

Variabilidad fenotípica en colectas de haba provenientes del Valle Toluca-Atlacomulco, México

María Elena Salazar Laureles¹
Delfina de Jesús Pérez López^{1§}
Andrés González Huerta¹
Luis Miguel Vázquez García²

¹Universidad Autónoma del Estado de México-Facultad de Ciencias Agrícolas-Campus Universitario 'El Cerrillo'. El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, México. CP. 50200. Tel. 01(722) 2965529. ²Centro Universitario Tenancingo-Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Tenancingo-Villa Guerrero km 1.5, Ex-hacienda Santana, Estado de México. CP. 52400. (agonzalezh@uaemex.mx; mesl2003@yahoo.com.mx; lmvazquezg@uaemex.mx.

§Autora para correspondencia: djperezl@uaemex. mx.

Resumen

Este estudio se realizó en el ciclo primavera-verano de 2014 en San Mateo Atenco, estado de México, México, con el objetivo de estimar los componentes de varianza y la heredabilidad en 39 cultivares de haba e identificar material genético sobresaliente a partir de caracteres cuantitativos y cualitativos. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los caracteres cualitativos se describieron de acuerdo con la guía técnica para la descripción varietal en haba del servicio nacional de inspección y certificación de semillas (SNICS). Los resultados mostraron significancia estadística ($p \leq 0.01$) entre cultivares para cada carácter cuantitativo. La heredabilidad en sentido amplio varió de 30.7 a 99%. El mayor rendimiento de semilla se registró en las colectas identificadas como T8 (4.16 t ha⁻¹), T5 (3.9 t ha⁻¹) y T 27 (3.8 t ha⁻¹). El análisis de componentes principales explicó 65.2% de la variación total original y en éste se observó que el rendimiento se correlacionó positiva y significativamente con número de vainas, peso de vaina y peso de semilla. En el análisis de conglomerados se formaron cuatro grupos, de los cuales el tercero de éstos incluyó a las poblaciones de haba con los mejores descriptores agronómicos evaluados.

Palabras clave: *Vicia faba* L., análisis de caracteres morfológicos y agronómicos, análisis multivariado, Valles Altos del Centro de México.

Recibido: enero de 2019

Aceptado: marzo de 2019

Introducción

El estudio de la variabilidad basada en los rasgos morfológicos y agronómicos es una herramienta fundamental en los esquemas de mejoramiento genético y en la conservación eficiente de germoplasma (Pearce *et al.*, 2000; Cordeiro *et al.*, 2003). El haba es una especie parcialmente alógama, lo que hace más caro y difícil el mantenimiento de la identidad genética de los cultivares (Pearce *et al.*, 2000; Duc *et al.*, 2010), por ello los criollos o nativos que a través del tiempo han fijado genes de interés, representan una importante fuente de germoplasma (Yahia *et al.*, 2012).

Desde hace dos décadas se han hecho estudios intensivos sobre la variabilidad fenotípica que existe en caracteres de interés agronómico: en el Mediterráneo, Suso *et al.* (1993); Terzopoulos *et al.* (2003), en Alemania y Francia se ha encontrado amplia variabilidad en floración, precocidad, hábito de crecimiento, arquitectura del tallo, longitud de entrenudos, número de ramas, tipo de crecimiento y rigidez del tallo (Arbaoui *et al.*, 2008), en Siria se ha reportado amplia diversidad en la pigmentación del tallo, tamaño y forma de los folíolos, color de la mancha de melanina en el ala y el estandarte, ángulo, forma, superficie, color y distribución de las vainas, y en diversos colores en la semilla, en la testa y en el *hilium* (Robertson y El-Sherbeeney, 1991), en Etiopía las habas son diferentes principalmente en el tamaño de las hojas y en la posición y color de las vainas.

En China, Li-juan *et al.* (1993) encontraron que los cultivares se diferenciaron básicamente en el tamaño de la vaina, en el número de semillas por vaina y en el color de la semilla. La sanidad, el tamaño y el color de las semillas son características muy importantes para los agricultores mexicanos y ellos los emplean para identificar cultivares sobresalientes (Díaz *et al.*, 2008; Escalante *et al.*, 2012). Duc *et al.* (2010) reportaron cerca de 38 000 accesiones de haba agrupadas en 37 colecciones, la mayoría provenientes de Asia, África y Europa. En América y particularmente en México, no se cuenta con un banco de genes confiable que resguarde la diversidad genética del germoplasma existente.

El mejoramiento genético y la generación de tecnología en esta leguminosa es incipiente, los agricultores de esta región del Centro de México son los poseedores de las poblaciones nativas que ellos han seleccionado empíricamente y también lo son del paquete tecnológico que usan en su explotación (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 describir 23 caracteres agronómicos en 39 cultivares de haba colectadas en el Valle Toluca-Atlacomulco, México, con base en la guía técnica de la descripción varietal de semillas del SNICS (2001), para identificar materiales sobresalientes que permita su recomendación en siembra comercial, iniciar nuevos programas de fitomejoramiento o generar tecnología.

Materiales y métodos

Descripción del área de estudio

Este trabajo se realizó en el ciclo primavera verano de 2014 en el Barrio de Guadalupe, Municipio de San Mateo Atenco, Estado de México, México, ubicado a 99° 31' 10" latitud norte y 99° 34' 05" de longitud oeste, a 2 570 msnm. Los suelos predominantes son de origen aluvial y 87% de su

superficie son del tipo feozem. El clima común es C (w₂) (w) b (i'') g; es decir, templado subhúmedo, con verano largo y lluvia invernal. Su temperatura media varía de 10 a 12° C y la precipitación oscila entre 700 y 900 mm (García, 1988).

Material genético

Se consideraron 39 cultivares de haba, 35 de éstas fueron colectadas en los Municipios Mexiquenses de Acambay, Jocotitlán, Calimaya, Mexicaltzingo, Santa Cruz Atizapán, Santiago Tianguistenco, Almoloya del Rio, Toluca, Zinacantepec, Metepec, Lerma y San Felipe del Progreso. Las otras cuatro fueron formadas por el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX). En el Cuadro 1 se muestra el código de identificación, el lugar de colecta, las características de las semillas, la altitud y las coordenadas geográficas de los municipios donde fueron colectadas.

Diseño experimental y tamaño de la parcela

Los 39 cultivares se establecieron en campo en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela constó de tres surcos de 4 x 0.8 m y el surco central fue la parcela útil (3.2 m²).

Manejo agronómico

La preparación del terreno fue mecánica. La siembra se realizó el 20 de abril de 2014. La fertilización orgánica consistió en aplicar 2.5 t ha⁻¹ de estiércol de bovino. Se suministraron dos riegos de auxilio después de la siembra (7 de mayo y 7 de junio), se hicieron dos escardas (17 de mayo y 8 de junio) y el control de malezas fue manual. La cosecha se realizó después que el material genético alcanzó la madurez fisiológica.

Cuadro 1. Código de identificación, lugar de colecta, altitud y coordenadas geográficas donde se ubican los sitios de colecta de las 39 accesiones.

Código	Lugar de colecta	Altitud (m)	Coordenadas geográficas
T1, T2, T3, T4, T5, T6, T8, T9	Acambay	2 440	19° 57' 16'' N 99° 50' 39'' O
T7	Jocotitlán	2 200-3 400	19° 42' 26'' N 99° 47' 12'' O
T10, T11, T12, T13, T14, T15, T16, T17, T18, T19, T34	Calimaya	2 690	19°10' 25'' N 99°37' 02'' O
T20	Mexicaltzingo	2 600	19° 13' 15'' N 99° 33' 05'' O
T23	Santa Cruz Atizapán	2 600	19° 09' 27'' N 99° 29' 19'' O
T21, T22, T24, T25, T37	Santiago Tianguistenco	2 622	19° 10' 08'' N 99° 28' 01'' O
T26, T33, T35	Toluca	2 680	19° 17' 32'' N 99° 39' 14'' O
T27	Zinacantepec	1 160	19°17' 00'' N 99° 44' 00'' O
T28	Almoloya del Rio	2 610	19°10' 00'' N 99° 29' 00'' O
T29, T30, T31, T32, T39	Metepec	2 635	19° 15' 04'' N 99° 36' 17'' O
T36	Lerma	2 570	19° 17' 05'' N 99° 30' 43'' O
T38	San Felipe del Progreso	2 570-2 650	19° 57' 16'' N 99° 50' 39'' O

Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (2011).

Variables registradas

Se eligieron 10 plantas como unidad de muestreo en cada una de las unidades experimentales útiles y se registraron 23 variables: 12 cualitativas y 11 cuantitativas. Las variables cuantitativas fueron número de tallos (NT), número de nudos (NN), número de foliolos (NF0), porcentaje de floración (PF), número de flores por nudo (NFN), número de vainas por planta (NVP), peso de vaina (PVP, g), número de semillas por vaina (NSV), peso de 100 semillas (P100S, g). Se registró el peso de semilla por parcela experimental (PSP) y con éste se estimó el rendimiento de grano por hectárea (RHA). Las variables cualitativas registradas con la guía técnica para la descripción varietal de haba del servicio nacional de inspección y certificación de semillas (SNICS, 2000) fueron: hábito de crecimiento (HC), altura de planta (AP), coloración de antocianinas (CA), color del follaje (CF) extensión de la coloración de las antocianinas en la flor (ECA), presencia de la mancha de melanina en el ala (PMM), color de mancha de melanina en el ala (CMMA), mancha de melanina en el estandarte (MME), coloración de las antocianinas en el estandarte (CAE), porte de la vaina (PV), grado de curvatura de la vaina (GCV), intensidad de coloración verde de la vaina (ICVV), forma de la semilla (FS), color de la semilla (CS) y presencia de *hiliium* (PH).

Análisis estadístico

Se hizo un análisis de varianza y sus cuadrados medios fueron empleados para calcular los componentes de varianza y la heredabilidad en sentido amplio (H^2), este último considerado como un estimador de la variabilidad genética existente entre accesiones (Pérez *et al.*, 2007). También se realizó una comparación de medias entre cultivares con la prueba de Tukey ($\alpha=0.01$). Las medias aritméticas de cada cultivar para las 11 variables cuantitativas fueron utilizados para obtener una matriz de datos: los cultivares se asignaron a las hileras y los valores de cada variable a las columnas. Con esta matriz se obtuvieron los análisis de componentes principales (ACP; Sánchez, 1995) y de conglomerados (método de la media aritmética no ponderada, UPGMA Method). Ambos análisis se realizaron con el sistema para análisis estadístico Statistical Analysis System (SAS, 1988), pero la gráfica del biplot se hizo con Microsoft Excel 2010, usando las puntuaciones de los dos primeros componentes principales (Pérez *et al.*, 2009).

Resultados y discusión

Análisis de varianza

En el presente estudio (Cuadro 2) se observó que los efectos entre cultivares fueron altamente significativos en número de nudos (NN), porcentaje de floración (DAF), número de flores por planta (NF), vainas por planta (NVP), peso de vaina por planta (PVP), número de semillas por vaina (NSV), peso de 100 semillas (P100S), peso de semilla por parcela (PSP) y rendimiento por hectárea (RHA). Estos resultados son similares a los reportados por Yahia *et al.* (2012) y permiten deducir que para estas variables es posible la identificación de material genético sobresaliente.

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F para las variables cuantitativas.

FV	GL	NT	NN	NFo	PF	NFN
Repeticiones	2	0.681 ns	1.44 ns	1.64 ns	1.44 ns	0.7 ns
Tratamientos	38	2.39*	8.16**	0.16 ns	192.59**	0.63**
Error	76	1.41	1.17	0.11	23.5	0.16
Total	116					
CV (%)		18.59	10.5	6.89	26.73	9.06
X		6.39	10.3	4.85	18.13	4.51

**= significativo al 0.01; *= significativo al 0.05; ns= no significativo; FV= fuente de variación; CV= coeficiente de variación; GL= grados de libertad; NT= número de tallos; NN= número de nudos; NFo= número de foliolos; PF= porcentaje de floración; NFN= número de flores por nudo.

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de los valores de F para las variables cuantitativas (continuación).

FV	GL	NVP	PVP	NSV	P100S	PSP	RHA
Repeticiones	2	2.03 ns	72.23 ns	0.071 ns	121.53 ns	16.38 ns	0.097 ns
Tratamientos	38	347.3**	5326.08**	0.21**	4857.08**	4274.45**	3.878**
Error	76	0.99	16.21	0.027	327.84	7.9	0.102
Total	116						
CV (%)		5.65	4.99	9.46	9.55	4.3	15.57
X		17.65	80.63	1.74	189.59	65.36	2.06

**= significativo al 0.01; *= significativo al 0.05; ns= no significativo; FV= fuente de variación; CV= coeficiente de variación; GL= grados de libertad; NVP= número de vainas por planta; PVP= peso de vaina por planta; NSV= número de semillas por vaina; P100S= peso de 100 semillas; PSP= peso de semillas por parcela; RHA= rendimiento por hectárea.

Componentes de varianza y heredabilidad

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 la variabilidad genética (H^2) que existe entre cultivares cuando se emplean los cuadrados medios del análisis de varianza (Shimelis y Shringani, 2010). En el presente estudio se observó que en la mayoría de los caracteres cuantitativos la H^2 varió de 30.7 a 99.8% (Cuadro 3). En caracteres cuantitativos, como el rendimiento de semilla, es deseable que los valores de H^2 sean superiores al 50% (Filippetti y Ricciardi, 1988; Khare y Singh, 1991; Bakheit, 1992) para contribuir a una mayor respuesta a la selección o para optimizar la asociación genotipo x ambiente. Alan y Geren (2007) reportaron heredabilidades menores al 50% en altura de planta (29%), número de tallos (17.6%), vainas por planta (3%), semillas por vaina (47%) y peso de 100 semillas (30%).

Cuadro 3. Componentes de varianza y heredabilidad en sentido amplio (H^2) en 11 variables cuantitativas evaluadas en 39 cultivares de haba.

Variable	σ_G^2	σ_f^2	H^2
NT	0.32	0.79	40.5
NN	2.33	2.72	85.6
NFo	0.016	0.052	30.7
PF	53.36	61.19	87.2
NFN	0.15	0.2	75
NVP	115.4	115.73	99.7
PVP	1769.9	1775.3	99.6
NSV	0.061	0.07	87.1
P100S	1509.7	1618.9	93.2
PSP	1422.18	1424.81	99.8
RHA	125	128	97.6

NT= número de tallos; NN= número de nudos; NFo= número de foliolos; PF= porcentaje de floración; NFN= número de flores por nudo; NVP= número de vainas por planta; PVP= peso de vaina por planta; NSV= número de semillas por vaina; P100S= peso de 100 semillas; PSP= peso de semilla por parcela; RHA= rendimiento por hectárea.

Análisis de componentes principales

En el biplot que se construyó con los cultivares y las variables se observó que los componentes principales 1 (41.6%) y 2 (23.6%) explicaron 65.2% de la variación total original (Figura 1). Sánchez (1995); Pérez *et al.* (2009) mencionaron que este porcentaje es deseable para interpretar confiablemente las correlaciones que existen entre ambos. La dispersión de los 39 cultivares en los cuatro cuadrantes del biplot sugiere que hay variabilidad genética que está disponible para iniciar un nuevo programa de mejoramiento. La variabilidad fenotípica que se detectó en las 39 colectas de haba fue mayor en NN, PF, NF, NVP, PVP, P100S, PSP y RHA. La colecta 8 (T8), proveniente de Tixmadejo, Municipio de Acambay, mostró un rendimiento de 4.16 t ha⁻¹, valor mayor al promedio nacional que es de 0.99 t ha⁻¹. T8 también mostró superioridad en número de nudos (11.76), porcentaje de floración (90%) y peso de vaina por planta (152.83 g), seguido de P5 (Pueblo Nuevo, Acambay) y P27 (Santa Cruz Cuauhtenco, Zinacantepec) (Cuadro 4).

Estos resultados son similares a los observados por Neal y Mcvetty (1983) quienes concluyeron que de 68.5 a 76.4% de la variabilidad en el rendimiento de semilla se debe al número de vainas producidas por planta (Singh *et al.*, 1987; De Costa *et al.*, 1997; Chaieb *et al.*, 2011), a semillas por vaina (Alan y Geren, 2007), al peso de 100 semillas (Baginsky *et al.*, 2013) y al tamaño de la semilla (Al-Refaee *et al.*, 2004; Mohammed *et al.*, 2013). Aunque el número de vainas por planta ha sido considerado por muchos autores como la principal fuente de variación en el rendimiento del cultivo de haba (en condiciones muy favorables se llega a producir un exceso de vainas y también de abortos), el número de semillas por metro cuadrado (dependiendo del número de vainas) es el factor que más afecta al rendimiento.

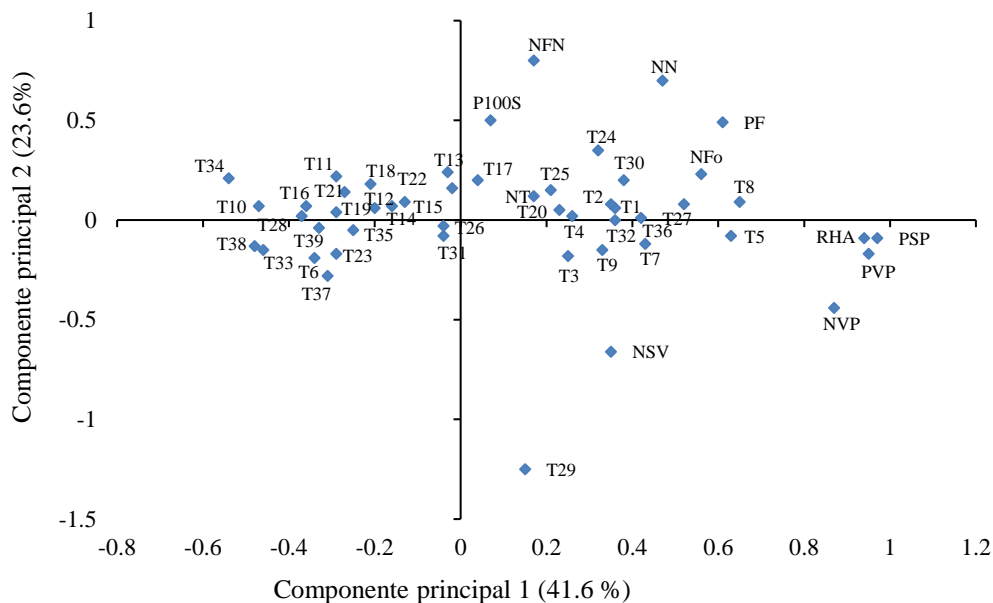


Figura 1. Interrelaciones entre 39 cultivares de haba (en número) y 11 variables agronómicas (en letra).

Cuadro 4. Comparación de medias de 11 variables agronómicas.

Código	NT	NN	NFo	PF	NFN	NVP
T1	7.7 a	11.73 ab	4.93 a	87.53 ab	4.43 a	26.93 e-g
T2	7.56 a	10.56 a-d	4.76 a	79.44 ab	4.73 a	23.33 g-h
T3	7.56 a	10.96 a-c	4.93 a	86.84 ab	4.43 a	25.03f-h
T4	4.43 a	11.3 a-c	5.03 a	75.59 a-c	4.5 a	22.33 h-i
T5	7.66 a	11.3 6 a-c	5.2 a	79.44 ab	4.56 a	37.5 b
T6	5.83 a	8.63 a-f	4.46 a	64.41 a-d	3.9 ab	14.03 kl
T7	6.1 a	11.36 a-c	4.8 a	77.06 ab	4.26 a	33.7 c-d
T8	6.7 a	11.76 ab	5.1 a	90.9 a	4.86 a	35.5 b-c
T9	6.1 a	10.43 a-d	4.86 a	57.28 a-f	4.6 a	29.03 e
T10	5.93 a	10 a-e	4.53 a	64.51 a-e	4.5 a	3.73 o-p
T11	7.73 a	9.96 a-e	4.46 a	63.41 a-e	4.76 a	7.5 n
T12	5.7 a	10.96 a-c	4.73 a	59.14 a-g	4.46 a	12.06 lm
T13	7.2 a	11.3 a-c	5.06 a	62.2 a-e	4.46 a	12.66 lm
T14	5.1 a	10.63 a-d	4.8 a	53.79 a-g	4.63 a	13.36 kl
T15	5.56 a	10.86 a-c	4.86 a	45.78 a-g	4.53 a	12.36 lm
T16	5.9 a	11.2 a-c	4.6 a	51.17 a-g	4.26 a	7.7 n
T17	6.33 a	11 a-c	4.96 a	72.39 a-c	5 a	16.53 j-k
T18	6.63 a	10.56 a-d	5 a	63.89 a-e	4.56 a	8.1 n
T19	5.4 a	10.93 a-c	5.03 a	63.79 a-e	4.4 a	7.16 no
T20	6.66 a	11.43 a-c	5.1 a	69.13 a-c	4.53 a	23.43 g-h

Código	NT	NN	NFo	PF	NFN	NVP
T21	6.56 a	9.96 a-e	4.7 a	69.13 a-c	4.93 a	9.03 m-n
T22	7.03 a	10.76 a-d	4.76 a	72.03 a-c	4.76 a	13.93 kl
T23	5.73 a	10.36 a-d	4.5 a	57.44 a-g	4.23 a	12.66 lm
T24	6.26 a	11.96 a	4.83 a	75 ab	4.6 a	16.93 j-k
T25	7.26 a	11.66 ab	5.1 a	80.64 ab	4.93 a	21.76 h-i
T26	5.2 a	11.03 a-c	4.8 a	56.1 a-g	4 a	16.76 j-k
T27	7.56 a	11.8 ab	4.93 a	79.11 ab	4.9 a	27.6 e-f
T28	6.1 a	10.3 a-e	4.36 a	63.79 a-e	4.4 a	3.43 p
T29	5.73 a	4.7 f	4.56 a	0 g	2.43 b	48.23 a
T30	6.5 a	10.93 a-c	5.26 a	60.36 a-g	5.36 a	23.03 h
T31	5.83 a	9.73 a-e	4.86 a	46.66 a-g	4.06 a	18.9 i-j
T32	5.83 a	11.36 a-c	4.96 a	71.89 a-c	4.9 a	29.36 e
T33	6.96 a	06.3 e-f	4.86 a	2.024 f-g	4.8 a	5.56 n-p
T34	6.43 a	10.96 a-c	4.66 a	38.7 b-g	4.53 a	2.9 p
T35	7.93 a	6.83 d-f	5.36 a	2.024 f-g	4.83 a	12.16 lm
T36	6.13 a	11.73 ab	5.13 a	75.75 ab	4.83 a	30.03 de
T37	7.03 a	7.8 b-f	4.76 a	9.58 e-g	4 a	7.8 n
T38	7.96 a	7.46 c-f	4.66 a	11.22 d-g	4.7 a	7.4 no
T39	4.56 a	8.96 a-e	4.8 a	25.42 c-g	4.3 a	9.1 m-n

NT= número de tallos; NN= número de nudos; NFo= número de foliolos; PF= porcentaje de floración; NFN= número de flores; NVP= número de vainas por planta. Valores medios con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente (Tukey, $p= 0.01$).

Cuadro 4. Comparación de medias de 11 variables agronómicas (continuación).

Código	PVP	NSV	P100S	PSP	RHA
T1	112.23 ef	1.73 c-e	186.8 b-k	100.66 fg	3.1 a-f
T2	133.43 c	1.8 cd	236.13 b-d	107.63 d-f	3.33 a-e
T3	91.66 gh	2.5 a	142.63 h-l	71.23 ij	2.16 e-l
T4	109.36 f	1.83 b-d	209.07 b-h	97.46 fg	2.96 b-g
T5	139.40 a-c	2.03 a-d	170 d-l	127.3 ab	3.9 ab
T6	64.56 k-n	1.56 de	141.33 i-l	26.56 s-v	0.82 m-p
T7	151.23 ab	1.63 de	139.73 j-l	115.13 cd	3.56 a-c
T8	152.83 a	1.73 c-e	190.6 b-k	135.2 a	4.16 a
T9	130.73 cd	2.03 a-d	181.6 c-k	105.23 d-g	3.23 a-e
T10	16.9 tu	1.63 de	167.73 e-l	12.2 wx	0.37 p
T11	48.7 o-r	1.5 de	241.33 bc	36.03 p-s	1.1 k-p
T12	52.56 n-q	1.63 de	187.87 b-k	44.36 n-p	1.33 j-p
T13	69.86 j-m	1.46 de	237.6 bc	58.06 k-m	1.76 h-m
T14	60.86 l-o	1.6 de	184 c-k	48.53 m-o	1.46 i-p
T15	64.9 k-n	1.63 de	213.33 b-g	52.56 l-n	1.6 i-o
T16	39.53 q-s	1.53 de	191.8 b-k	27.8 s-v	0.86 m-p
T17	77 h-k	1.63 de	197.87 b-k	65.9 jk	2 f-m

Código	PVP	NSV	P100S	PSP	RHA
T18	44.7 p-r	1.6 de	202.93 b-j	32.7 q-t	0.99 l-p
T19	29.3 st	1.8 cd	148 g-l	21 u-w	0.65 op
T20	103.06 fg	1.73 c-e	177.33 c-l	82.76 h	2.53 c-i
T21	39.3 q-s	1.63 de	165.73 f-l	29.63 r-u	0.92 m-p
T22	73.06 i-l	1.7 c-e	215.47 b-f	59.6 kl	1.8 g-n
T23	46.56 o-r	1.93 a-d	133.87 kl	33.8 q-s	1 l-p
T24	127.56 cd	1.43 de	334.93 a	114.4 c-e	3.53 a-d
T25	87.26 hi	1.8 cd	167.2 e-l	76.7 hi	2.36 d-j
T26	87.5 hi	1.56 de	195.33 b-k	65.43 jk	2 f-m
T27	136.33 bc	2.03 a-d	222.93 b-f	123.06 bc	3.8 ab
T28	16.73 tu	1.63 de	163.83 f-l	12.33 wx	2.6 c-i
T29	137.86 bc	2.43 ab	111.2 l	107.7 d-f	3.3 a-e
T30	125.86 c-e	1.63 de	209.6 b-h	112.23 de	3.43 a-d
T31	82.5 h-j	1.53 de	194.67 b-k	72.43 h-j	2.2 e-k
T32	117.23 d-f	1.9 a-d	177.47c-l	104.63 e-g	3.23 a-e
T33	36 rs	1.93 a-d	207.87 b-i	23.26 t-v	0.72 n-p
T34	11.1 u	1.16 e	159.87 f-l	9.1 x	0.28 p
T35	55.3 m-p	1.53 de	166.53 f-l	40.7 o-q	1.23 j-p
T36	134.76 c	1.93 a-d	158.4 f-l	95.06 g	2.93 b-h
T37	52.8 n-q	2.26 a-c	252 b	39.43 o-r	1.2 j-p
T38	29.26 st	1.83 b-d	175.33 c-l	18.23 v-x	0.56 op
T39	54.7 n-p	1.56 de	234.27 b-e	43.03 n-q	1.3 j-p

PVP= peso de vaina por planta; NSV= número de semillas por vaina; P100S= peso de 100 semillas; PSP= peso de semilla por parcela; RHA= rendimiento por hectárea. Valores medios con la misma letra dentro de cada columna son iguales estadísticamente (Tukey, $p= 0.01$).

Análisis de conglomerados

En el dendograma de la Figura 2, al cortar a una distancia promedio entre conglomerados de 0.8 unidades, se identificaron cuatro grupos. En el grupo IV sólo se observó al cultivar 24, proveniente de Santiago Tianguistenco, con valores significativos en NN, NFo, NFP y P100S, fue el más alto con respecto a todas las poblaciones y tuvo 3.53 t ha⁻¹. Estos resultados son similares a los encontrados por Alan y Geren (2007); Baginsky *et al.* (2013), quienes comentaron que estos caracteres influyen de manera importante en el rendimiento.

En el grupo II fueron comunes los cultivares identificados como T7 y T29, provenientes de Los Reyes, Jocotitlán y la variedad San Isidro de Metepec, respectivamente, ambos mostraron características deseables en NT, NFo, PVP y produjeron más de 3 t ha⁻¹, el grupo I quedó conformado por T1, T32, T9, T36, T5, T8, T2, T27, T4, T30, T3, T26, T31, T17, T20 y T25, las primeras 13 pertenecen a la parte norte y centro del Valle Toluca-Atzacmulco, las tres últimas a la zona sur este, en términos de los caracteres agronómicos evaluados es el grupo más importante porque aglomera a las mejores poblaciones. En contraste, en el grupo III se clasificaron el resto de los cultivares con los valores medios más bajos. Tales resultados coinciden con Duc *et al.* (2010), quienes comentan que la respuesta de los genotipos es diferencial, ya que la adaptación al ambiente y su interacción con éste es determinante en una expresión fenotípica deseable.

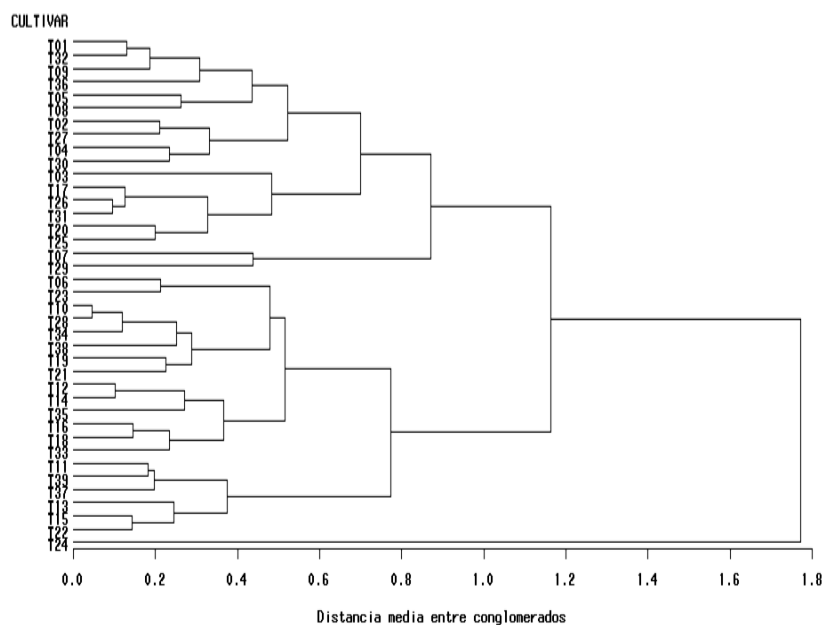


Figura 2. Agrupación de 39 cultivares de haba con base en 11 variables agronómicas. Método de agrupamiento de pares no ponderados con medias aritméticas (método UPGMA).

Caracteres cualitativos

La identificación de variabilidad genética entre y dentro de cultivares permite seleccionar variedades con características agronómicas deseables y contribuye al aumento parcial de la producción y de la calidad de la semilla de haba. La descripción varietal permite una discriminación fácil y rápida entre fenotipos (Franco e Hidalgo, 2003), generalmente son consideradas características altamente heredables, fácilmente detectadas a simple vista y con poca o nula variación a través de los ambientes (Pérez *et al.*, 2007). En esta investigación, se observaron diferencias fenotípicas en las 39 poblaciones en hábito de crecimiento (HC) determinado (D) y color verde grisáceo, excepto T29 (San Isidro) que fue verde y T35 que fue verde azulado, 12 cultivares presentaron coloración de antocianinas en el follaje, la extensión de la coloración de las antocianinas fue grande sólo en T8, en 23 poblaciones fue mediana y en 15 pequeña, la presencia de mancha de melanina la registraron todas las poblaciones, el color de la mancha fue café, hubo presencia de mancha de melanina pero con ausencia de coloración (Cuadros 5 y 6).

El porte de la vaina fue semierecto en 26 poblaciones, erecto en ocho y horizontal en cinco, ésta es importante para los productores ya que un ángulo recto de la vaina favorece la madurez fisiológica, la cosecha mecanizada y la resistencia y tolerancia a la sequía (Gresta *et al.*, 2009), no hubo grado de curvatura en 24 poblaciones, dos fueron de curvatura media y 13 débil, la intensidad del color verde de la vaina fue media en 20 poblaciones, débil en 13 y fuerte en seis. La forma de la semilla fue ovada en 21 poblaciones, oblonga en 15, elíptica en dos y sólo en T29 fue rectangular, el color de la semilla fue café claro en todas las poblaciones excepto en T30 que fue jaspeado, todos los materiales presentaron hilium (Cuadro 7). Los caracteres morfológicos de tipo cualitativos, como hábito de crecimiento de las hojas y de las flores, entre otros, son los que permiten la identificación visual de los genotipos en campo, pero una mayor o menor uniformidad y adaptación de los genotipos influirá en su uso final por parte de los productores (Madriz y Luciani, 2002).

Cuadro 5. Características de planta y follaje de 39 poblaciones de haba colectadas en el Valle Toluca-Atlacomulco, México.

Código	Planta		Follaje	
	HC	A	CA	C
T1	D	M	P	VG
T2	D	M	P	VG
T3	D	M	P	VG
T4	D	M	P	VG
T5	D	A	P	VG
T6	D	A	A	VG
T7	D	A	P	VG
T8	D	A	P	VG
T9	D	M	P	VG
T10	D	A	A	VG
T11	D	A	A	VG
T12	D	A	A	VG
T13	D	M	A	VG
T14	D	M	A	VG
T15	D	M	A	VG
T16	D	M	A	VG
T17	D	A	A	VG
T18	D	M	A	VG
T19	D	M	P	VG
T20	D	A	P	VG
T21	D	M	A	VG
T22	D	M	A	VG
T23	D	M	A	VG
T24	D	A	A	VG
T25	D	M	A	VG
T26	D	M	A	VG
T27	D	A	A	VG
T28	D	M	A	VG
T29	D	B	A	V
T30	D	M	P	VG
T31	D	A	A	VG
T32	D	A	A	VG
T33	D	M	A	VG
T34	D	M	A	VG
T35	D	M	A	VA
T36	D	M	P	VG
T37	D	M	A	VG
T38	D	M	A	VG
T39	D	M	A	VG

HC= hábito de crecimiento; D= determinado; I= indeterminado; A= altura; B= baja; M= media; A= alta; CA= coloración de antocianinas; P= presente; A= ausente; C= color; V= verde; VA= verde azulado; VG= verde grisáceo.

Cuadro 6. Características de flor de 39 poblaciones de haba colectadas en el Valle Toluca-Atlacomulco, México.

Código	Flor					
	LF	ECA	PMM	CM	MM	CA
T1	G	M	P	C	P	A
T2	G	M	P	C	P	A
T3	G	P	P	C	P	A
T4	G	M	P	C	P	A
T5	G	M	P	C	P	A
T6	G	M	P	C	P	A
T7	G	M	P	C	P	A
T8	G	G	P	C	P	A
T9	G	M	P	C	P	A
T10	G	P	P	C	P	A
T11	G	M	P	C	P	A
T12	G	M	P	C	P	A
T13	G	P	P	C	P	A
T14	G	M	P	C	P	A
T15	G	P	P	C	P	A
T16	G	P	P	C	P	A
T17	G	M	P	C	P	A
T18	G	P	P	C	P	A
T19	G	P	P	C	P	A
T20	G	P	P	C	P	A
T21	G	M	P	C	P	A
T22	G	M	P	C	P	A
T23	G	P	P	C	P	A
T24	G	P	P	C	P	A
T25	G	M	P	C	P	A
T26	G	M	P	C	P	A
T27	G	P	P	C	P	A
T28	G	M	P	C	P	A
T29	M	P	P	C	P	A
T30	G	M	P	C	P	A
T31	G	P	P	C	P	A
T32	G	P	P	C	P	A
T33	G	M	P	C	P	A
T34	G	M	P	C	P	A
T35	G	M	P	C	P	A
T36	G	M	P	C	P	A
T37	M	M	P	C	P	A
T38	G	M	P	C	P	A
T39	M	P	P	C	P	A

LF= longitud de la flor; M= mediana; G= grande; ECA= extensión de la coloración de las antocianinas; P= pequeña; M= mediana; G= grande; PMM= presencia de la mancha de melanina P= presente; A= ausente; CM= color de la mancha; C= café; MM= mancha de melanina; P= presente; A= ausente; CA= coloración de las antocianinas; P= presente; A= ausente).

Cuadro 7. Características de vaina y semilla de 39 poblaciones de haba colectadas en el Valle de Toluca.

Código	Vaina			Semilla seca		
	PV	GCV	ICVV	FS	CS	PH
T1	SE	A	M	O	CC	P
T2	E	A	M	O	CC	P
T3	E	A	M	O	CC	P
T4	H	M	D	E	CC	P
T5	E	A	D	O	CC	P
T6	SE	D	D	E	CC	P
T7	SE	D	M	O	CC	P
T8	E	A	M	O	CC	P
T9	SE	A	M	Ov	CC	P
T10	E	D	M	Ov	CC	P
T11	SE	A	M	Ov	CC	P
T12	SE	A	M	Ov	CC	P
T13	SE	A	F	Ov	CC	P
T14	H	D	F	Ov	CC	P
T15	H	D	F	Ov	CC	P
T16	SE	A	D	Ov	CC	P
T17	SE	A	M	Ov	CC	P
T18	SE	D	D	Ov	CC	P
T19	SE	D	D	Ov	CC	P
T20	SE	A	M	Ov	CC	P
T21	H	D	F	Ov	CC	P
T22	E	A	D	Ov	CC	P
T23	SE	D	F	O	CC	P
T24	SE	A	M	Ov	CC	P
T25	SE	A	M	Ov	CC	P
T26	SE	D	M	O	CC	P
T27	SE	A	D	O	CC	P
T28	SE	D	D	Ov	CC	P
T29	E	A	M	R	CC	P
T30	SE	A	D	O	J	P
T31	SE	D	D	O	CC	P
T32	SE	A	D	O	CC	P
T33	SE	D	F	O	CC	P
T34	H	M	D	O	CC	P
T35	E	A	M	O	CC	P
T36	SE	A	M	Ov	CC	P
T37	SE	A	M	Ov	CC	P
T38	SE	A	M	Ov	CC	P
T39	SE	A	M	Ov	CC	P

PV= porte de la vaina; SE= semierecto; E= erecto; H= horizontal; GCV= grado de curvatura de la vaina. A= ausente, D= débil; M= media; ICVV= intensidad de color verde de la vaina. D= débil; M= media; F= fuerte; FS= forma de la semilla; O= oblonga; E= elíptica; Ov= ovada; R= rectangular; CS= color de la semilla; CC= café claro, J= jaspeada; PH= presencia de hiliium; P= presente.

Conclusiones

Los análisis de componentes principales y de conglomerados permitieron identificar a los cultivares 8, 5 y 27 como superiores en rendimiento de semilla. También se observó amplia variabilidad fenotípica en NN, PF, NF, NVP, PVP, P100S, PSP (valores de H^2 de 75 a 99.8%). En relación a los caracteres cualitativos se detectó poca variabilidad fenotípica en los caracteres evaluados.

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.
- 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). *Inter. J. Agric. Biol.* 2:294-299.
- Arbaoui, M.; Link, W.; Satovi, Z. and Torres, A. M. 2008. Quantitative trait loci of frost tolerance and physiologically related trait in faba bean (*Vicia faba* L.) *Euphytica.* 164(1):93-104.
- Baginsky, C.; Silva, P.; Auza, J. and Acevedo, 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.
- Bakheit, B. R. 1992. Shambat 104. A new faba bean cultivar for the Gezira, Sudan. *FABIS Newsletter.* 30:20-22.
- Chaieb, N.; Mohamed, B. and Mars, M. 2011. Growth and yield parameters variability among faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *J. Natural Products Plant Res.* 1(2):81-90.
- Cordeiro, G. M.; Pan, Y. B. and Henry, R. J. 2003. Sugarcane microsatellites for the assessment of genetic diversity in sugarcane germplasm. *Plant Sci.* 165(1):181-189.
- De Costa, W. A. J. M.; Dennet, M. D.; Ratnaweera, U. and Nyalemegbe, K. 1997. Effects of different water regimes on 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. and 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.; Bao, S. Y.; Baum, M.; Redden, B.; Sadiki, M.; Suso, M. J.; Vishniakova, M. and Zong, X. X. 2010. Diversity maintenance and use of *Vicia faba* L. genetic resources. *Field Crops Res.* 115:270-278.
- 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. *Genética Agraria.* 42:299-316.
- Franco, L. T. e Hidalgo, R. 2003. Análisis estadístico de caracterización morfológica de recursos filogenéticos. *Boletín técnico* núm. 8. Instituto Internacional de Recursos Filogenéticos (IPGRI). Cali, Colombia. 89 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía-UNAM. México, DF. 246 p.
- Gresta, F.; Avola, G.; Albertini, E.; Raggi, L. and Abbate, V. 2009. A study of variability in the Sicilian faba bean landrace 'Larga di Leonforte'. *Genetic Res. Crop Ev.* 57(4):523-531.
- IGECEM. 2011. Instituto de Información e Investigación Geográfica-Estadística y Catastral del Estado de México. Gobierno del Estado de México. <https://www.portal2.edomex.gob.mx/igecem/productosy./index.htm>.

- Khare, D. and Singh, C. B. 1991. Genetic behavior of yield and quality traits of *Vicia faba* L. New Phytopathologist. 72:293-298.
- Li-juan, L.; Zhao-hai, Y.; Zhao-jie, Z.; Ming-shi, X. and Han-qing, Y. 1993. Study and utilization of faba bean germplasm resources. In: Saxena, M. C.; Weigand, S.; Li-juan, L. (Eds.). Faba Bean in China: State-of-the Art Review. ICARDA Press Ch. 4. 51-63 pp.
- Madriz, I. P. M. y Luciani, M. J. F. 2002. Caracterización morfológica de 20 genotipos de frijol mungo (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). Rev. Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. 28(1):27-39.
- Mohammed, O. A. A.; Hamid, A. A. and Bakheit, G. M. 2013. Correlation between seed yield components in Faba bean (*Vicia faba* L.). Adv. Environ. Biol. 7(1):82-85.
- Neal, J. R. and Mcvetty, P. B. E. 1983. Yield structure of faba bean (*Vicia faba* L.) grown in Manitoba. 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.; 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.
- Pearce, S. R.; Harrison, G.; Li, D.; Heslop-Harrison, J. S.; Kumar, A. and Flavell, A. 2000. The Ty1-copia group retrotransposon in *Vicia* species: copy number, sequence heterogeneity and chromosome localization. Mol. Gen. Gen. 250:305-315.
- Pérez, D. J.; González, A. Sahagún, J.; Vázquez, L. M.; Franco, O. and Domínguez, A. 2009. The identification of outstanding potato cultivars using multivariate methods. Ciencia e Investigación Agraria. J. Agric. Nat. Res. 36(3):391-400.
- Pérez, L. D. J.; Vásquez, G. L. M.; Sahagún, C. J. y Rivera, P. A. 2007. Variabilidad y caracterización de diez variedades de papa en tres localidades del Estado de México. Rev. Chapingo Ser. Hortic. 13(1):13-19.
- Robertson, L. D. and El-Sherbeen, M. 1991. Distribution of discreetly scored descriptors in a pure line faba bean (*Vicia faba* L.) germplasm collection. Euphytica. (57):83-92.
- 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.
- Sánchez, G. J. J. 1995. El análisis biplot en clasificación. Rev. Fitotec. Mex. 18:188-203.
- SAS. 1988. Statistical Analysis System. SAS/STAT User's Guide-Release 6.03 edition Cary, NC. SAS Institute Inc. 1028 p.
- Shimelis, H. and Shiringani, R. 2010. Variance components and heritabilities of yield and agronomic traits among cowpea genotypes. Euphytica. 176:385-389.
- Singh, S. P.; Singh, N. P. and Pandey, R. K. 1987. Irrigation studies in faba bean. Fabis Newsletter. 18:24-26.
- SNICS. 2001. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. Guía técnica para la descripción varietal de haba (*Vicia faba* L.). 12 p. <https://www.sagarpa.gob.mx/snics/haba.3.doc.2002>.
- 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.; Kaltsikes, P. and Bebeli, P. 2003. Collection, evaluation and classification of Greek populations of faba bean (*Vicia faba* L.). Gen. Res. Crop Evol. 50:373-381.
- 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.