C. A.; González, H. A.; Pérez, L. J.; Franco, M. O.; Torres, F. J. L.; Velázquez, G. A. C.; 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.
- 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. Agríc.* 3(1):35-49.
- Salazar, L. M. E.; Pérez, L. D. J.; González, H. A.; Vázquez, G. L. M. and Valadez, M. E. 2015. Genetic variability analysis of faba bean accessions using Inter-simple sequence repeat (ISSR) markers. *Chilean J. Agric. Res.* 75(1):122-130.
- 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.

- Singh, S. P.; Singh, N. P. and Pandey, R. K. 1987. Irrigation studies in faba bean. *Fabis Newsletter* 18: 24-26.
- Suso, M. J.; Moreno, M. T.; Mondragao, R. F. and Cubero, J. I. 1996. Reproductive biology of *Vicia faba* L: Role of pollination conditions. *Field Crops Res.* 46:81-91.
- Suso, M. J.; Moreno, M. T. and Cubero, J. I. 1993. New isozyme markers in *Vicia Faba*: inheritance and linkage. *Plant Breeding* 40:105-111.
- 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.
- 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.