DIVERSIDAD MORFOLÓGICA DE POBLACIONES NATIVAS DE FRIJOL COMÚN Y FRIJOL AYOCOTE DEL ORIENTE DEL ESTADO DE MÉXICO

MORPHOLOGICAL DIVERSITY IN LANDRACES OF COMMON AND RUNNER BEANS FROM THE EASTERN MÉXICO STATE

Mónica Castillo Mendoza, Porfirio Ramírez Vallejo*, Fernando Castillo González y Salvador Miranda Colín

Programa en Genética, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km. 36.5 Carr. México-Texcoco. 56230, Montecillo, Edo. de México. Tel. 01 (595) 952-0200 Ext. 1590. Correo electrónico: ramirez@colpos.mx
** Autor para correspondencia*

RESUMEN

México es centro de origen, domesticación y diversificación del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y frijol ayocote (*P. coccineus* L.). Ambas especies, junto con el maíz (*Zea mays* L.), han sido importantes desde la época prehispánica por su valor alimenticio. Actualmente parte de la diversidad fenotípica y genética de estos cultivos se conserva en las poblaciones nativas cultivadas por los agricultores. La necesidad de generar estrategias que optimicen la conservación *in situ* y reducir la aparente erosión genética de las dos especies en el oriente del Estado de México y tres localidades aledañas del Estado de Morelos motivaron la evaluación del estado actual de la diversidad morfológica contenida en poblaciones de *P. coccineus* y *P. vulgaris* de esta región. Se caracterizaron morfológicamente 107 poblaciones de frijol común, 42 de frijol ayocote y una de frijol acalete (*P. coccineus* ssp. *darwinianus*), mediante 11 variables cualitativas y 16 cuantitativas, en Tecamac, Edo. de México, en el año 2003. La variación entre poblaciones de frijol común fue mayor que la del frijol ayocote para color de flor y de semilla, y forma predominante de ápice de la vaina. Las poblaciones de frijol ayocote resultaron más diversas en el tamaño que en el color de la semilla (54.8 % morado, 26.2 % negro y 19.0 % blanco y café), y conformaron dos grupos definidos por precocidad, precoz y tardío, número de semillas por vaina y tamaño de semilla. Se determinó que todavía existe una gran diversidad de frijol común, más que de frijol ayocote, la cual se podría estar manteniendo por el intercambio de semilla en mercados regionales y por su utilización en los sistemas de asociación maíz-frijol.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., *P. coccineus* L., conservación *in situ*, diversidad.

SUMMARY

México is center of origin, domestication and diversification of common (*Phaseolus vulgaris* L.) and runner (*P. coccineus* L.) beans. Both species together with maize (*Zea mays* L.) have been of nutritional importance since pre-hispanic times. The phenotypic and genetic diversity of these crops is currently conserved in native populations grown by farmers. The need to generate strategies to optimize the *in situ* conservation and to diminish the apparent genetic erosion of both species in the eastern region of the State of México and north of Morelos motivated the study of the morphological diversity contained in *P. coccineus* and *P. vulgaris* from this region. We characterized 107 populations of common bean, 42 of runner bean and one of *P. coccineus* ssp. *darwinianus,* through 11 qualitative and 16 quantitative traits. The variation among common bean populations was larger than that of runner bean populations for flower color, form and seed color, and for the predominant pod peak shape. The runner bean populations had larger variation in seed size than in seed color (54.8 % purple, 26.2 % black and 19.0 % white and brown), and two groups were distinguished (early and late) based on days to flowering, seeds per pod and seed size. It was concluded that there still is large diversity available, in common bean, more than in runner bean, which may be due to seed exchange in regional markets and the maize-bean intercrop.

Index words: *Phaseolus vulgaris* L., *P. coccineus* L., *in situ* conservation, diversity.

INTRODUCCIÓN

Vavilov registró que México y América Central son el centro de origen de 49 especies vegetales cultivadas (Hawkes, 1991), entre las que se encuentran los frijoles. De las 52 especies descritas del género *Phaseolus,* alrededor de 40 son originarias de México (Sousa y Delgado, 1998). Entre las cinco especies cultivadas del género, se encuentran el frijol común (*P. vulgaris* L.) y el frijol ayocote (*P.coccineus* L.), que junto con el maíz (*Zea mays* L.) han constituido elementos importantes en la alimentación de los pueblos nativos de América. En la actualidad es posible encontrar en estas especies un gran número de variantes morfológicas, en cuyo desarrollo han intervenido tanto la adaptación a diferentes ambientes como la participación de los diversos grupos humanos. La variación entre y dentro de especies se observa en las variantes morfológicas de los diferentes órganos de la planta, atributos que son fáciles de

Recibido: 8 de Julio del 2005.
Aceptado: 3 de Marzo de 2006.

visualizar y cuantificar (en caracteres estables) en diferentes ambientes.

México es el quinto productor mundial de frijol común con poco más de un millón 400 mil toneladas; el cultivo ocupa el segundo lugar en superficie sembrada después del maíz, y su grano es una de las principales fuentes de proteína en la dieta (Anónimo, 2000). La importancia de los sistemas tradicionales en la producción de frijol fue señalada por Lépiz (1984) quien estimó que la asociación maíz-frijol de variedades nativas se practicaba en por lo menos 600 000 ha anuales en el centro y sur del país, principalmente en los estados de Michoacán, Jalisco, México, Puebla, Chiapas y Yucatán. Actualmente se siembran 26 061 ha con asociación maíz-frijol (Ibarra *et al*., 1999), aunque esta superficie podría estar subestimada dado que este sistema continúa siendo importante en el centro, sur y sureste del país.

En la región oriental del Estado de México, así como en otras regiones cercanas y en lustros recientes, se percibe una disminución de la superficie cultivada con asociaciones, debido entre otros factores a presiones económicas y factores sociales. En esta región el cultivo del frijol asociado se lleva a cabo con variedades nativas de frijol común y frijol ayocote, en las que se observa amplia variación en formas y colores de semilla.

En una exploración de poblaciones de frijol común y frijol ayocote realizada en el año 2000, sólo en siete de 106 hogares visitados en el municipio de Ayapango, Estado de México, se cultivaba frijol. Esta baja proporción sugiere erosión de la diversidad genética en las poblaciones nativas de las especies *P. vulgaris* L. y *P. coccineus* L., debido al aumento del monocultivo de maíz. No obstante, en la región oriente del Estado de México se encuentran unidades de producción cultivadas con asociación maíz-frijol, entre otras asociaciones; y en los mercados regionales se encontró un alto número de poblaciones de frijol con hábito de crecimiento indeterminado, que son apropiadas para este sistema de producción.

Al considerar que la mayoría de los estudios de diversidad morfológica han sido enfocados a la clasificación entre especies (Delgado *et al*., 2004) y al estudio de diferencias dentro de especies en una escala geográfica amplia, principalmente en *P. vulgaris* (Singh *et al*., 1991a, 1991b; Gepts y Debouck, 1991; Espín, 1978), y con la finalidad de generar estrategias que optimicen la conservación *in situ* y de estudiar la diversidad morfológica regional inter e intra específica de diferentes especies cultivadas de *Phaseolus*, la presente investigación evaluó la amplitud de la variación morfológica entre y dentro de las especies de *P. vulgaris* y *P. coccineus,* en el oriente del Estado de México y norte del Estado de Morelos, para probar la hipótesis de que en la actualidad todavía existe variación morfológica entre las poblaciones nativas de ambas especies en dicha región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La región oriental del Estado de México está integrada por 12 municipios, con una superficie de 121 528 ha, entre las latitudes 19°22'00'' y 19°83'00'' LN y altitudes de 2260 a 2550 m. Predominan dos climas, el templado subhúmedo y semifrío subhúmedo; la precipitación media anual es mayor a 800 mm; la máxima incidencia de lluvias ocurre en julio (entre 150 y 270 mm) y la temperatura media anual oscila entre 15 y 18 °C (INEGI, 1987a). En los municipios Atlahuacan, Yecapixtla y Ocuituco en el Estado de Morelos predomina el clima semicálido húmedo; precipitación media anual entre 800 y 1500 mm; temperatura media anual entre 18 y 22 °C y la máxima incidencia de lluvias (230 a 240 mm) se presenta en junio (INEGI, 1987b).

Material biológico

Se realizaron colectas en los mercados regionales de Ozumba (en donde se encontraron nueve poblaciones originarias de Nealtican, Puebla) y Chalco en el Estado de México, asi como en Yecapixtla, Morelos. También se colectó con agricultores de las comunidades ubicadas en una ruta dirección norte a sur, desde Cocotitlán, Estado de México, hasta Yecapixtla, Morelos, en enero de los años 2002 y 2003. En 2003 se caracterizaron morfológicamente 40 poblaciones de frijol ayocote y 106 de frijol común, de un conjunto de 179 (Cuadro 1), así como dos poblaciones de frijol ayocote de Coatlinchán y Lomas de Cristo, Estado de México y una de frijol común negro de Coatlinchán. Se agregó una población de *P. coccineus* ssp. *darwinianus* (Miranda, 1991) (frijol acalete) o *P. dumosus* (Schmit y Debouck, 1991) de Teziutanapa, Puebla, como referencia externa.

Caracterización en campo

La siembra se hizo bajo el sistema de asociación maíz-frijol, el 24 de mayo del 2003. La caracterización morfológica se efectuó en el ciclo primavera–verano del 2003, en el Campo Experimental de Tecamac, Edo. de México (19° 43' de LN y 98° 56 de LO) a una altitud de 2260 m. La temperatura media anual es de 14 °C y la precipitación anual 357.34 mm. El cultivo se fertilizó con la fórmula $80N_2$-$40P_2O_5$-$00K_2O_5$. Se aplicaron dos riegos, el primero al momento de la siembra y el segundo a los 60 d. Para el

Cuadro 1. Procedencia y número de poblaciones evaluadas de las especies P. vulgaris *y* P. coccineus.

Localidad	Poblaciones (número de poblaciones)		Altitud (m)
	P. coccineus	*P. vulgaris*	
Chalco, Méx.	Ayocote (1)	Amarillo (2), negro (1)	2550
Juchitepec, Méx.	Ayocote (7)	Negro (2), cenitle (4), parraleño (1), amarillo (2), flor de mayo bola (1), mantequilla (2), blanco (1), coconita (3), garrapato (2), rosita (2), bayo y coconita (1)	2540
Ozumba, Méx.	Ayocote (3)	Bayo (1), amarillo (3), ensaladilla (2) y sangre de toro (1)	2340
Atlautla, Méx.	Ayocote (2)	Moro bola (1), negro bola (1), palacio (1), amarillo (2), revuelto (1), apetito (1) flor de mayo (1), coconita (1)	2260
Tepetlixpa, Méx.	Ayocote (3)	Rosa (1), ensaladilla (1), rojito (1), bayo (1), coconita (3), amarillo (2)	2315
Tlalmanalco, Méx.	Ayocote (2)	Mantequilla (1), moro (1), amarillo (1), ojo de liebre (1)	2400
Cocotitlan, Méx.		Garbancillo (4), negro (3), venado (1) amarillo (1), ensaladilla (1)	2300
Ixtapaluca, Méx.		Amarillo (1), parraleño (1), moro (1), mantequilla (1), vaquita (1), alubia chiquita (1), negro bola (1), sangre de toro (1)	2500
Ocuituco, Mor.	Ayocote (1)	Palacio bola (1), amarillo bola (1)	1920
Atlatlahuacan, Mor.	Ayocote (1)	Negro bola (1), negro (2), apetito (1), revuelto (1)	1056
Yecapixtla, Mor.	Ayocote (3)	Palacio bola (2), amarillo bola (2), vaquita amarilla (1), flor de mayo bola (2), coloradito (1), gota de agua (1), revuelto (1)	1580
Nealtican, Puebla	Ayocote (2)	Amarillo (1), negro (1), mantequilla (1), parraleño (2), cacahuate (1)	2220
Otros†	Ayocote (17)	Negro (1), flor de mayo (2), revuelto (2), morado de agua (1), peruano (1), cenitle (1), apetito (1), negro bola (1), coco. (1), capuchino (1), vaquita (1)	
Teziutanapa, Puebla	*P.coccineus* ssp. *darwinianus*	Frijol acalete (1)	2100

† Localidades en las que se adquirió sólo una colecta.

control de saltamontes (*Melanoplus differentialis*) y conchuelas (*Epilachna varivestis*) se asperjó Karate x1® (ingrediente activo Lambda-cialotrina, 8 %) en la dosis de 250 mL ha^{-1} en la etapa de floración. La maleza se controló de manera manual. La cosecha se hizo durante diciembre del 2003 y enero del 2004.

Las 107 poblaciones de *P. vulgaris* y las 42 de *P. coccineus* junto con la de *P. coccineus* ssp. *darwinianus*, se agruparon por especie y por hábito de crecimiento (con base en la información de los agricultores) en cuatro experimentos. En el grupo de *P. coccineus* de guía se incluyeron diez poblaciones de frijol común tipo "bola" (nombre debido al tamaño y la forma de la semilla) y la de frijol acalete. Los grupos se distribuyeron en diseños látice triple con base en el número de poblaciones (10 x 10 para frijol común de guía; 5 x 5 para frijol común de mata y 6 x 7 para frijol ayocote de guía), con excepción del grupo de frijol ayocote de guía corta, que incluyó diez poblaciones en un diseño de bloques completos al azar. Todos los experimentos tuvieron tres repeticiones y la unidad experimental consistió en dos surcos de 0.80 m de separación y 5.0 m de longitud. El maíz se sembró manualmente colocando tres semillas a una distancia de 0.50 m y tres semillas de frijol cada metro. La caracterización morfológica se hizo en asociación con maíz amarillo nativo de la región oriente del Estado de México, debido a que la mayoría de las poblaciones evaluadas se siembran tradicionalmente en el sistema de asociación maíz-frijol.

Los días a la floración se registraron cuando 50 % de las plantas de cada parcela presentaron las flores abiertas. El tamaño del ala, el estandarte y el color de la flor se midieron en una flor turgente bien desarrollada, en cinco plantas por parcela (Cuadro 2). La longitud, el ancho, el color de la vaina y el número de semillas por vaina se registraron en dos frutos del estrato medio tomadas de cinco plantas por parcela. La longitud, la anchura y el grosor de la semilla se evaluaron en las muestras originales colectadas en tres repeticiones de 10 semillas cada una, y el peso de 100 semillas se determinó en tres repeticiones.

Cuadro 2. Características morfológicas cuantitativas y cualitativas registradas durante el ciclo Primavera-Verano de 2003 en campo y Primavera 2004, en invernadero

Características cualitativas	Características cuantitativas
Invernadero	
Color del hipocótilo (CH)	Longitud del hipocótilo (LH, cm)
Color del foliolo central (CFC)	Longitud del epicótilo (LE, cm)
Forma del foliolo central (FFC)	Longitud del foliolo central (LFC, cm)
	Anchura del foliolo central (AFC, cm)
Campo	
Color de la flor (CF)	Días a floración (DF)
Color de la vaina (CV)	Anchura del estandarte (AE, mm)
Perfil de vaina (PV)	Longitud del estandarte (LE, mm)
Tipo del ápice de la vaina (TA)	Anchura del ala (AA, mm)
Grado de la curvatura de la vaina (GC)	Longitud del ala (LA, mm),
Dirección de la sutura placental (DSP)	Anchura de la vaina (AV, cm)
Color de la semilla (CS)	Longitud de la vaina (LV cm)
Forma de la semilla (FS)	Número de semillas por vaina (NSV)
	Longitud de semilla (LS, cm),
	Anchura de semilla (AS, cm),
	Grosor de semilla (GS, cm),
	Peso de 100 semillas (PS, g).

Caracterización en invernadero

Debido a la dificultad para cuantificar las características de plántula en campo, las poblaciones se caracterizaron en invernadero. Se sembraron 97 poblaciones de frijol común en camas con arena de río de 5 x 2.5 m; 42 poblaciones de frijol ayocote y 11 de frijol común tipo "bola" se sembraron en una cama de 2.5 m x 2.5 m. Las poblaciones se aleatorizaron con base en un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones. Por falta de espacio la

primera repetición del experimento de frijol común se sembró el 15 de marzo y la segunda el 24 de mayo del 2004. En el caso del frijol ayocote, la primera repetición se sembró el 17 de abril y la segunda el 6 de junio del 2004. En cada repetición se sembraron 25 semillas por población, en surcos de 1.25 m de longitud y 10 cm de separación. Las semillas individuales se depositaron cada 5 cm a una profundidad de 3 cm. Se aplicaron dos riegos por día, uno por la mañana y otro por la tarde; el control de malezas se hizo manualmente. Las características morfológicas cualitativas y cuantitativas de la plántula se midieron en cinco individuos con la primera hoja trifoliolada más madura completamente desarrollada. Se registraron diez caracteres cualitativos (Cuadro 2) con base en la metodología, descriptores y cuadro de colores sugeridos para frijol común por Muñoz *et al.* (1993), y la forma del foliolo central de acuerdo con Singh (1991).

Análisis estadístico

El análisis de componentes principales (ACP) se realizó con base en la matriz de correlaciones de los promedios de las características cuantitativas de 119 poblaciones de frijol común y frijol ayocote, ya que 31 poblaciones tuvieron datos incompletos. Para definir las variables que explicaran en mayor grado los dos primeros componentes principales, se obtuvo el coeficiente de determinación (R^2) de cada variable con respecto a su componente principal correspondiente. La dispersión de las poblaciones se graficó sobre el plano determinado por los dos primeros componentes principales. Para determinar las relaciones de similitud entre las 150 poblaciones de frijol común, frijol ayocote y frijol acalete, así como dentro de cada especie, se realizó un análisis de conglomerados con los datos estandarizados a la distribución normal (0, 1) y con base en las distancias euclidianas como coeficiente de disimilitud; la agrupación jerárquica se obtuvo con el método de ligamiento promedio (UPGMA). Con los datos cualitativos se realizó un análisis de correspondencia con base en la matriz de modas (datos no mostrados), que no mostró con claridad la diversidad entre y dentro de especies, por lo que se presentan las frecuencias de las características cualitativas por especie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características cualitativas

P. coccineus. De las 42 poblaciones evaluadas 76.2 % fueron de hábito indeterminado con capacidad para trepar y 23.8 % de guía corta. El mayor porcentaje de poblaciones de guía, tanto de frijol común (76.6 %) como de frijol ayocote, resalta la importancia de este tipo de poblaciones en el sistema maíz-frijol en la región. Las poblaciones con semilla color morado predominaron; y hubo pocas de semilla negra, café, amarilla o blanca. Se encontraron poco más de 50 % del total de colores reportados para otros cultivares, y no se encontraron semillas de color rosa (Delgado, 1988), rojas, grises moteadas y estriadas (Miranda, 1967). La predominancia de semilla de color morado puede deberse a su valor culinario y comercial regional, como ocurre en el norte de la Península Ibérica en donde se prefiere la semilla blanca (Santalla *et al.*, 2004). En el hipocótilo predominaron los colores morado (53.7 %) y negro (20.1 %), que superaron las frecuencias de los colores púrpura (5.4 %) y verde (9.8 %). El foliolo central de la primera hoja mostró diferentes tonos de verde; la forma predominante fue ovoide (80.9 %), seguida de la romboide (17.7 %) y la lanceolada (1.2 %) se presentó en baja frecuencia. Las formas ovada y lanceolada han sido observadas por otros autores, en cultivares del Valle de México (Rzedowsky y Rzedowsky, 1990) y Teziutlán, Puebla (Miranda, 1967).

En *P. coccineus* es posible que el color del hipocótilo esté ligado a genes que controlan la expresión del color de la semilla y la flor, como sucede en frijol común (Singh, 1991). El alto porcentaje de flor rojo escarlata (93.8 %) se debe a la presencia del alelo V^{wf} en las semillas de color morado a negro junto con los genes que codifican para flores de color rojo (Santalla *et al.*, 2004). La predominancia del color rojo escarlata se ha encontrado en otras poblaciones de frijol ayocote cultivadas y silvestres sembradas entre los 2200 y 2500 msnm, mientras que a mayor altitud se han encontrado tonalidades desde rojo oscuro hasta rosa (Búrquez y Sarukhán, 1980). La vaina presentó nueve colores diferentes, con predominio del color café claro o habano (57.2 %) y el café pajizo (18.2 %). Los perfiles de vaina más frecuentes fueron el medianamente curvado (53.8 %) y el curvado (27.4 %). La forma del ápice de la vaina no presentó variación, ya que todas las poblaciones presentaron el tipo puntiagudo, un grado de curvatura "curvado" y la dirección de la sutura placental inversa. La forma del ápice se distingue claramente de las del frijol común, ya que la del frijol ayocote es más curvada, aunque se observaron diferencias en el grado de curvamiento.

P. vulgaris. De las poblaciones evaluadas 76.6 % fueron de guía y 23.4 % de mata. Se observaron variantes en forma, tamaño, color y tipo de variegado de semilla, lo que ha dado lugar a nombres regionales característicos como 'negro', 'amarillo', 'parraleño', 'moro', 'mantequilla', 'sangre de toro' o 'gusano de maguey', 'coloradito' o 'rojito', 'morado de agua', 'flor de mayo', 'flor de junio', 'garbancillo', 'rosita', 'cocona', 'garrapato', 'cenitle', 'apetito' o 'yecapaxtle', 'cacahuate', 'venado', 'bayo', 'palacio', 'peruano', 'capuchino', 'ojo de liebre', 'pinto' y 'vaquita' en versiones negra, roja, amarilla y café.

Además, se tuvieron mezclas de dos o tres variedades de frijol común, conocidas como 'ensaladillas' (3.9 %). Desde el punto de vista de los agricultores, las mezclas de frijol común son ventajosas porque les brindan un margen de seguridad ante los riesgos climáticos, ya que en sus palabras "si no se da una, se da otra".

La forma de semilla más común fue la truncada (51.4 %), seguida por la arriñonada recta en el hilio (17.8 %), alargada ovoide en un extremo e inclinada en el otro (10.9 %) y ovoide (8.4 %). Los colores del hipocótilo fueron de diferentes tonalidades de verde en las variedades de semilla clara, y morados en las semillas de color negro. Se observaron flores de color blanco y morado, en contraste con lo observado en 31 cultivares de España en donde predominaron flores de color blanco (Rodiño *et al*., 2003); en Malawi donde las poblaciones presentaron flores moradas, lilas, rosas y blancas (Martin y Adams, 1987); y en Holanda donde también se observaron flores de color rosa (Zeven *et al*., 1999).

Los colores del foliolo central más comunes fueron verde quemado (78.7 %) y verde esmeralda (10.7 %). La forma del foliolo central fue principalmente ovada (78.7 %), en menor frecuencia se presentó la forma romboide (17.7 %) y en muy baja proporción la lanceolada (3.7 %). Estas frecuencias podrían tener relación con la predominancia en las poblaciones mesoamericanas de la forma ovada y cordada del foliolo central, aunque también incluye formas lanceoladas, y que en la raza Jalisco predomina la romboédrica (Singh, 1991). En accesiones de la Península Ibérica (Rodiño *et al*., 2003) y de Holanda (Zeven *et al*., 1999) también predominaron los foliolos de forma ovada. Las vainas presentaron colores café claro (26.4 %), crema (17.8 %) y beige (16.9 %). El tipo de ápice más común fue el puntiagudo (89.8 %) y en menor proporción el romo (10.2 %). La curvatura del ápice más frecuente fue el curvado (61.7 %), seguida del medianamente curvado (26.8 %) y el menos frecuente fue recto (11.5 %). La predominancia del ápice curvado (78.1 %) sobre el ápice recto (21.9 %) también se observó en accesiones españolas (Rodiño *et al*., 2003). La dirección de la sutura de la vaina fue placental, característica morfológica observada principalmente en poblaciones de origen mesoamericano (Singh *et al*., 1991a). La forma de ápice más frecuente según la dirección de la sutura placental fue la inversa y en menor grado se presentó la normal en algunos individuos de las poblaciones 01-03 ('garbancillo'), 04-03 ('cenitle morado'), 33 ('cenitle') y 40 ('vaquita'). El perfil de vaina con mayor frecuencia fue el medianamente curvado (41.4%) y, en menor grado, el curvado (35.1 %) y el recto (18.6 %).

La población de frijol acalete presentó características intermedias entre las de *P. coccineus* y *P. vulgaris*, y se diferenció de las demás por presentar semillas de forma esférica.

Características cuantitativas

El análisis de componentes principales (CP) de las dos especies incluyó información de 16 características de flor, vaina, semilla y hoja. Los dos primeros componentes explicaron 86.2 % de la variación total; el primero 73.8 % y el segundo 12.4 %. Las características de mayor importancia para la definición de los componentes principales fueron 15 de las 16 analizadas (Cuadro 3). Las variables con mayor contribución a la determinación del primer componente, con base en coeficientes de determinación (R^2) superiores a 0.69 fueron la longitud de estandarte (LE), ancho de estandarte (AE), longitud de ala (LA), longitud de semilla (LS), ancho de semilla (AS), longitud de epicótilo (LEP), peso de semilla (PS), anchura del foliolo central (AFC), longitud de hipocótilo (LH), anchura del ala (AA), anchura de vaina (AV), grosor de la semilla (GS) y número de semillas por vaina (NSV). Las variables que contribuyeron a la definición del segundo componente fueron la longitud de la vaina (LV) y los días a floración (DF) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Vectores característicos de 16 variables cuantitativas y coeficientes de determinación (R^2) de cada variable original, respecto a su componente principal de 77 poblaciones nativas de P. vulgaris, *41 de* P. coccineus *y una de* P. coccineus ssp. darwinianus.

Características	Vectores característicos		R^2	
	CP1	CP2	CP1	CP2
LE	**0.2852**	-0.0480	**0.9598**	0.0046
AE	**0.2828**	-0.0551	**0.9438**	0.0060
LA	**0.2798**	-0.0289	**0.9240**	0.0017
AA	**0.2795**	-0.0692	**0.9220**	0.0095
LV	0.0414	**0.6248**	0.0202	**0.7755**
AV	**0.2660**	0.0695	**0.8347**	0.0096
NSV	**-0.2417**	0.2954	**0.6896**	0.1734
LS	**0.2791**	0.0808	**0.9190**	0.0130
AS	**0.2774**	0.1104	**0.9079**	0.0242
GS	**0.2628**	0.0754	**0.8149**	0.0113
PS	**0.2725**	0.0958	**0.8765**	0.0182
LHP	**-0.2719**	0.1373	**0.8722**	0.0375
LEP	**0.2736**	-0.0332	**0.8832**	0.0022
LFC	0.1730	0.2760	0.3534	0.1514
AFC	**0.2726**	-0.0250	**0.8768**	0.0012
DF	-0.0161	**0.6134**	0.0031	**0.7474**

LE = Longitud de estandarte; AE = Ancho de estandarte; LA = Longitud de ala; AA = Ancho de ala; LV = Longitud de vaina; AV = Ancho de vaina; NSV = Número de semillas por vaina; LS = Longitud de semilla; AS = Ancho de semilla; GS = Grosor de semilla; PS = Peso de 100 semillas; LHP = Longitud de hipocótilo; LEP = Longitud de epicótilo; LFC = Longitud del foliolo central; AFC = Ancho del foliolo central; DF = Días a 50 % de floración.

Las características morfológicas más contrastantes entre las dos especies fueron el tamaño de flor y de semilla y la longitud del epicótilo, que son de mayor tamaño en el frijol ayocote (Cuadro 4). Las características útiles para agrupar a las poblaciones con base en su valor agronómico fueron los días a la floración, y el tamaño y número de semillas por vaina.

Cuadro 4. Intervalos de variación, media y desviación estándar de 16 características cuantitativas de 77 poblaciones nativas de P. vulgaris, *41 de* P. coccineus *y una de* P. coccineus ssp. darwinianus.

Característica	*P. vulgaris*			*P. coccineus*			*P. coccineus* ssp. darwinianus
	Intervalo	Media	DE	Intervalo	Media	DE	
Longitud de estandarte, cm	1.15-1.38	1.27	0.53	1.68-1.91	1.83	0.52	1.47
Ancho de estandarte, cm	1.35-1.71	1.54	0.62	1.86-2.15	2.01	0.63	1.73
Longitud de ala, cm	0.90-1.37	1.17	1.00	1.69-2.10	1.92	0.97	1.67
Ancho de ala, cm	0.85-1.23	1.05	0.84	1.68-2.19	1.95	1.44	1.50
Longitud de vaina, cm	9.26-16.76	1.25	1.56	10.45-14.71	12.72	0.80	11.77
Ancho de vaina, cm	1.21-1.89	1.68	0.18	2.10-3.10	2.28	0.16	1.75
Núm. de semillas por vaina	4.43-7.67	5.86	0.75	3.22-4.20	3.66	0.25	4.09
Longitud de semilla, cm	0.91-1.47	1.27	0.91	1.65-2.30	1.90	1.77	1.36
Ancho de semilla, cm	0.59-1.02	0.85	0.85	1.03-1.42	1.21	0.97	1.06
Grosor de semilla, cm	0.42-0.74	0.58	0.66	0.67-0.88	0.77	0.47	0.63
Peso de 100 semillas, g	14.90-57.33	39.14	8.95	61.90-145.50	95.29	21.52	56.0
Longitud de hipocótilo, cm	1.97-4.73	3.71	0.46	np	np	np	3.76
Longitud de epicótilo, cm	2.92-6.20	4.19	0.62	6.80-12.66	8.61	1.11	6.10
Longitud de foliolo central, cm	5.11-8.18	7.03	0.64	6.57-8.66	7.72	0.48	6.65
Anchura del foliolo central, cm	2.89-5.98	3.47	0.32	4.21-5.51	4.85	0.29	3.57
Días a 50 % de floración	42.67-117.7	77.79	21.98	36.33-102.33	71.21	24.43	102.0

np=Característica no presente en la especie

La distribución espacial de las poblaciones con base en los dos primeros componentes principales (Figura 1) muestra a las poblaciones de *P. coccineus* concentradas en los cuadrantes I y IV, como consecuencia del mayor tamaño de sus órganos reproductivos (estructuras florales, vainas y semillas) (Cuadro 4). Los intervalos de variación en el tamaño de estandarte fueron similares a los reportados por Miranda (1967) para poblaciones de Teziutlán, Puebla, mientras que los tamaños del ala fueron más grandes en el presente estudio. En cultivares del Valle de México (Rzedowsky y Rzedowsky, 1990) el tamaño máximo de la flor fue ligeramente menor (2 cm longitud) a la observada en esta investigación, mientras que en otras poblaciones ha sido mayor (2.5 cm longitud) (Delgado, 1988). La longitud de vaina tuvo un intervalo de variación menor que el observado por Miranda (1967). En el cuadrante I se ubicaron las poblaciones más tardías (78 a 102 d a floración), que además presentaron vainas largas (12.4 a 14.7 cm), semillas grandes (85.8 a 145.5 g/100 semillas) y de hábito de crecimiento tipo IV. En el cuadrante IV se concentraron las poblaciones precoces (36.3 a 77.3 d), cuyo peso de 100 semillas fue de 61.9 a 96.7 g, en este cuadrante se concentraron la mayoría de las poblaciones de hábito tipo III. La población de *P. coccineus* ssp. *darwinianus* (18) se ubicó más cerca del grupo de *P. vulgaris* que a el de *P. coccineus*. Lo anterior difiere a lo encontrado en otras caracterizaciones morfológicas (Miranda, 1967), moleculares (Llaca *et al*., 1994) e isoenzimáticas (Piñeiro y Eguiarte, 1988) que ubican a *P. coccineus* ssp. *darwinianus* cercana a *P. coccineus*; sin embargo, en estudios taxonómicos realizados con ADN del cloroplasto se le ubica más cerca de *P. vulgaris* (Llaca *et al*., 1994).

En contraste con las poblaciones de *P. coccineus*, las poblaciones de frijol común se concentraron a la izquierda de la distribución poblacional (Figura 1); en los cuadrantes II y III, la distribución continua y de mayor amplitud de las poblaciones a lo largo del eje vertical, sugiere mayor diversidad en el frijol común que en el frijol ayocote. En la región explorada dos poblaciones de frijol común fueron de semilla chica (< 25 g/100 semillas), 58 fueron de semilla mediana (25.5 a 39.6 g/100 semillas) y 47 fueron de semilla grande (40 a 60.3 g/100 semillas). La gran diversidad observada (Figura 1) ha sido favorecida por el intercambio de semillas en mercados regionales, así como por las prácticas asociadas con el manejo del sistema de cultivo de la milpa que involucra varias especies y dentro de cada una de ellas, a diferentes morfotipos, lo que podría estar contribuyendo al mantenimiento de la diversidad mediante la formación de nuevos morfotipos, al convivir poblaciones con diferentes hábitos de crecimiento y precocidad.

Las poblaciones de frijol común con semilla tipo "bola" y características de semilla similares, se ubicaron en la parte superior derecha de la distribución de este grupo poblacional en el cuadrante II. En el extremo inferior del conjunto se ubicaron las poblaciones más precoces, que tuvieron flores y semillas más pequeñas, en un intervalo de floración de 42 d (colecta 73-03; 'Peruano') a 117 d (población 13; 'Morado de agua'). El conjunto de poblaciones de frijol común se distribuyó con mayor amplitud a lo largo del CP 2, lo que indica que el intervalo de variación en días a floración fue mayor en el frijol común (42.7 a 120.3 d) que en el frijol ayocote (36.3 a 102.3 d), así como en el número de semillas por vaina. Es probable que la amplitud de los días a floración en frijol común sea consecuencia de su adaptación.

En el grupo de frijol común destacan algunas poblaciones, como el tipo 'Rosita' (32), que tiene vainas más largas (16.8 cm) que las de otras poblaciones; la población 84-03, que se encuentra cerca del eje de las ordenadas, es una variedad de tipo 'amarillo bola' con semilla grande (60.3 g/ 100 semillas); la población 12 es una variedad de

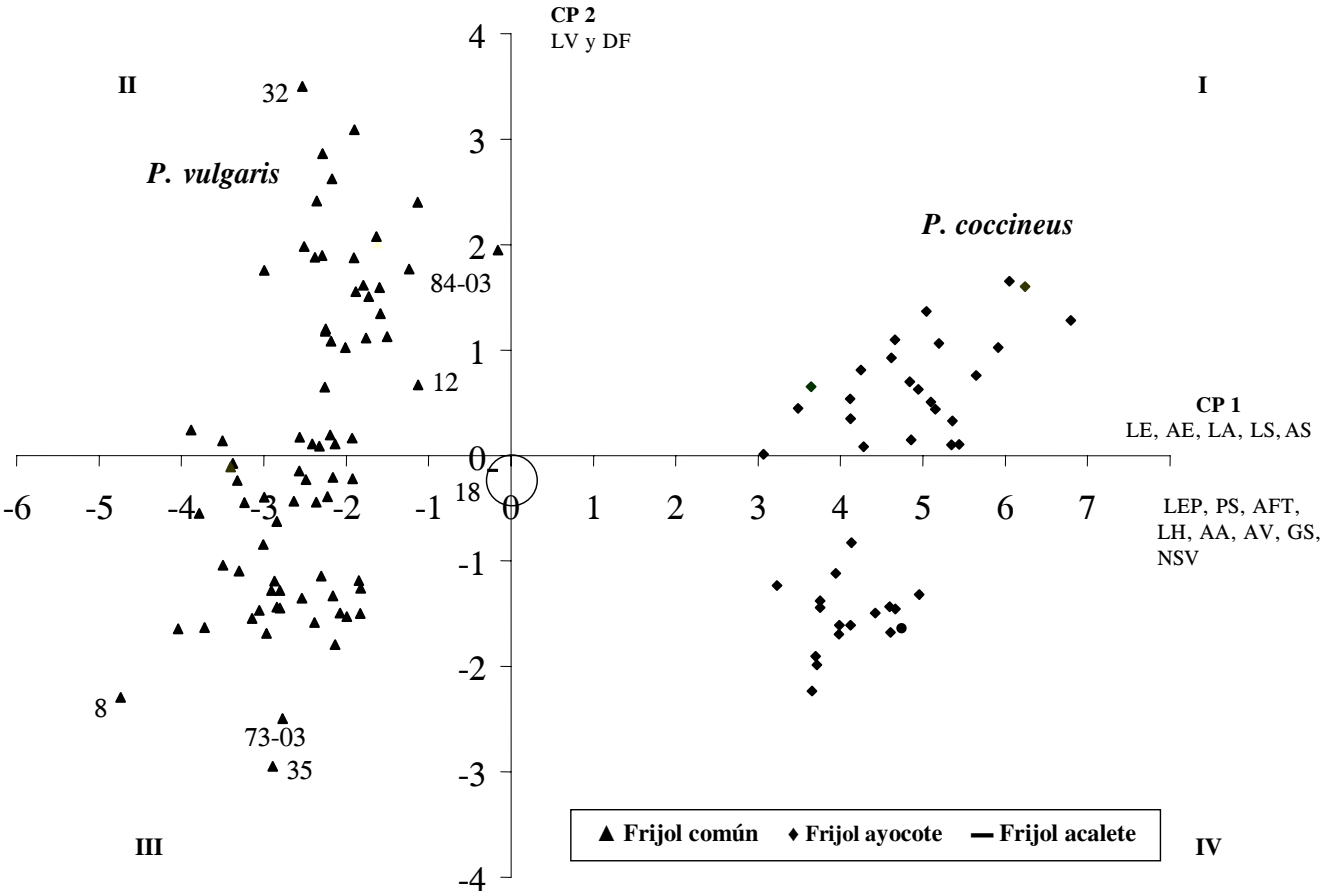


Figura 1. Dispersión de 77 poblaciones nativas de frijol común, 41 de frijol ayocote y una de frijol acalete, con base en los dos primeros componentes principales de 16 variables morfológicas cuantitativas. LE = Longitud de estandarte; AE = Ancho de estandarte; LA = Longitud de ala; AA = Ancho de ala; LV = Longitud de vaina; AV = Ancho de vaina; NSV = Número de semillas por vaina; LS = Longitud de semilla; AS = Ancho de semilla; GS = Grosor de semilla; PS = Peso de 100 semillas; LH = Longitud de hipocótilo; LEP = Longitud de epicótilo; DF = Días a 50% de floración

tipo 'negro bola', que se separa debido a la anchura del estandarte (16.0 mm), y la población 8 de tipo de grano 'alubia chiquita' con tamaño de semilla muy pequeño (0.9 cm de longitud y 14.9 g/100 semillas), floreció casi al mismo tiempo (80.3 d) que otras variedades con semillas de mayor peso. La variedad 'Flor de mayo' (población 35) presentó las vainas más cortas (9.3 cm) y fue una de las más precoces (44 d a floración); la población 73-03 ('Peruano') destacó por ser la más precoz (42 d). Las poblaciones anteriores pueden ser mejoradas: sin embargo, la diferencia entre éstas y las poblaciones locales más precoces es de 4 a 9 d. Estas dos poblaciones se incluyeron en la evaluación como puntos de referencia externos a la diversidad local, ya que en los últimos años han sido introducidas en el área para cubrir las necesidades de unicultivo en siembras tardías por temporal extemporáneo o limitado.

En el análisis de conglomerados se observó continuidad debida principalmente a la diversidad en el tamaño de semilla de las dos especies incluidas en el estudio. En la parte superior del dendrograma se encuentran poblaciones de frijol de semilla chica y en la parte inferior las poblaciones de frijol ayocote con semilla grande. Las dos especies *P. vulgaris* (I) y *P. coccineus* (II) se separaron con claridad (Figura 2). Dentro del grupo de *P. vulgaris* se observaron dos subgrupos; en el subgrupo I-A se encuentran poblaciones que fueron más precoces y en las que predominaron las semillas pequeñas. En el subgrupo I-B se encuentran las poblaciones de 64.3 a 120.3 d a floración con semilla más grande. La población de frijol acalete (I-C) se ubicó fuera del complejo formado por los grupos I-A y I-B de frijol común, así como una población de frijol común 'moro bola' (I-D) y cinco poblaciones de frijol común (I-E). En *P. coccineus* se distinguieron dos subgrupos; el subgrupo II-A se integró con poblaciones de semilla mediana y de mayor precocidad (cuadrante I); el subgrupo II-B se formó con poblaciones de semillas de mayor peso y floración más tardía (cuadrante IV) (Figura 1).

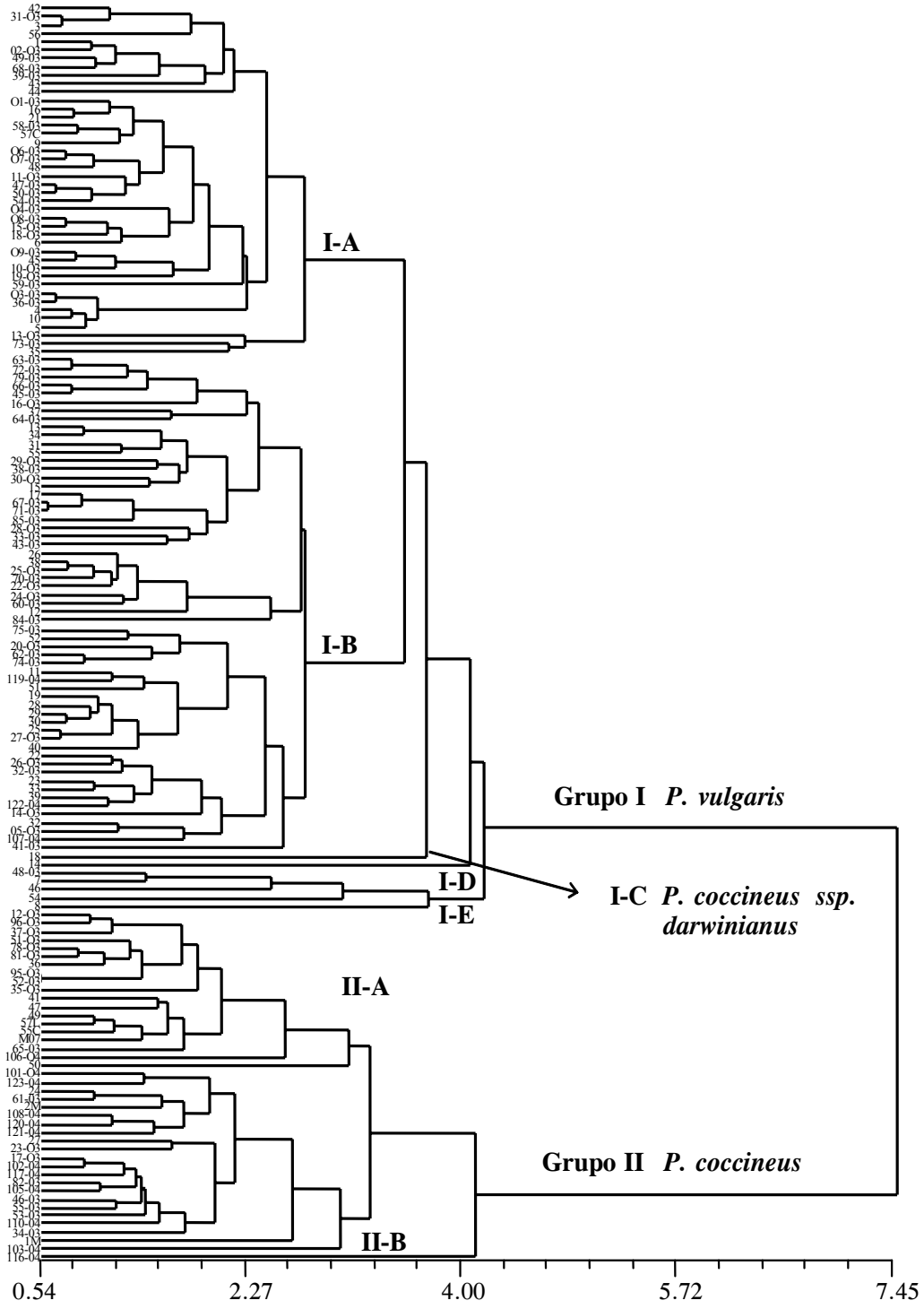


Figura 2. Dendrograma de 107 poblaciones nativas de frijol común, 42 de frijol ayocote y una de frijol acalete, con base en el análisis de conglomerados con 16 variables morfológicas cuantitativas.

CONCLUSIONES

Las dos especies se diferenciaron claramente por el tamaño de sus órganos reproductivos (flor, vaina y semilla) y por el tipo de germinación (epígea *vs*. hipógea). Se encontró además amplia diversidad morfológica entre las poblaciones de cada una de las dos especies.

Las poblaciones de frijol común tuvieron mayor variación que las de frijol ayocote en forma y color de semilla, de vaina, precocidad a la floración y número de semillas por vaina. Las poblaciones de frijol ayocote variaron más en el tamaño que en el color de la semilla (54.8 % morado, 26.2 % negro y 19.0% blanco y café); con base en días a floración, número de semillas por vaina y tamaño de semilla se distinguieron con claridad dos grupos (precoz y tardío).

La diversidad del frijol común en el oriente del Estado de México y el norte de Morelos es amplia y parece mantenerse a través del intercambio de semillas en mercados regionales y del sistema de producción de la milpa que involucra el cultivo simultáneo de varias especies.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Wallace y a SNICS-SAGARPA, a través del SINAREFI, por el financiamiento otorgado para la realización de este proyecto; y a CONACYT por la beca otorgada para la realización de los estudios de Maestría en Ciencias del primer autor.

BIBLIOGRAFÍA

Anónimo (2000) Situación Actual y Perspectiva de la Producción de Frijol en México (1990-2000). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural y Alimentación. México, D. F. 52 p.

Búrquez A, J Sarukhán (1980) Biología de las plantas silvestres y cultivadas de *Phaseolus coccineus* L. Bol. Soc. Bot. Méx. 39:5-24.

Delgado S A (1988) Variation, taxonomy, domestication and germplasm potentialities in *Phaseolus coccineus*. *In*: Genetic Resources of *Phaseolus* Beans. Gepts P (ed). Kluwer Academic Publishers. pp:441-463.

Delgado S A, R Bibler, M Lavin (2004) Molecular phenology of the genus *Phaseolus* L. (Fabaceae). Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 47:31-32.

Espín B M L (1978) Clasificación del germoplasma III: Estudio del complejo *Phaseolus coccineus* L. *In*: Recursos Genéticos Disponibles en México. T Cervantes S (ed). SOMEFI. Chapingo, México. pp:23-27.

Gepts P, D G Debouck (1991) Origin, domestication, and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *In*: Common Beans: Research for Crop Improvement. A Schoonhoven, O Voysest (eds). CAB International y Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. pp:7-53.

Hawkes J G (1991) Centros de diversidad genética vegetal en Latinoamérica. Diversity 7:7-9.

Ibarra R F, M A Castell, A Colín, M Morales (1999) Principales características del ejido-tipo por entidad federativa. Rev. Est. Agrarios 13:139-182.

INEGI (1987a) Síntesis Geográfica, Nomenclátor y Anexo Cartográfico del Estado de México. 223 p.

INEGI (1987b) Síntesis Geográfica del Estado de Morelos. 110 p.

Llaca V, A Delgado Salinas, P Gepts (1994) Chloroplast DNA as an evolutionary marker in the *Phaseolus vulgaris* complex. Theor. App. Gen. 88:646-652

Lépiz I R (1984) Avances de investigación en sistemas de producción que involucran frijol en México. Germen 2 (2):1-46.

Martin G B, M W Adams (1987) Landraces of *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) in Northern Malawi. I. Regional variation. Econ. Bot. 41:190-203.

Miranda C S (1967) Infiltración Genética entre *Phaseolus coccineus* L. y *Phaseolus vulgaris* L. Colegio de Postgraduados. México. 48 p.

Miranda C S (1991) Evolución de *P. vulgaris* y *P. coccineus*. *In*: Contribuciones al Conocimiento del Frijol (*Phaseolus*) en México. E M Engleman (ed). Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. pp:83-99.

Molina G J D (1992) Introducción a la Genética de Poblaciones y Cuantitativa. AGT Editor, S. A. México, D. F. 349 p.

Muñoz G, G Giraldo, J Fernández de Soto (1993) Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *In*: Descriptores Varietales: Arroz, Maíz, Frijol, Sorgo. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. pp:51-80.

Piñeiro D, L C Eguiarte (1988) The origin and biosystematic status of *Phaseolus coccineus* ssp, *coccineus* ssp. *polyanthus*: electrophoretic evidence. Euphytica 37:199-203.

Rodiño A P, M Santalla, A M De Ron, S P Singh (2003) A core collection of common bean from the Iberian peninsula. Euphytica 131:165-175.

Rzedowsky J, G C de Rzedowsky (1990) Flora Fanerogámica del Valle de México. Vol III. Monocotiledoneas. Instituto de Ecología. Centro Regional de Bajío. Pátzcuaro, Michoacán. 494 p.

Santalla M, A B Monteagudo, A M González, A M de Ron (2004) Agronomical and quality traits of runner bean germplasm and implications for breeding. Euphytica 135:205-215.

Schmit V, D G Debouck (1991) Observations on the origin of *Phaseolus polyanthus* Greenman. Econ. Bot. 45:345-364.

Singh S P (1991) Bean genetics. *In*: Common Beans: Research for Crop Improvement. A Van Schoonhoven, O Voysest (eds). CIAT CAB International. pp:199-286.

Singh S P, P Gepts, D Debouck (1991a) Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). Econ. Bot. 45:379-396.

Singh S P, J A Gutierrez, A Molina, C Urrea, P Gepts (1991b) Genetic diversity in cultivated common bean: II. Marker-based analysis of morphological and agronomic traits. Crop Sci. 31:23-29.

Sousa S M, A Delgado S (1998) Leguminosas mexicanas: fitogeografía, endemismo y orígenes. *In*: Diversidad Biológica de México: Orígenes y Distribución. T P Ramamoorthy, R Bye, A Lot, J Fa (eds). Instituto de Biología. UNAM. pp:449-500.

Zeven A C, J Waninge, T van Hintum, S P Singh (1999) Phenotypic variation in a core collection of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the Netherlands. Euphytica 109:93-106.