

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y FENOLÓGICA DE ESPECIES SILVESTRES DE FRIJOL (*Phaseolus*)

MORPHOLOGICAL AND PHENOLOGICAL CHARACTERIZATION OF WILD BEAN (*Phaseolus*) SPECIES

Karen Elizabeth Meza-Vázquez, Rogelio Lépiz-Ildefonso*, José de J. López-Alcocer y Moisés Martín Morales-Rivera

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Km. 15.5, Carr. Guadalajara-Nogales, Las Agujas, Zapopan, Jalisco, México. Tel. (33) 3682-0918.

*Autor para correspondencia (rlepiz@cucba.udg.mx)

RESUMEN

Con el objetivo de generar información útil para el incremento y conservación de accesiones de frijol silvestre, se realizó la caracterización morfológica y fenológica de 12 especies silvestres de *Phaseolus*. Las especies de procedencia tropical y subtropical se sembraron en invernadero y las oriundas de sitios templados en campo bajo estructura de malla sombra. En la caracterización se utilizaron los descriptores varietales de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas de México; y para las etapas de desarrollo se usó la escala establecida por el Centro Internacional de Agricultura Tropical de Colombia. Se utilizó una parcela de un surco de 4 m de longitud por especie y se registraron 39 variables de tipo cualitativo y cuantitativo. El valor de las variables cuantitativas es el promedio de 10 registros. Se observó gran variabilidad morfológica y fenológica entre las especies. La longitud de hoja primaria varió de 1.4 a 5.4 cm y del foliolo central de 3.1 a 8.5 cm; la longitud de vaina de 1.2 a 6.3 cm, el número de vainas por planta de 21 a 314, y la longitud de semilla de 3.0 a 7.9 mm; el tamaño del polen varió de 41.7 a 55.4 µm. Seis de las doce especies mostraron cotiledones epigeos, seis tuvieron hipocotilo de color rosado, ocho formaron flores de color lila y ocho fueron de raíz tuberosa indicativa de ciclo plurianual. En las primeras etapas de desarrollo fenológico, las especies silvestres presentaron un comportamiento similar; en cambio en la fase reproductiva mostraron diferencias notables. Las especies de frijol se agruparon en dos conjuntos principales relacionados con el tamaño de la planta y ciclo biológico; la mayor similitud se presentó entre *P. vulgaris* y *P. acutifolius*, *P. microcarpus* y *P. macvaughii*, y *P. nodosus* y *P. scrobiculatifolius*. La información obtenida puede apoyar acciones para incrementos de semilla, conservación, uso eficiente y mejoramiento genético.

Palabras clave: *Phaseolus*, descriptores, etapas de desarrollo, variabilidad.

SUMMARY

In order to generate useful information for the increase and conservation of accessions of wild bean, a morphological and phenological characterization of 12 species of the genus *Phaseolus* was performed. The species of tropical and subtropical origin were grown in a greenhouse and the native tempered or temperate cold sites were grown under a mesh shade. In the characterization the common bean varietal descriptors of the Inspection and Certification of Seed Service from México as well as the scale of growth stages established for the International Center for Tropical Agriculture from Colombia.

A plot of a single row of 4 m in length per species was used and 39 order qualitative and quantitative variables were recorded. The value of quantitative, is the average of 10 records. Great morphological and phenological variability between species were observed. The length of primary leaves ranged from 1.4 to 5.4 cm and leaflet of 3.1 to 8.5 cm; the length of pod 1.2 to 6.3 cm, the number of pods per plant of 21 to 314, and seed 3.0 to 7.9 mm length; pollen size varied from 41.7 to 55.48 µm. Six of the 12 species showed cotyledons epigeal, six pink hypocotyl, eight purple flowers and eight of the 12 taxa perennial cycle. In early stages of development the species showed similar response, whereas in the reproductive phase, the species showed notable differences in the days to reach a stage and its duration. Bean species were grouped into two main sets related to the size of the plant and biological cycle; the biggest similarity arose between *P. vulgaris* and *P. acutifolius*, *P. microcarpus* and *P. macvaughii*, and *P. nodosus* and *P. scrobiculatifolius*. The information obtained can support actions for increases in seed, conservation, efficient use and genetic improvement.

Index words: *Phaseolus*, descriptors, stages of development, variability.

INTRODUCCIÓN

En la clasificación e identificación de especies, razas y variedades vegetales, los rasgos morfológicos desempeñan un papel importante; así mismo, son elementos básicos para conocer y medir la variabilidad genética dentro de una población. Aunque cada especie de frijol (*Phaseolus* spp.) muestra características morfológicas exclusivas que la identifican, también exhiben similitudes en algunos rasgos. Los cotiledones después de la emergencia de la planta, pueden ser epigeos como en *Phaseolus vulgaris* L., *P. acutifolius* var. *acutifolius* A. Gray. y *P. lunatus* L., e hipogeos en *P. coccineus* L., *P. leptostachyus* Benth. y *P. rotundatus* Freytag & Debouck (Freytag y Debouck, 2002).

Los foliolos angostos de forma lanceolada en *P. parvifolius* Freytag y *P. acutifolius* var. *tenuifolius* A. Gray, o cordiformes en *P. vulgaris* L., *P. coccineus* L. y *P. albescens* Mc Vaugh ex R. Ramirez & A. Delgado (Ramírez-Delgadillo y Delgado-Salinas, 1999; Freytag y Debouck, 2002; Lépiz y Ramírez, 2010; Lépiz *et al.*, 2010). Las inflorescencias pueden ser pequeñas

como en *P. acutifolius* var. *acutifolius*, *P. parvifolius* Freytag y *P. microcarpus* Mart, Auswahl. Merkw., o inflorescencias grandes en *P. rotundatus*, *P. maculatus* subsp. *ritensis*, y *P. coccineus* L. (Freytag y Debouck, 2002; Lépiz y Ramírez, 2010; Vargas-Vázquez *et al.*, 2011).

Flores pequeñas en *P. lunatus* L., *P. macvaughii* Delgado y *P. parvifolius* Greene, o flores grandes en *P. albescens*, *P. coccineus*, y *P. rotundatus* (Ramírez-Delgadillo y Delgado-Salinas, 1999; Delgado-Salinas, 2000; Lépiz y Ramírez, 2010). Los tallos varían de delgados y con poca capacidad para trepar en *P. acutifolius* var. *acutifolius*, *P. macvaughii* y *P. microcarpus*, a tallos gruesos con gran capacidad para crecer como en *P. lunatus*, *P. rotundatus* y *P. albescens* (Delgado-Salinas, 2000; Freytag y Debouck, 2002; Lépiz y Ramírez, 2010).

Unas especies poseen vainas pequeñas y con pocas semillas como en *P. microcarpus*, *P. micranthus* Hook. & Arn. y *P. leptostachyus* Benth, o tener vainas y semillas grandes como en *P. albescens*, *P. maculatus* subsp. *ritensis* y *P. lunatus* L. (Ramírez-Delgadillo y Delgado-Salinas, 1999; Freytag y Debouck, 2002; Lépiz y Ramírez, 2010). Pueden ser de ciclo anual como *P. vulgaris*, *P. parvifolius* y *P. acutifolius* var. *acutifolius*, o perennes como en *P. coccineus*, *P. rotundatus*, *P. jaliscanus* Piper, (Freytag y Debouck, 2002; Lépiz y Ramírez, 2010).

Algunas especies poseen características muy particulares, como *P. microcarpus* con vainas de una sola semilla, *P. leptostachyus* de hábito determinado, *P. maculatus* subsp. *maculatus* de hábito rastrero, y *P. micranthus* que emite raíces en los tallos en contacto con el suelo que simulan estolones (Freytag y Debouck, 2002; Lépiz y Ramírez, 2010).

Los cambios morfológicos y fisiológicos que ocurren durante el ciclo biológico de una planta, sirven de base para definir fases o etapas de desarrollo. El referirse a una etapa de desarrollo para efectuar una práctica agronómica o para aplicar un tratamiento al cultivo, es más adecuado que referirse a los días transcurridos después de la siembra (Fehr *et al.*, 1971; Fernández *et al.*, 1991; Meier *et al.*, 2009).

En frijol, el ciclo biológico se ha dividido en dos fases principales sucesivas: fase vegetativa y fase reproductiva. La fase vegetativa inicia con la germinación de la semilla y termina con la aparición de los primeros botones florales, y se divide en cinco etapas: germinación (V0), emergencia (V1), hojas primarias (V2), primera hoja trifoliada (V3) y tercera hoja trifoliada (V4). La fase reproductiva da inicio con la aparición de los botones florales, hasta la madurez fisiológica de la semilla y consta de cinco etapas: prefloración (R5), floración (R6), formación de vainas (R7), llenado de vainas (R8) y madurez fisiológica (R9) (Fernández *et al.*,

1991). Esta escala es similar a la utilizada en soya (*Glycine max*) (Fehr *et al.*, 1971) y al sistema de codificación BBCH (Bundesanstalt, Bundessortenamt, Chemical) propuesto para casi todas las especies cultivadas, donde se adicionan etapas secundarias dentro de cada estadio principal, para describir con mayor precisión etapas cortas (Meier *et al.*, 2009). En las plantas de hábito indeterminado, como es el caso de las formas silvestres de *Phaseolus*, existen traslapes entre la forma vegetativa y la reproductiva.

En la literatura de caracterización morfológica de especies de *Phaseolus* con fines de registro (Ramírez-Delgadillo y Delgado-Salinas, 1999; Delgado-Salinas, 2000; Freytag y Debouck, 2002), se reportan casos de caracterización de genotipos dentro de una especie (Lépiz *et al.*, 2010; Vargas-Vázquez *et al.*, 2011) y muy pocos casos de caracterización entre especies que incluya los mismos descriptores. En este último campo Torres-da-Silva y Costa (2003) incluyeron siete taxa y 10 descriptores; Herrera-Flores *et al.* (2005) describieron tres especies con base en rasgos de vainas y tejidos; y Celis-Velázquez *et al.* (2010) usaron variables de semillas para describir genotipos silvestres de *P. vulgaris* L. En frijol reventón conocido como ñuña (*P. vulgaris*) Cruz *et al.* (2009) usaron 30 descriptores; y Vargas-Vázquez *et al.* (2011) con variables de planta para diversidad en *P. coccineus*. En todos los casos se utilizó un número distinto de descriptores diferentes y se encontraron diferencias morfológicas principalmente entre especies y también entre genotipos de una misma especie.

El grano de polen, o gametofito masculino, difiere en tamaño, forma y ornamentación entre las especies de plantas superiores. Estas diferencias son útiles para la taxonomía vegetal, porque contribuyen a esclarecer algunos problemas de clasificación. La tribu Phaseoleae se caracteriza por tener un grano de polen triporado, tricolpado y tricolporado. (Ventura y Huamán, 2008). El polen de *Phaseolus* tiene ornamentación reticulada, frustillada y heterobrocada, con lúmenes que contienen microverrugas, verrugas y báculas; la forma de los granos es desde oblada esferoidal a prolado esferoidal (Chávez-Barrantes *et al.*, 2009).

La presente investigación tuvo como objetivo describir la morfología y etapas de desarrollo fenológico de 12 especies silvestres de *Phaseolus* originarias del occidente de México y determinar su capacidad de producción de semilla con fines de conservación y utilización.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

La caracterización morfológica y fenológica se llevó a cabo en el ciclo agrícola de verano-otoño de 2012 en el

municipio de Zapopan, Jalisco. El sitio presenta un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano (Medina *et al.*, 1998) a una altitud de 1580 m y una precipitación pluvial media anual de 979 mm (Ruiz-Corral *et al.*, 2003).

Germoplasma

Se incluyeron 12 especies silvestres del género *Phaseolus* (Cuadro 1). Se utilizó semilla colectada por personal del proyecto de exploración y colección de la Universidad de Guadalajara, auspiciado por el Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SI-NAREFI).

Manejo agronómico

Las poblaciones se sembraron en dos ambientes, según las condiciones climáticas de su sitio de origen (López-Soto *et al.*, 2005); las de clima templado o templado-frío (1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7) bajo cubierta de malla sombra y las oriundas de clima tropical o subtropical (8, 9, 10, 11 y 12) en invernadero. La semilla se escarificó mecánicamente con lija de agua y se sembró el 7 de julio en vasos de unicel No. 12; las plantas en estado de primera hoja trifoliada se trasplantaron al ambiente previamente definido (27 de julio), donde completaron su ciclo biológico.

Cada accesión se sembró en un surco de 4 m de largo con 100 cm de separación entre surcos y una distribución

en serie sencilla sin repeticiones; dado el hábito trepador de las especies silvestres de frijol, se instalaron espaldaras con postes metálicos tipo T de potrero, alambre quemado torcido estirado de poste a poste en la parte superior e hilo de rafia para amarrar cada planta de su base al alambre; se dieron los cuidados agronómicos necesarios para lograr un buen desarrollo.

Caracterización

La caracterización se basó en la guía de descriptores para frijol común del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS, 2005). Los valores de los rasgos cuantitativos corresponden al promedio de 10 observaciones por variable y accesión. Con los datos de vainas por planta, granos por vaina y peso de 100 semillas, se estimó la variable rendimiento de grano por planta. El registro de las etapas de desarrollo se efectuó con base en la metodología descrita por Fernández *et al.* (1991), que consta de 10 etapas fenológicas, donde las primeras cinco corresponden a la fase vegetativa (V) y las siguientes cinco, a la fase reproductiva (R).

Para medir las variables relacionadas con el grano de polen se tomaron anteras de botones florales, se hicieron cortes y con apoyo del microscopio estereoscópico (modelo Leica S6 D® de fabricación alemana) se extrajeron los granos de polen con agujas de disección. Los granos se colocaron en portaobjetos, a los que se agregó acetoorceina a 1 %

Cuadro 1. Sitio, coordenadas y altitud de los lugares de colecta de las especies de *Phaseolus* silvestres utilizadas en la caracterización morfológica y fenológica.

Número de especie	Especies	Clave colector	Sitio	Latitud	Longitud	Altitud (m)
1	<i>Phaseolus nodosus</i> Freytag & Debouck	ROL 148	Nevado de Colima.	19° 37'	103° 34'	2445
2	<i>Phaseolus coccineus</i> L	ROL 101	Tepatitlán, Jal.	20° 55'	102° 47'	2067
3	<i>Phaseolus leptostachyus</i> Benth	ROL 377	Cerró Colli, Jal.	20° 40'	103° 28'	1744
4	<i>Phaseolus scrobiculatifolius</i> Freytag	ROL 502	Carapan, Mich.	19° 51'	102° 01'	2006
5	<i>Phaseolus rotundatus</i> Freytag & Debouck	ROL 263	La Joya, Jal.	20° 51'	103° 59'	1370
6	<i>Phaseolus maculatus</i> Scheele subsp. <i>ritensis</i> (Jones) Freytag	ROL 107	Tepatitlán, Jal.	21° 001'	102° 49'	1576
7	<i>Phaseolus lunatus</i> L	ROL 606	Autlán, Jal.	19° 41'	104° 20'	970
8	<i>Phaseolus vulgaris</i> L	ROL 113	Zapopan, Jal.	20° 48'	103° 20'	1356
9	<i>Phaseolus microcarpus</i> Mart	ROL 596	Ixtlán del Río, Jal	21° 01'	104° 14'	1267
10	<i>Phaseolus acutifolius</i> var. <i>acutifolius</i> A. Gray	ROL 303	Amacueca, Jal.	19° 59'	103° 37'	1480
11	<i>Phaseolus parvifolius</i> Freytag	ROL 229	Ameca, Jal.	20° 32'	104° 15'	1536
12	<i>Phaseolus macvaughii</i> Delgado	ROL 243	Melaque, Jal.	19° 13'	104 °43'	30

ROL = Clave del colector Rogelio Lépiz Ildelfonso.

(González *et al.*, 1995) y se observaron con un microscopio modelo Axiostar® de fabricación alemana. Las fotografías se tomaron con una cámara modelo Axiocam Zeiss® de fabricación alemana a través del objetivo 40X, y se midió el polen con el programa Axiovision Rel 4.8 Carl Zeiss.

Análisis de datos

Para establecer las relaciones entre las 12 especies silvestres de *Phaseolus* estudiadas, se utilizó un análisis de agrupamiento y componentes principales (CP) con el método promedio de grupo usando 12 variables cuantitativas, a través del programa NTSYS® 2.0 (Rohlf, 2000). Como medida de similitud se utilizó el coeficiente de correlación calculado después de estandarizar las variables con media cero y varianza 1. Los resultados del análisis de CP se presentan en una gráfica “biplot” y los de agrupamiento se muestran en un dendrograma tal como lo describen Rawlings (1988) y Sánchez (1995).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observó gran variación morfológica entre las especies silvestres de *Phaseolus*, tanto en variables cuantitativas (Cuadro 2) como cualitativas (Cuadro 3). Quince de las 39 características registradas exhibieron mayor variación morfológica, entre las que sobresalen las que a continuación se describen.

Seis de las doce especies mostraron cotiledones epigeos, seis presentaron hipocotilo de color rosado, cinco morado y una de color verde (*P. microcarpus*). El color de hipocotilo se ha utilizado como marcador fenotípico, ya que es una característica dominante de herencia simple, estable e independiente del ambiente (Chávez-Barrantes *et al.*, 2009). La longitud de hoja primaria varió de 1.4 cm (*P. leptostachyus*) a 5.4 cm (*P. acutifolius* var. *acutifolius*), y la anchura de 0.64 cm (*P. parvifolius*) a 3.4 cm (*P. vulgaris*) (Cuadro 2; Figura 1).

El número de días a floración mostró una amplitud de 43 d; se inició a los 48 d en *P. microcarpus* y a los 91 d en *P. scrobiculatifolius*. Las flores en la mayoría de especies fueron de color lila, pero rojas en *P. coccineus* y blancas en *P. macvaughii*, *P. microcarpus* y *P. lunatus* (Cuadro 3; Figura 1). Este resultado difiere en *P. microcarpus* y *P. lunatus* al descrito por Freytag y Debouck (2002) y Lépiz y Ramírez (2010), debido a que dentro de estas especies existen diferencias en el color de flor.

El tamaño de la flor fue de 0.5 cm en *P. macvaughii* y de 1.8 cm en *P. coccineus*. Las dimensiones del foliolo central presentaron variación en longitud de 3.1 cm (*P. macvaughii*) a 8.5 cm (*P. maculatus*), y en anchura de 0.5 cm (*P. par-*

vifolius) a 6 cm (*P. coccineus* y *P. maculatus*). En general, estos resultados coinciden con lo reportado por Freytag y Debouck (2002) en su revisión taxonómica de especies de frijol en Estados Unidos de América, México y América Central.

El tamaño del polen varió de 41.7 μm (*P. acutifolius* var. *acutifolius*) a 55.48 μm (*P. leptostachyus*), donde se observó su ornamentación reticulada y forma triporada (Cuadro 2; Figura 2). Las dimensiones y forma de polen concuerdan con lo asentado por Muñoz (2009), quien menciona que se clasifica como de tamaño medio de 40 μm y presentan morfología isopolar, radiosimétrico y triporado, con poros anulados.

La longitud de vainas presentó una amplia variación (Cuadro 2; Figura 2), de 1.2 cm (*P. microcarpus*) a 6.3 cm (*P. acutifolius*), resultado que concuerda con lo descrito por Lépiz y Ramírez (2010). El número de vainas por planta registró amplias diferencias, varió de 21 (*P. maculatus* y *P. parvifolius*) a 314 (*P. rotundatus*). El color de la semilla en general es de fondo crema y su color secundario gris en forma de jaspes (Figura 3). La semilla mostró una longitud de 3 mm (*P. leptostachyus*) a 7.9 mm (*P. maculatus*), resultado que concuerda con lo descrito con Freytag y Debouck (2002). El peso de 100 semillas varió de 1.0 g en *P. leptostachyus* a 11.2 g en *P. nodosus*. El peso de la semilla de *P. nodosus* es mayor al descrito por Lépiz y Ramírez (2010), lo que pudo ser ocasionado por las condiciones ambientales favorables del sitio de cultivo, diferentes a las registradas en el sitio de origen de esta accesión (Nevado de Colima).

Las formas silvestres de frijol presentaron dos tipos de ciclo biológico; anual y perenne. En el grupo de especies anuales se encuentra *P. vulgaris*, *P. microcarpus*, *P. parvifolius*, *P. acutifolius* var. *acutifolius* y *P. macvaughii*; en los perennes: *P. nodosus*, *P. coccineus*, *P. leptostachyus*, *P. scrobiculatifolius*, *P. rotundatus*, *P. maculatus* y *P. lunatus*. Los resultados coinciden con lo reportado por Ramírez-Delgado y Delgado-Salinas (1999), Delgado-Salinas (2000), Freytag y Debouck (2002) y Lépiz y Ramírez (2010).

En producción de semilla en gramos por planta, variable de interés en la regeneración de germoplasma, de manera general las especies anuales registraron los menores valores, en relación a los taxa perennes. En anuales el rango fue de 1.3 g en *P. macvaughii* (semilla pequeña) a 21.2 g en *P. acutifolius*, y en las especies perennes varió entre 1.2 g en *P. leptostachyus* (poco desarrollo y semilla pequeña) y 74.5 g en *P. lunatus*. Las diferencias en producción, además de responder a un componente genético, mostraron un efecto del sitio donde se realizó la caracterización: *P. macvaughii* de poca producción, es oriundo del área tropical costera de Colima, Jalisco y Nayarit; y *P. lunatus* de alta producción, está

Cuadro 2. Promedios de las variables cuantitativas registradas en 12 especies de *Phaseolus* silvestres.

No. de variable	<i>P. nodosus</i>	<i>P. coccineus</i>	<i>P. leptostachyus</i>	<i>P. scrobiculati- folius</i>	<i>P. rotundatus</i>	<i>P. maculatus</i>
1	2.1	3.4	1.4	1.8	1.8	3.1
2	2.1	3.2	1.1	1.6	1.4	2.4
3	83	65	65	91	85	69
4	49	42	28	46	59	29
5	3.6	4.5	3.14	2.9	3.8	4.15
6	8.4	12.5	8.8	8.5	9.2	10.6
7	46.3	48.9	55.4	48.2	45.5	54.5
8	1.2	1.8	0.7	0.8	1.1	1.2
9	3.6	2.6	1.2	2.7	3.8	2.1
10	27	25	21	18	22	20
11	4.9	8.1	6.3	5.2	7.3	8.5
12	3.7	6	2.5	3.9	5.5	6
13	157	147	148	177	177	148
14	3.8	5.9	2.02	4.5	4.8	3.4
15	0.6	0.6	0.4	0.9	0.9	0.9
16	70	33	27	50	314	21
17	4.5	5.9	4.5	4.3	4.5	2.6
18	11.2	11.1	1	8.2	4.4	10.3
19	5.7	6.2	3	6	5.4	7.9
20	4.8	4.8	3	5	4.1	5.4
21	35.3	21.6	1.2	17.6	62.2	5.6
	<i>P. lunatus</i>	<i>P. vulgaris</i>	<i>P. microcarpus</i>	<i>P. acutifolius</i> var. <i>acutifolius</i>	<i>P. parvifolius</i>	<i>P. macvaughii</i>
1	4.9	4.2	3.1	5.4	5	1.9
2	3.4	3.4	3.1	2.7	0.6	2.4
3	77	59	48	49	49	51
4	80	36	49	45	32	30
5	2.9	3.3	1.5	2.4	2	1.6
6	6.8	8.4	4.1	6.7	6.4	4.3
7	45.1	47.6	47.1	41.7	52.1	44.9
8	0.8	1.2	0.6	1	0.9	0.5
9	4	2.5	2.3	2.4	1.8	1.2
10	32	23	24	23	22	20
11	6.9	6.1	4.3	6.8	6	3.1
12	4.2	5.6	4.3	3.9	0.6	3.3
13	160	127	125	125	96	107
14	4.6	5.4	1.2	6.3	4.1	2.7
15	1.1	0.6	0.5	0.6	0.4	0.4
16	226	41	104	68	21	29
17	3.2	5.9	1	8	7	3.2
18	10.3	3.9	4.5	3.9	1.5	1.4
19	5.7	6	5	4.9	3.7	3.4
20	5.5	4.5	3	3	2.8	2.5
21	74.5	9.4	4.7	21.2	2.2	1.3

1 = longitud de hojas primarias (cm); 2 = ancho hojas primarias (cm); 3 = días a floración; 4 = duración de período de floración; 5 = ancho de botón floral (mm); 6 = longitud de botón floral (mm); 7 = tamaño de polen (μm); 8 = tamaño de flor (cm); 9 = longitud de tallo principal (m); 10 = nudos del tallo principal; 11 = longitud de folíolo central (cm); 12 = ancho de folíolo central (cm); 13 = días a madurez fisiológica; 14 = longitud de vainas (cm); 15 = ancho de vainas (cm); 16 = número de vainas por planta; 17 = número de semillas por vaina; 18 = peso de 100 semillas (g); 19 = longitud de semilla (mm); 20 = ancho de semilla (mm); 21 = rendimiento estimado de grano (g/planta); 14 = patrón de distribución de color secundario; 15 = aspecto predominante de la testa de la semilla; 16 = presencia o ausencia de venaciones de la semilla; 17 = presencia de color alrededor del hilio; 18 = forma predominante de la semilla.

Cuadro 3. Variables cualitativas registradas en 12 especies de *Phaseolus* silvestres.

Especie	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>P. nodosus</i>	Rosado	Hipogeo	Lila	Lila	Indeterminado trepador	Verde	Verde rojizo	Elíptica	Café
<i>P. coccineus</i>	Morado	Hipogeo	Rojo	Rojo	Indeterminado trepador	Verde	Verde morado	Elíptica	Café
<i>P. leptostachyus</i>	Rosado	Hipogeo	Lila	Lila	Determinado semitrepador	Verde	Verde café	Elíptica	Café
<i>P. scrobiculatifolius</i>	Rosado	Hipogeo	Lila	Lila	Indeterminado trepador	Verde	Verde rojizo	Elíptica	Café claro
<i>P. rotundatus</i>	Rosado	Hipogeo	Lila	Lila	Indeterminado trepador	Verde pálido	Verde	Elíptica	Café claro
<i>P. maculatus</i>	Morado	Hipogeo	Lila	Lila	Indeterminado trepador	Verde	Verde rojizo	Elíptica	Café claro
<i>P. lunatus</i>	Morado	Epigeo	Blanco	Lila	Indeterminado trepador	Verde oscuro	Verde amarillo	Elíptica	Café claro
<i>P. vulgaris</i>	Rosado	Epigeo	Blanco	Blanco	Indeterminado trepador	Verde	Verde rojizo	Ovada	Crema morado
<i>P. microcarpus</i>	Verde	Epigeo	Blanco	Lila	Indeterminado trepador	Verde pálido	Verde amarillo	Elíptica	Crema suave
<i>P. acutifolius var. acuti folius</i>	Morado	Epigeo	Lila	Lila	Indeterminado trepador	Verde	Verde rojizo	Ovada	Crema suave
<i>P. parvifolius</i>	Morado	Epigeo	Lila	Lila	Indeterminado trepador	Verde	Verde rojizo	Elíptica	Café claro
<i>P. macvauhgii</i>	Rosado	Epigeo	Blanco	Blanco	Indeterminado trepador	Verde pálido	Verde rojizo	Plana	Café
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>P. nodosus</i>	Curvada	Ligera	Crema	Negro	Veteado	Intermedio	Ausente	Coloreado	Cuadrada
<i>P. coccineus</i>	Curvada	Prominente	Crema	Negro	Veteado	Brillante	Ausente	Coloreado	Alargada rectangular
<i>P. leptostachyus</i>	Ligeramente curva	Ausente	Crema	Gris	Veteado	Intermedio	Ausente	Coloreado	Cuadrada
<i>P. scrobiculatifolius</i>	Curvada	Ligera	Crema	Gris	Veteado	Brillante	Ausente	Coloreado	Redonda
<i>P. rotundatus</i>	Curvada	Ausente	Crema	Negro	Veteado	Inter-medio	Ausente	Coloreado	Cuadrada
<i>P. maculatus</i>	Curvada	Pronunciada	Crema	Café	Rayado	Brillante	Presente	Coloreado	Rectangular
<i>P. lunatus</i>	Curvada	Ausente	Crema	Café	Rayado	Brillante	Presente	Coloreado	Cuadrada
<i>P. vulgaris</i>	Curvada	Ausente	Crema	Negro	Veteado	Brillante	Ausente	Coloreado	Alargada rectangular
<i>P. microcarpus</i>	Ligeramente curva	Prominente	Café	Ausente	Ausente	Brillante	Ausente	Coloreado	Triangular
<i>P. acutifolius var. acuti folius</i>	Curvada	Ligera	Crema	Negro	Veteado	Opaco	Ausente	Coloreado	Alargada rectangular
<i>P. parvifolius</i>	Curvada	Ausente	Café negro	Negro	Veteado	Intermedio	Ausente	Coloreado	Alargada rectangular
<i>P. macvauhgii</i>	Ligeramente curva	Ligera	Café	Negro	Moteado	Brillante	Ausente	Coloreado	Cuadrada abanico

1 = color de hipocotilo; 2 = posición de cotiledones; 3 = color predominante de alas; 4 = color predominante del estandarte; 5 = hábito de crecimiento; 6 = color predominante de la hoja; 7 = color predominante de las vainas en madurez fisiológica; 8 = forma predominante del corte transversal de la vaina verde y la semilla; 9 = color predominante de las vainas secas; 10 = forma predominante de las vainas; 11 = prominencia de las semillas en vaina; 12 = color primario de semilla; 13 = color secundario de semilla; 14 = patrón de distribución de color secundario; 15 = aspecto predominante de la testa de la semilla; 16 = presencia o ausencia de venaciones de la semilla; 17 = presencia de color alrededor del hilio; 18 = forma predominante de la semilla

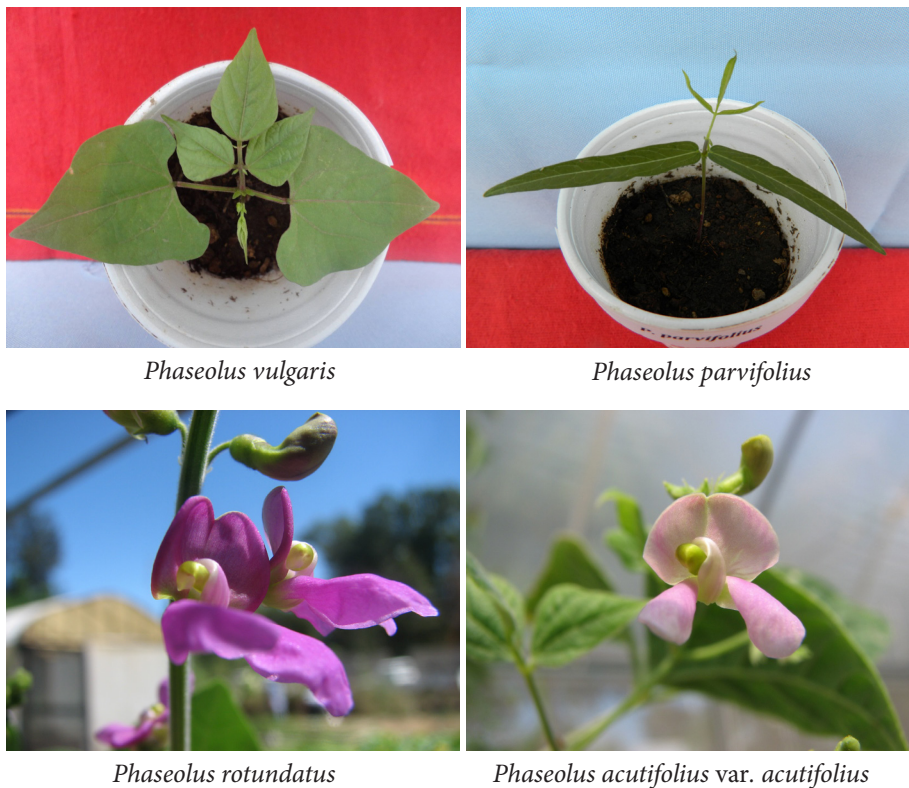


Figura 1. Forma de hojas simples y color de flores de especies silvestres de *Phaseolus*.

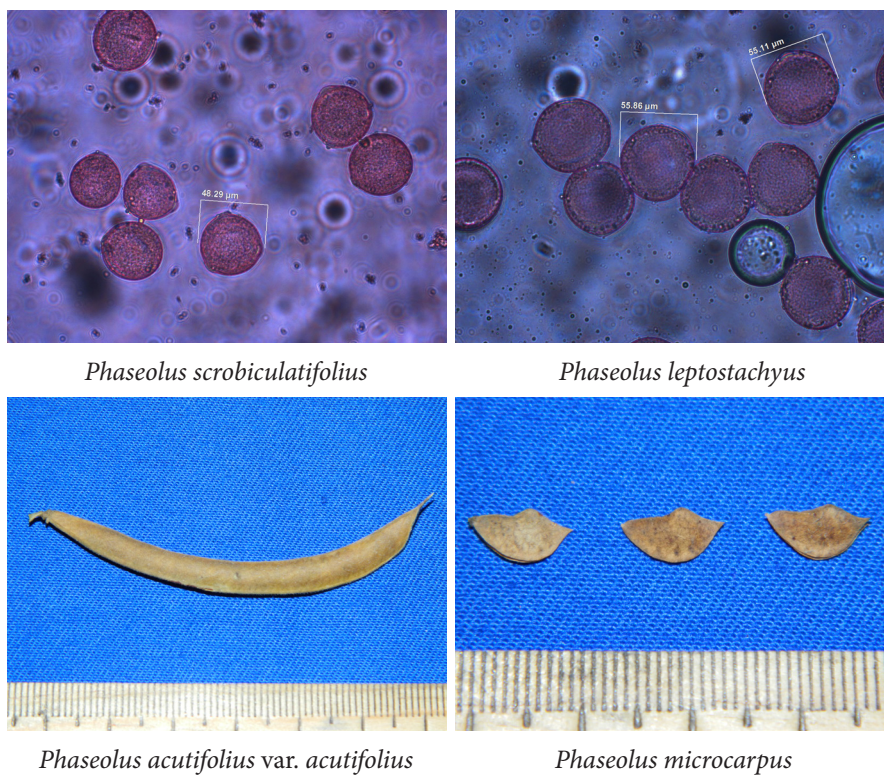


Figura 2. Forma y tamaño de polen y longitud de vainas en especies silvestres de *Phaseolus*.

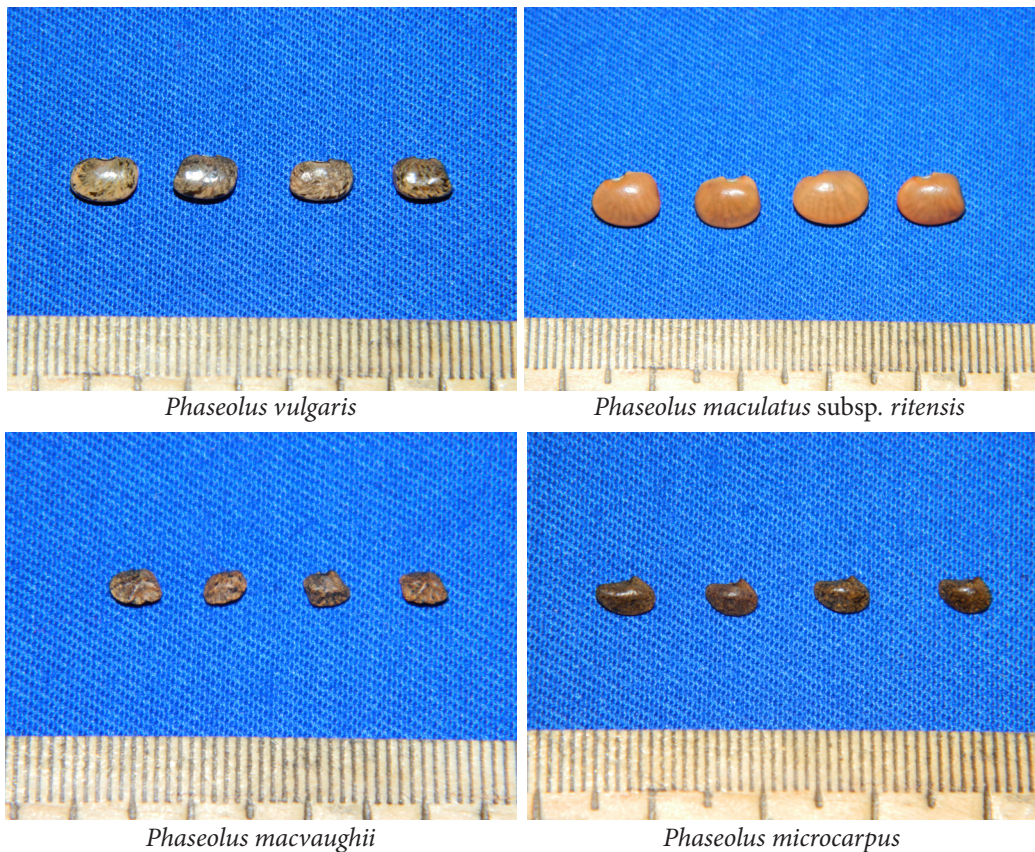


Figura 3. Forma, tamaño y color de semillas de especies silvestres de *Phaseolus*.

bien adaptado a regiones semicálidas como las del sitio de caracterización (López *et al.*, 2005; Lépiz y Ramírez, 2010).

El análisis de componentes principales mostró que los primeros cuatro explicaron 88.7 % de la variación total (Cuadro 4). El Componente 1 con 37.1 % de la variación, estuvo definido principalmente por las variables días a floración, duración del período de floración, días a madurez fisiológica, número de vainas por planta y rendimiento estimado de grano; es decir, se correlacionó positivamente con variables de orden fenológico y de rendimiento. El Componente 2 representó el 23.2 % de la variación y se integró con longitud de hojas primarias, longitud de vainas, número de semillas por vaina y tamaño de flor (cm).

La Figura 4, que muestra el grado de asociación entre las variables y las unidades taxonómicas, revela que las especies perennes tardías *P. lunatus*, *P. nodosus*, *P. rotundatus* y *P. scrobiculatifolius* se ubican en el lado positivo del CP 1 por tener los mayores valores de días a floración (3), duración de periodo de floración (4), días a madurez fisiológica (7), número de vainas por planta (9), peso de 100 semillas (11) y rendimiento de grano (12). Un caso particular lo integraron las variables ancho de hoja primaria (2), tamaño

de flor (6) y longitud de vaina (8), asociadas en alto grado con *P. coccineus*. Las unidades taxonómicas *P. leptostachyus*, *P. macvaughii* y *P. parvifolius*, ubicadas en el lado negativo del CP 1 mostraron poca asociación entre sí y con otras especies.

En el análisis de conglomerados hecho con el coeficiente de correlación (Figura 5), se definieron dos grandes grupos; en el Grupo 1 predominaron las especies perennes de mayor ciclo biológico (*P. nodosus*, *P. scrobiculatifolius*, *P. rotundatus* y *P. lunatus*), en tanto que en el Grupo 2 predominaron las especies anuales de menor ciclo (*P. vulgaris*, *P. acutifolius* y *P. parvifolius*). En este análisis destaca la gran similitud entre *P. vulgaris* y *P. acutifolius* que pertenecen a dos secciones taxonómicas diferentes (Freytag y Debouck, 2002) pero son muy similares en hojas, flores, vainas y ciclo biológico (Lépiz y Ramírez, 2010). También mostraron similitud *P. microcarpus* y *P. macvaughii*; y *P. nodosus* y *P. scrobiculatifolius*.

Las 12 especies silvestres presentaron respuesta similar (Figura 6) en llegar a emergencia (V1) a los 4 d, a primera hoja simple (V2) de 5 a 8 d, a primera hoja trifoliada (V3) entre 15 y 20 d, y para alcanzar la tercera hoja trifoliada

Cuadro 4. Valores y porcentajes de la variación de cada componente de la matriz de 12 especies de *Phaseolus*.

No. de componente	Valor propio	% de varianza	% Varianza acumulado
1.00	4.5	37.1	37.1
2.00	2.8	23.2	60.3
3.00	2.0	16.6	76.9
4.00	1.4	11.8	88.7
5.00	0.6	5.1	93.8
6.00	0.4	3.1	96.8
7.00	0.2	1.7	98.5
8.00	0.1	0.6	99.2
9.00	0.1	0.5	99.7
10.00	0.0	0.2	99.9
11.00	0.0	0.1	100.0
12.00	0.0	0.0	100.0

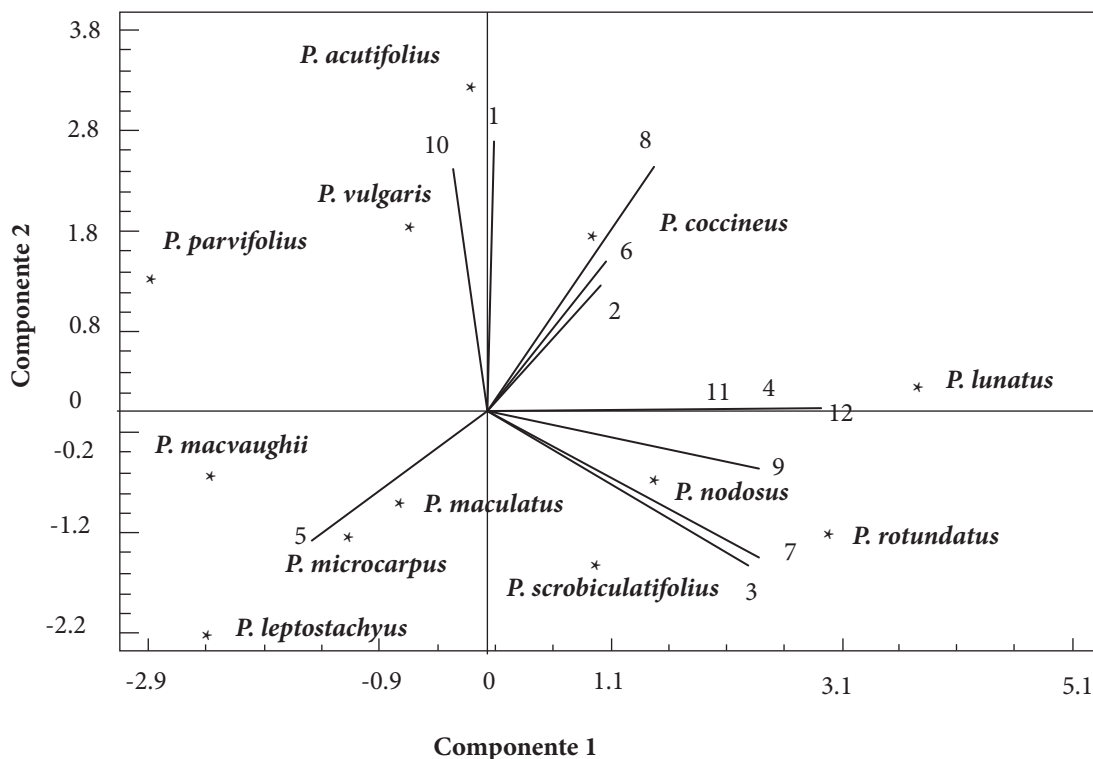


Figura 4. Ubicación de las 12 especies silvestres de *Phaseolus* y comportamiento de los vectores-variable con base en el análisis de componentes principales (CP) de 12 variables cuantitativas (1 = longitud de hojas primarias (cm); 2 = ancho de hojas primarias (cm); 3 = días a floración; 4 = duración de periodo de floración; 5 = tamaño de polen (μm); 6 = tamaño de flor (cm); 7 = días a madurez fisiológica; 8 = longitud de vainas (cm); 9 = número de vainas por planta; 10 = número de semillas por vaina; 11 = peso de 100 semillas (g); 12 = rendimiento estimado de grano (g/planta)).

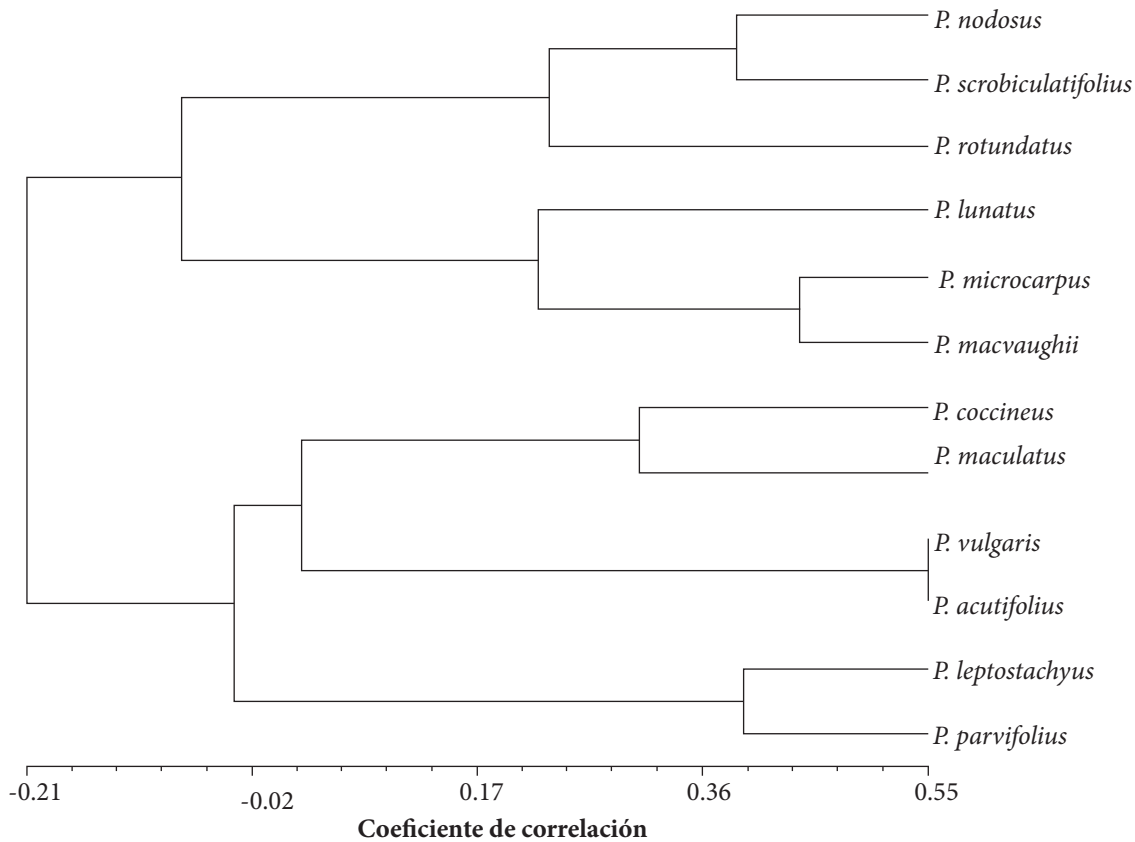


Figura 5. Agrupamiento de 12 especies silvestres de *Phaseolus* clasificadas por 12 variables de planta.

(V4) de 24 a 34 d. En cambio, en la fase reproductiva mostraron diferencias notables; las especies anuales (*P. vulgaris*, *P. microcarpus*, *P. parvifolius*, *P. acutifolius* y *P. macvaughii*) llegaron a prefloración (R5) entre los 40 y 51 d, en tanto que las perennes alcanzaron la misma etapa entre los 57 (*P. coccineus*) y 80 d (*P. scrobiculatifolius*). Por lo general, las plantas de las especies perennes son de mayor porte y ciclo biológico que las de especies anuales (López y Ramírez, 2010).

La Figura 6 muestra que las dos etapas de desarrollo de mayor duración se registraron entre la tercera hoja trifoliada (V4) y la prefloración (R5) y entre llenado de vaina (R8) y madurez fisiológica (R9). Con disponibilidad de humedad y ausencia de heladas las especies perennes siguen floreciendo y produciendo frutos, aún después de que las primeras vainas alcanzan la madurez. En algunas especies perennes, como *P. maculatus*, *P. coccineus* y *P. rotundatus*, la floración de los tallos que rebrotan se inicia de manera temprana.

Los resultados confirman la considerable variabilidad entre especies, y de manera general concuerdan con lo consignado previamente en la literatura, en cuanto a longitud

y ancho de hoja primaria y foliolo central, longitud y ancho de la vaina, número de semillas por vaina, tamaño de semilla, y días a la madurez (Gepts y Debouck 1991; Delgado-Salinas, 2000; Freytag y Debouck, 2002; López y Ramírez, 2010).

CONCLUSIONES

Las especies silvestres del género *Phaseolus* presentaron una amplia diversidad morfológica en 15 de las 39 variables registradas. La diversidad entre las especies se observó principalmente en las variables de forma y tamaño de hoja primaria y foliolo central, en longitud de vaina y número de semillas por vainas y en dimensiones de semilla.

Las especies silvestres presentaron un comportamiento similar en el número de días para alcanzar las primeras etapas de desarrollo, en tanto que en la fase reproductiva las diferencias fueron mayores. En general las especies anuales fueron de menor desarrollo y ciclo corto y las perennes de raíz tuberosa, mostraron mayores tamaños de planta y ciclo biológico.

Las especies silvestres de frijol se agruparon en dos

V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
0	4	7	20	34	76	83	104	116	157

P. nodosus

V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
0	4	7	20	28	57	65	91	100	147

P. coccineus

V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
0	4	8	20	34	57	65	92	98	148

P. leptostachyus

V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	≠	R9
0	4	7	20	34	80	92	106	119		177

P. scrobiculatifolius

V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	≠	R9
0	4	8	20	34	77	85	96	104		177

P. rotundatus

V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
0	4	8	20	34	70	79	90	100	148

P. maculatus subsp. *ritensis*

V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	≠	R9
0	4	7	20	29	69	77	101	126		160

P. lunatus

V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
0	4	7	20	29	51	59	79	90	127

P. vulgaris

V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
0	4	8	20	24	40	48	59	101	125

P. microcarpus

V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
0	4	7	20	24	41	49	60	73	96

P. parvifolius

V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
0	4	5	15	24	41	49	60	79	125

P. acutifolius var *acutifolius*

V0	V1	V2	V3	V4	R5	R6	R7	R8	R9
0	4	8	20	31	43	51	62	82	107

P. macvaughii

Figura 6. Gráficas de la caracterización fenológica en número de días de la siembra hasta el inicio de cada una de las etapas de desarrollo (Fernández *et al.*, 1991) (≠ = barras recortadas en R9 por motivos de espacio).

conjuntos principales relacionados con el tamaño de la planta y ciclo biológico; la mayor similitud ocurrió entre *P. vulgaris* y *P. acutifolius*; *P. microcarpus* y *P. macvaughii*; y *P. nodosus* y *P. scrobiculatifolius*.

El conocimiento sobre las características y diversidad de las especies silvestres de *Phaseolus* puede apoyar acciones para su incremento y posterior conservación, uso eficiente y mejoramiento genético.

BIBLIOGRAFÍA

Celis-Velázquez R., C. B. Peña-Valdivia, M. Luna-Cavazos y J. R. Aguirre R. (2010) Caracterización morfológica de semillas y consumo de reservas durante la emergencia de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. *Revista de la Facultad de Agronomía* 27:61-87.

Chávez-Barrantes N., R. Araya-Villalobos y D. Debouck (2009) Flujo de genes entre frijol común y silvestre en Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana* 20:237-244.

- Cruz B. J., F. Camarena M., J. P. Baudoin, A. Huaranga J. y R. Blas S. (2009)** Evaluación agromorfológica y caracterización molecular de la nuña (*Phaseolus vulgaris* L.) Universidad de Tarapacá. *Facultad de Ciencias Agronómicas* (IDESIA) 27:29-40.
- Delgado-Salinas A. (2000)** New species of Mexican *Phaseolus* (Fabaceae). *Systematic Botany* 25:414-436.
- Fehr W., C. Caviness, D. Burmood and J. Pennington (1971)** Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Science* 11:929-931.
- Fernández F., P. Gepts y M. López (1991)** Etapas de desarrollo en la planta de frijol *In: Frijol: Investigación y Producción*. M. López, F. Fernández y A. V. Schoonhoven (eds.). CIAT, Colombia. pp:61-78.
- Freytag F. and D. G. Debouck (2002)** Taxonomy, Distribution and Ecology of the Genus *Phaseolus* (Leguminosae-papilionoideae) in North America, Mexico and Central America. BRIT. USA. 300 p.
- Gepts P. and D. Debouck (1991)** Origin, domestication and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *In: Common Beans Research for Crop Improvement*. A V Schoonhoven, O Voyses (eds.). CIAT, Colombia. pp:7-53.
- González M. E., A. Estévez y D. García (1995)** Métodos para la determinación de fertilidad del polen y su relación con los resultados de las polinizaciones. *Cultivos Tropicales* 16:84-88.
- Herrera-Flores T. S., E. Cárdenas-Soriano, J. Ortiz-Cereceres, J. A. Acosta-Gallegos y M. C. Mendoza-Castillo (2005)** Anatomía de la vaina de tres especies del género *Phaseolus*. *Agrociencia* 39:595-602.
- Lépiz I. R., J. J. López A., J. J. Sánchez G., F. Santacruz R., R. Nuño R. y E. Rodríguez G. (2010)** Características morfológicas de formas cultivadas, silvestres e intermedias de frijol común de hábito trepador. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:21-28.
- Lépiz I. R. y R. Ramírez D. (2010)** Los Parientes Silvestres del Frijol Común en el Occidente de México. Universidad de Guadalajara. México. Libro 64 p.
- López-Soto J. L., J. A. Ruiz C., J. J. Sánchez G. y R. Lépiz I. (2005)** Adaptación climática de especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp.) en la República Mexicana. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28:221-230.
- Medina G. G., J. A. Ruiz C. y R. A. Martínez P. (1998)** Los climas de México. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro, INIFAP, SAGAR. México. 103 p.
- Meier U., H. Bleiholder, L. Buhr, C. Feller, H. Hack, M. Hess, P. D. Lancashire, U. Schnock, R. Stauss, T. Van-den-Boom, E. Weber and P. Zwerger (2009)** The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants – history and publications. *Journal für Kulturpflanzen* 61:41-52.
- Muñoz G. E. (2009)** Estudio paleontológico de las colecciones *Ex situ* de frijol cache *Phaseolus dumosus* Macfady, *Phaseolus coccineus* Linneo y posibles híbridos del suroccidente colombiano. CIA-SEM. Argentina. pp: 483-484.
- Ramírez-Delgadillo R. and A. Delgado-Salinas. (1999)** A new species of *Phaseolus* (Fabaceae) from west-central Mexico. *SIDA* 18:637-646.
- Rawlings J. O. (1988)** Applied regression analysis. Wadsworth & Brooks/ Cole Advanced Books & Software. Pacific Grove, California. 553 p.
- Ruiz-Corral J. A., I. J. González A., J. Anguiano C., I. Vizcaíno V., D. Ibarra C., J. Alcalá G., S. Espinoza V. y H. E. Flores I. (2003)** Estadísticas Climatológicas Básicas para el Estado de Jalisco. INIFAP-CIRPAC. México. 281 p.
- Rolf F. J. (2000)** Numerical taxonomy and multivariate analysis system, NTSYSpc, version 2.1.
- Sánchez G. J. J. (1995)** El análisis Biplot en clasificación. *Revista Fitotecnia Mexicana* 18:188-203.
- SNICS, Servicio Nacional de Inspección y Certificación de semillas (2005)** Guía Técnica para la Descripción Varietal de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) SNICS- SAGARPA. Tlalnepantla, Estado de México. 22 p.
- Torres-da-Silva H. e A. O. Costa (2003)** Caracterização botânica de espécies silvestres do género *Phaseolus* L. (Leguminosae). Embrapa Arroz e Feijão. CNPAF-EMBRAPA. Brasil. 40 p.
- Vargas-Vázquez P., J. S. Muruaga-Martínez, S. E. Martínez-Villarreal, R. Ruiz-Salazar, S. Hernández-Delgado y N. Mayek-Pérez (2011)** Diversidad morfológica del frijol ayocote del Carso Huasteco de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82:767-775.
- Ventura K. y L. Huamán (2008)** Morfología polínica de la familia Fabaceae de la parte baja de los Valles de Pativilca y Fortaleza (Lima-Perú). *Biologist* 6:112-134.