

Caracterización morfológica de las semillas y consumo de reservas durante la emergencia de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado

Seed morphological characterization and reserves used during seedling emergency of wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

R. Celis-Velazquez¹, C.B. Peña-Valdivia²,
M. Luna-Cavazos² y J.R. Aguirre R.³

¹Recursos Genéticos y Productividad, y Botánica². Colegio de Posgraduados. Montecillo, estado de México.

³Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luís Potosí. Altaír 200, Col. Del Llano, San Luís Potosí, SLP. México.

Resumen

La emergencia de una plántula depende de las características fisiológicas y bioquímicas de la semilla, particularmente de su reacción al ambiente y eficiencia al usar sus reservas durante la germinación. El objetivo de esta investigación fue relacionar las diferencias morfológicas seminales con la eficiencia del uso de reservas en la emergencia de las plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en un gradiente de domesticación. Seis cultivares mejorados, tres cultivares criollos (tradicionales) y seis recolectas silvestres fueron sembrados a 2,5; 5,0; 7,5 y 10,0 cm de profundidad, en condiciones de invernadero. En las semillas se cuantificó su peso, color, brillo, tono e intensidad del color de testa, y proporción de cotiledones, testa y eje embrionario. Cuando las plántulas expusieron la primera hoja trifoliolada se les midió su altura, biomasa seca en las hojas e hipocótilo, diámetro del hipocótilo, área foliar, y reservas de los cotiledones consumidas durante la emergencia. Se realizaron análisis de varianza, comparación múltiple de medias y multivariable de componentes principales y agrupamiento de las características morfológicas de las semillas y las plántulas. Se encontró que el tamaño y proporción de órganos son las principales variables morfológicas de la semilla; los cultivares son más eficientes en el uso de las reservas seminales para

la germinación y emergencia de las plántulas; las reservas seminales son asignadas al desarrollo de las estructuras de la plántula en proporciones desiguales y en dependencia del tipo de frijol.

Palabras clave: Análisis multivariable, germinación, *Phaseolus vulgaris* L., plántula, planta silvestre.

Abstract

The seedling emergency depends on the seed physiological and biochemical characteristics, its reaction to the environment and efficiency to use its own reserves during the germination. The objective of the research was to relate the seminal morphology differences with the efficiency for using reserves on seedling emergence of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in a domestication gradient. Six improved cultivars, three landraces and six wild accessions were sowed 2.5, 5.0, 7.5 and 10.0 cm depth, were sowed under greenhouse conditions. Seed weight, color, shine, tone and intensity of the seed coat color and proportion of cotyledons, coat and embryonic axis were quantified. Height, biomass of cotyledons, biomass accumulated in leaflets, hypocotyl and root, diameter and length of hypocotyl, and root length) were evaluated when seedlings showed the first trifoliolate leaf. Analysis of variance, multiple mean comparison, and principal components and cluster multivariate analysis were carried out including seed and seedling morphological characteristics. It was determined that seed size and proportion of seed structures are the mean morphological characteristics for seeds typifying; cultivars are more efficient for using seed reserves for germination and seedling emergence; the seminal reserves are allocated to the seedling structures development in variable proportions and in dependence on the common bean type.

Key words: Multivariate analysis, germination, *Phaseolus vulgaris* L., seedling, wild plant.

Introducción

La germinación de una semilla se inicia con la imbibición de agua y culmina con la emergencia de la plántula a través de las cubiertas seminales (García-Agustín y Primo-Millo, 1993). Los procesos metabólicos de la germinación incluyen el crecimiento y diferenciación celular en el embrión, para lo cual se consumen sus reservas. Después, el crecimiento continuo del embrión depende del flujo de productos de la hidrólisis

Introduction

Seed germination begins with water imbibition and ends with the seedling emergency through the seminal covers (García-Agustín and Primo-Millo, 1993). The metabolic process of germination includes growth and cellular differentiation in the embryo thereby its reserves are consumed. After that, the continuous growth of embryo depends on flux of cotyledon compounds or

de compuestos cotiledonares o reservas extraembriónicas, como las del endospermo. Esta fase continúa hasta que la planta se establece como un organismo fotosintético o muere cuando ha consumido las reservas (Duffus y Slaugther, 1992). Así, se ha señalado que el tamaño de la semilla dentro de cada especie es un factor que puede afectar la germinación y la emergencia de la plántula, y que las de menor tamaño, por la cantidad reducida de reservas que puedan contener, tienen menor éxito en estos procesos. Al respecto, Gill y Singh (1979) demostraron experimentalmente, que el tamaño de la simiente no alteraba la germinación en ensayos de laboratorio, pero que en el campo las semillas de mayor tamaño mostraron porcentaje más alto de emergencia. En contraste, el peso de la semilla de arveja (*Vicia sativa*) no modificó el tiempo para la emergencia, ni su porcentaje, pero las plantas de semillas con mayor peso presentaron más ramas, hojas y brotes, área foliar, biomasa seca en las hojas y rendimiento que las plantas de semilla con menor peso (Qui y Mosjidis, 1993). En concordancia, Rodrigues *et al.* (2005) aseguraron que las semillas entre 270 and 590 mg, en contraste con las de 110 and 230 mg, de cuatro cultivares de frijol produjeron granos significativamente más grandes (433 mg en promedio, contra 140 mg), con mejor precio en el mercado, y mejor crecimiento de las plantas, lo que podría ser ventajoso en cultivos establecidos en condiciones promotoras de estrés o que enfrentan la infestación temprana de flora arvense.

La calidad de la semilla está determinada principalmente por la germinación y el establecimiento de las plántulas en el campo; pero, ambos

extraembryonic reserves hydrolysis, like the endosperm. This phase continues until plant is established as a photosynthetic organism or get dead when reserves have been consumed (Duffus and Slaugther, 1992). It has been reported that the seed size in each species is a factor that can affect germination and seedling emergence, and those of lower size, by the reduced quantity of reserves they can contain, are less successful in these processes. Gill and Singh (1979) experimentally showed that seed size did not alter germination in laboratory essays, but in field the seeds of high size showed higher emergency percentage. In contrast, the seed weight of pea (*Vicia sativum*) did not modify the emergence time, or its percentage, but plants from seeds with higher weight showed more branches, leaves and buds, foliar area, dry biomass in leaves and yield in comparison with those seeds of lower weight (Qui and Mosjidis, 1993). Rodrigues *et al.* (2005) affirmed that seeds between 270 and 590 mg, in contrast with 110 and 230 mg, of four common bean cultivars produced grains significant bigger (433 mg average against 140 mg), with better price in market, and better plant growth, which could be advantageous in those crops established in stress conditions or that confront the early infestation of weeds.

The seed quality is mainly determined by germination and seedlings establishment in field; but both process depend on seed vigor that is the total sum of those properties that determine the level of biochemical-physiological activity and seed or seed lot reaction to the germination conditions and seedling emergence.

procesos dependen, en gran medida, del vigor de la semilla. El vigor seminal es la suma total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad bioquímica-fisiológica y reacción de la semilla o lote de semillas a las condiciones de germinación y emergencia de la plántula.

Conocer y cuantificar el vigor seminal ayuda a pronosticar lo que puede ocurrir con un lote de semillas, especialmente cuando las condiciones ambientales son parcialmente desfavorables para la germinación y emergencia (Moreno, 1996). Entre los factores que modifican el vigor de la semilla, Boe (2003) señaló que la plasticidad fenotípica, como reacción a la variación espacial, puede influir en el peso de la semilla y en el vigor de diferentes lotes de cultivares de la monocotiledónea *Panicum virgatum*. Las evidencias señalaron que además de los factores propios de la simiente, que le permiten germinar y emerger, deben ser considerados los externos, como la temperatura, agua, oxígeno y luz, los cuales influyen directamente en la germinación (Izco *et al.*, 1997). Al respecto, Soltani *et al.* (2006) señalaron que además de la profundidad de siembra, la temperatura y humedad del suelo fueron los factores principales que influyeron en el incremento del tiempo para la emergencia de las plántulas de garbanzo (*Cicer arietinum* L.). En relación con lo anterior, se puede suponer que al incrementarse el tiempo de emergencia haya una disminución de su porcentaje, debido a la mayor oportunidad de incidencia de enfermedades en las semillas y en las plántulas.

La domesticación de plantas y

To know and quantify seed vigor help to predict what can occur with a seed lot, especially when environmental conditions are partially unfavorable for germination and emergence (Moreno, 1996). Between factors modifying the seed vigor, Boe (2003) said that phenotypic plasticity, like reaction to the spatial variation, can influence on seed weight and on vigor of different cultivar lots of monocotyledonous *Panicum virgatum*. Evidences showed that besides of own seed factors, that permit to germinate and emerge, have to be considered the external ones, such as temperature, water, oxygen and light which directly takes influence on germination (Izco *et al.*, 1997). Soltani *et al.* (2006) pointed out that besides of sowing depth, temperature and soil moisture were the main factors that influence on the increase of time for seedling emergence of chickpea (*Cicer arietinum* L.). It is possible to assume that while emergence time increases there would be a decrease on its percentage, because the higher opportunity of disease incidence on seeds and in seedling.

Domestication of plants and animals constitutes one of the most transcendental cultural processes of mankind, however, its comprehension is quite superficial, and that would explain that the pre-historic domesticated biota heritage would have had more losses than increases (Harlan, 1992). The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is the traditional legume of high consumption in México, by its high content of proteins, carbohydrates and minerals and its low cost. Nowadays, it is also a staple food in other countries of Latin America and

animales constituye uno de los procesos culturales más trascendentales de la humanidad, sin embargo, su comprensión es aún bastante superficial, lo cual explicaría que el acervo de biota domesticada prehistórica haya tenido más pérdidas que incrementos posteriores (Harlan, 1992). El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa tradicional de mayor consumo en México, por su contenido alto de proteínas, carbohidratos y minerales y su bajo costo. Actualmente también es alimento fundamental en otros países de América Latina y África Oriental. Los cultivares de frijol actuales, producidos mundialmente, proceden de ancestros silvestres de América. México, uno de los dos centros de origen, cuenta con una gran diversidad tanto de poblaciones silvestres como de cultivares criollos o tradicionales y mejorados (Singh, 2001). Con la domesticación del frijol se favorecieron ciertas características de importancia antropocéntrica; sin embargo, un planteamiento hipotético reciente señala que algunas características indeseables de los cultivares de frijol, como su mayor susceptibilidad a factores bióticos y abióticos, tanto de la planta, como de la semilla cosechada, son resultado concomitante del proceso de domesticación (Peña y Aguirre, 2009). Así, la identificación de los cultivares o sus poblaciones silvestres con ventaja en la emergencia y establecimiento de sus plántulas, debido al uso eficiente de sus recursos, en una gama de condiciones bióticas y abióticas, ayudaría a seleccionar lo mejor para su cultivo o para mejoramiento genético, respectivamente.

Con base en lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue eva-

lutar la emergencia y establecimiento de los cultivares de frijol en las zonas de origen de la especie en México y en África Oriental. The actual bean cultivars produced around the world come from wild ancestors of America. Mexico, one of two origin centres, count with a high diversity of wild populations, land races or traditional cultivars and improved cultivars (Singh, 2001). With bean domestication, several characteristics of anthropocentric importance resulted favoured; however, a recent hypothetical statement establish that some undesirable characteristics of bean cultivars, like its higher susceptibility to biotic and abiotic factors, both the plant, and the harvested seed, are the result of domestication process (Peña and Aguirre, 2009). Thereby, the identification of cultivar or wild populations with advantage in emergence and seedling establishment, by the efficient use of its resources, in a range of biotic and abiotic conditions, would help to select the best for the crop or for genetic improvement, respectively.

The objective of this research was to evaluate, on greenhouse conditions the efficiency of seed reserves use during germination and bean emergence, in relation with its domestication degree, the sowing depth and some morphological characters of seed.

Materials and methods

In this study three bean (*P. vulgaris* L.) seed groups degree were included with different domestication degree. The higher level was represented by six improved cultivars for different agroecological regions (Amarillo 154, Bayomex, Delicias, Flor de Mayo Sol, Negro 150, Ojo de Cebra), which were selected by its higher

luar, en condiciones de invernadero la eficiencia de uso de las reservas seminales durante la germinación y emergencia del frijol, en relación con su grado de domesticación, la profundidad de siembra y algunos caracteres morfológicos de las semillas.

Materiales y métodos

En este estudio fueron incluidos tres grupos de frijol (*P. vulgaris* L.) con distinto grado de domesticación. El de mayor nivel de domesticación estuvo representado por seis cultivares mejorados para su cultivo en diferentes zonas agroecológicas (Amarillo 154, Bayomex, Delicias, Flor de Mayo Sol, Negro 150, Ojo de Cabra), seleccionados por su mayor vigor entre 48 cultivares mejorados, sembrados a tres profundidades, en un ensayo previo. Con domesticación intermedia se evaluaron tres cultivares tradicionales, regionales o criollos (Guanajuato 113-A, Michoacán 12-A3 y Puebla 40). Y sin domesticación se estudiaron seis muestras de poblaciones silvestres, denominadas por su origen: Chihuahua, Durango Atípico, Durango Típico, Oaxaca, Tlaxcala Atípico y Tlaxcala Típico.

Las semillas se sembraron en macetas con capacidad de 20 kg a 2,5; 5,0; 7,5 y 10,0 cm de profundidad, de acuerdo con lo descrito por Celis-Velázquez *et al.* 2008 a y b. Debido a que las semillas silvestres frecuentemente son latentes, todas se escarificaron con un corte en la testa, de algunos milímetros de profundidad, en la zona opuesta al micrópilo. El sustrato fue una mezcla de suelo de la clase textural migajón arenoso, con

vigor between 48 improved cultivars, in a previous three depths sowed essay. With intermediate domestication three landraces or traditional cultivars were evaluated (Guanajuato 113-A, Michoacán 12-A3 and Puebla 40). And on the other hand, no domesticated, six samples of wild populations were studied, called by its origin: Chihuahua, Durango Atípico, Durango Típico, Oaxaca, Tlaxcala Atípico and Tlaxcala Típico.

Seeds were sowed in pots with capacity of 20 kg to 2.5; 5.0; 7.5 and 10.0 cm depth, as described by Celis-Velázquez *et al.* 2008 "a" and "b". Because wild seeds are frequently latent, all of them were scarified with a cut in seed coat, of some millimeters depth, in opposite region to the micropyle. The substrate was a mixing of soil of sandy loam texture class, with 49% sand, 30% silt and 21% clay, pH 7.51, electrical conductivity 7.95 dS m⁻¹, apparent density 1.25 and real density 2.29 gcm⁻³, saturation 62.9%, field capacity of 38% and permanent withering point 19.5% moisture. Irrigation to field capacity was applied before sowing and after that, each third day, or according requirement in order to maintain humid the substrate. Minimum and maximum temperatures and relative moistures recorded in greenhouse were 7.6 and 39.7°C and 22.5 and 97.9%, respectively.

The weight of 10 groups of 100 seeds was evaluated for each cultivar and wild type, on analytical balance Scientech (Mod. SA100; U.S.A. and accuracy of 0.0001 g), color of seed coat (luminosity or brightness), shade or tone and index of saturation or color

49% de arena, 30% de limo y 21% de arcilla, pH 7,51, conductividad eléctrica de 7,95 dS m⁻¹, densidad aparente de 1,25 y densidad real de 2,29 g cm⁻³, saturación de 62,9%, capacidad de campo de 38% y punto de marchitez permanente de 19,5% de humedad. Se aplicó un riego a capacidad de campo antes de la siembra y después se regó cada tercer día, o según se requiriera para mantener el sustrato húmedo. Las temperaturas y humedad relativa mínimas y máximas semanales en el invernadero fueron 7,6 y 39,7°C y 22,5 y 97,9%, respectivamente.

Se evaluó el peso de 10 grupos de 100 semillas de cada cultivar y tipo silvestre, en una balanza analítica Scientech (Mod. SA100; EE.UU. y precisión de 0,0001 g), el color de la testa seminal (luminosidad o brillo, matiz o tono e índice de saturación o intensidad del color) con un colorímetro Hunter Lab (D25-PC2) y la biomasa del cotiledón, testa y eje embrionario de 25 semillas, y se calcularon las relaciones entre estos órganos (proporción cotiledón/eje embrionario y cotiledón/testa). Cuando las plántulas expusieron la primera hoja trifoliolada se midió su altura (cm), desde el ápice radical al ápice caulinar, diámetro (cm) del hipocótilo a 0,5 cm por encima de la raíz, y la longitud de la raíz (cm), desde su ápice hasta la unión de los cotiledones; luego fueron disecadas y sus órganos se secaron en un horno a 75°C hasta peso constante, el cual fue alcanzado después de 72 horas. Al final de este tiempo se estimó la biomasa (g) de la raíz, folíolos, hipocótilo y cotiledones. El porcentaje de reservas consumidas fue calculado como la diferencia relativa de la

intensity) with a colorimeter Hunter Lab (D25-PC2) and the cotyledon biomass, seed coat and embryonic axis of 25 seeds, and relationships between these organs were estimated (proportion cotyledon/embryonic axis and cotyledon/seed coat). When seedlings showed the first trifoliolate leaf its height was measured (cm), from the root apex until shoot apex, hypocotyl an oven diameter (cm) to 0.5 cm above root, and the root length (cm), from the apex until the cotyledons joint; later they were dried and its organs were dried in a furnace to 75°C until constant weight, which was reached after 72 hours. At the end of this time the biomass (g) of root, leaflets, hypocotyl and cotyledons was estimated. Percentage of reserves consumed was estimated as the relative difference of mean biomass of seed cotyledons and that corresponding to the seedlings. A completely random experimental design with three replications was used. The experimental unit had 20 seeds of each cultivar and wild type. Results were subject to multivariate analysis ordination through principal components and classification depending on their homogeneity ability (Franco e Hidalgo, 2003). In both cases, the variation between individual, in m dimensions (or m variables evaluated), was graphically represented on reduced dimensionality by grouping all the variables in two or three lineal combinations with optimum characteristics for underlying representation (Núñez and Barrientos, 2006). The multivariate analysis was done with NTSYS-PC (Rohlf, 2000) program. Also, results were subject to

biomasa media de los cotiledones de la semilla menos la correspondiente de las plántulas. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones. La unidad experimental consistió de 20 semillas de cada cultivar y tipo silvestre. Los resultados fueron sometidos a análisis multivariable de ordenación mediante componentes principales y de clasificación en dependencia de la homogeneidad (Franco e Hidalgo, 2003). En ambos casos, la variación entre los individuos, en m dimensiones (o m variables evaluadas), fue representada gráficamente, con la dimensionalidad reducida por agrupamiento de todas las variables en dos o tres combinaciones lineales con características óptimas para la representación subyacente (Núñez y Barrientos, 2006). El análisis multivariable se realizó con el programa NTSYS-PC (Rohlf, 2000). Además, los resultados fueron sometidos a análisis de varianza y comparación múltiple de medias, mediante la prueba de Tukey, con el programa estadístico SAS (SAS, 1999).

Resultados y discusión

Características seminales del frijol con distinto nivel de domesticación

Los datos del color indicaron que en promedio existe un gradiente de colores y tonos de la testa seminal entre los cultivares y tipos silvestre seleccionados para el estudio, pues tanto la saturación o pureza del color ("croma") como la luminosidad y el tono fueron estadísticamente diferentes entre los grupos, aunque en los tres grupos hubo semillas de testa clara y oscura (cua-

an analysis of variance and mean multiple comparisons through the Tukey test, with the statistical program SAS (SAS, 1999).

Results and discussion

Bean seed characteristics with different domestication level

The data of color showed that in average there is a color and tone gradient of seed coat between cultivars and wild types selected for the study, both saturation or color purity ("croma") and luminosity and tone were statistically different between groups (table 1), although in the three groups there were seeds of clear and obscure seed coat (table 1). The mean size of seeds of the three groups was significantly different; that of wild group was the lower one (9.59 g/100 seeds) respect to improved and traditional cultivars, and consequently had the higher volumetric weight (84.35 kg.hL⁻¹) and the group of improved and traditional cultivars represented 2.87 and 3.20 times the wild size, respectively. The proportion of seed organs was statistically similar between cultivar groups, independently of seed size, and both showed significant low seed coat proportions (33%) and embryonic axis (28%) than wilds (table 1).

The adequate cotyledon proportion can favour germination and seedling emergence by the quantity of reserves that represent; however, perhaps the embryonic axis is the more important organ in seed, because germination, emergence and plant establishment as an autotrophic organism depend on its metabolic

dro 1). El tamaño medio de semilla de los tres grupos fue significativamente diferente entre sí; el de los silvestres fue el menor (9,59 g/100 semillas) respecto a los cultivares mejorados y tradicionales, y por consiguiente también tuvo el mayor peso volumétrico (84,35 kg.hL⁻¹) y el grupo de cultivares mejorados y tradicionales representó 2,87 y 3,20 veces el tamaño de los silvestres, respectivamente. La proporción de órganos seminales fue estadísticamente similar entre los dos grupos de cultivares, independientemente del tamaño de semilla, y ambos presentaron proporciones significativamente menores de testa (33%) y eje embrionario (28%) que los silvestres (cuadro 1).

La proporción adecuada de cotiledón puede favorecer la germinación y emergencia de la plántula por la cantidad de reservas que representa; sin embargo, quizás el eje embrionario es el órgano de mayor importancia en la semilla, debido a que la germinación, emergencia y establecimiento de la planta como organismo autótrofo dependen de su actividad metabólica (Peña Valdivia *et al.*, 1995). Este aspecto resalta, pues con el mejoramiento se esperan modificaciones de los caracteres agronómicos de las semillas, y entre ellos destaca la emergencia máxima y sincrónica, que conduce a la pérdida mínima de simiente y al desarrollo homogéneo del cultivo (Vallejo y Estrada, 2002). Por otra parte, se ha señalado que la mayor proporción de testa en los frijoles silvestres se podría relacionar con la regulación de la entrada de agua a la semilla durante la imbibición y la protección de sus órganos internos, como

activity (Peña Valdivia *et al.*, 1995). This aspect has to be detaching because with improvement, modifications of seed agronomical characters are expected, and among them, the maximum and synchronic emergence also stands out which favors minimum lost of the seed and homogeneous development of crop (Vallejo and Estrada, 2002). On the other hand, it has been reported that the higher seed coat proportion in wild bean could be related to the regulation of water entrance to seed during imbibition and protection of its internal organs, like an adaptation to the natural environment where it remain, during months or years, from its releasing until the germination moment (Peña-Valdivia *et al.* 2002).

Cisneros-López *et al.* (2007) found that the lower seed weight of sorghum hybrids and lines was independent of quality characteristics, like germination percentage, emergence speed and percentage of normal and abnormal seedlings, and that in hybrids, neither was directly related to the physiological quality. Nevertheless, size or weight of seed can be a relevant character for wild bean germination when there is water restriction in substrate. Thereby, in a study where the effect of Ψ_A of substrate (between -0.03 and -1.28 MPa) on seed germination of the same wild bean sample separated in three sizes (0.093, 0.116 and 0.147 g), from Durango, México, Vite *et al.* (2005) concluded that size is a characteristic of water that determine germination requirement, but the seed metabolism is modified in dependence of water availability during the process. In

Cuadro 1. Características morfológicas de la semilla de cultivares mejorados y tradicionales y seis recolectas silvestres de frijol.

Table 1. Morphological characteristics of improved and traditional cultivars seed and six common bean wild samples.

Variante	Color		Tono (°)	Peso		Cotiledón (%)	E,E (%)	Testa (%)	Cotiledón/ Testa	Cotiledón/ E.E.
	Croma (°)	LUM (°)		VOL (kg.hL ⁻¹)	100 semillas (g)					
Cultivares mejorados										
Amarillo 151	46,52 ^a	47,99 ^c	67,96 ^{cd}	83,77 ^h	24,65 ^d	89,21 ^{ab}	1,75 ^{ee}	9,19 ^{eg}	10,55 ^{ee}	53,40 ^c
Bayomex	26,79 ^c	52,35 ^b	74,01 ^{bc}	83,77 ^h	41,80 ^b	90,66 ^a	1,27 ^{de}	8,00 ^{fg}	12,32 ^{ac}	95,38 ^a
Delicias 71	23,78 ^{ce}	44,45 ^d	56,08 ^{ef}	86,87 ^b	18,28 ^f	88,85 ^{cd}	1,25 ^e	9,88 ^{cg}	9,36 ^{be}	90,60 ^{ab}
Flor de Mayo Sol										
m4										
Rosado/fondo pajizo	18,92 ^e	50,40 ^{bc}	44,74 ^f	82,13 ^k	24,32 ^d	89,36 ^{bb}	1,66 ^{ee}	8,87 ^{fg}	10,78 ^{cd}	56,29 ^{bc}
Negro 150	0,36 ^f	23,16 ^f	267,80 ^a	79,62 ⁿ	23,52 ^e	88,34 ^{ac}	1,79 ^{ee}	9,70 ^{dg}	9,26 ^{be}	51,00 ^c
Ojo de Cabra										
m6										
Pajizo/rayas castaño	34,58 ^b	47,52 ^d	50,82 ^g	81,45 ⁱ	32,32 ^c	90,22 ^a	1,58 ^{de}	7,77 ^g	15,19 ^a	61,05 ^{ac}
Media	25,16 ^b	44,31 ^b	93,57 ^b	82,93 ^c	27,48 ^b	89,44 ^a	1,55 ^b	8,91 ^b	11,24 ^a	67,95 ^a
Cultivares tradicionales										
Guanajuato 113-A										
t1										
Rosado/líneas guinda	20,25 ^{ab}	60,84 ^a	60,47 ^{de}	82,22 ^j	50,96 ^a	91,06 ^{ca}	1,55 ^{ee}	7,26 ^g	13,15 ^{ab}	66,02 ^{ac}
Michoacán 12-A3	0,94 ^f	23,33 ^f	269,47 ^a	84,9 ^d	18,14 ^f	88,67 ^{bc}	1,63 ^{de}	9,61 ^{dg}	9,28 ^{be}	58,14 ^{bc}
Puebla 40	0,36 ^f	22,26 ^f	263,97 ^a	85,24 ^c	23,11 ^e	89,12 ^{ab}	1,66 ^{de}	9,16 ^{eg}	9,97 ^{be}	55,56 ^{bc}
t3										
Negro	7,18 ^c	35,48 ^c	197,97 ^a	84,12 ^b	30,73 ^a	89,61 ^a	1,61 ^b	8,67 ^b	10,80 ^a	59,91 ^a
Media										

LUM: Luminosidad, VOL: Volumétrico, E.E.: eje embrionario.

Valores seguido por la misma letra dentro de columnas y entre recolectas o entre medias son estadísticamente similares (P≤0,05).

Cuadro 1. Características morfológicas de la semilla de cultivares mejorados y tradicionales y seis recolectas silvestres de frijol (Continuación).

Table 1. Morphological characteristics of improved and traditional cultivars seed and six common bean wild samples (Continuation).

Variante	Color		Tono (°)	Peso		Cotiledón (%)	E.E (%)	Testa (%)	Cotiledón/ Testa	Cotiledón/ E.E.
	Croma (°)	LUM (°)		VOL (kg.hL ⁻¹)	100 semillas (g)					
Recolectas silvestres										
Chihuahua	20,77 ^{ce}	38,06 ^b	66,37 ^{cd}	84,44 ^f	3,60 ⁱ	83,76 ^{de}	1,80 ^{ac}	14,33 ^{ab}	6,53 ^{de}	48,94 ^c
Durango Atípico	20,43 ^{de}	60,91 ^a	76,84 ^b	83,72 ^g	12,78 ^g	86,52 ^{bcd}	2,35 ^{ab}	11,04 ^{ce-f}	8,07 ^{ce}	41,76 ^c
Durango Típico	25,08 ^{cd}	58,28 ^a	71,17 ^{bc}	84,78 ^e	6,83 ^h	82,37 ^e	2,03 ^{ad}	15,55 ^a	5,99 ^f	54,30 ^{bc}
Oaxaca										
			Negro con manchas	81,41 ^m	17,81 ^f	85,58 ^{ce}	2,25 ^{ac}	12,07 ^{bc}	7,51 ^{de}	40,75 ^c
	11,88 ^f	38,24 ^e	62,89 ^{de}	87,66 ^g	8,56 ^h	85,01 ^{de}	2,29 ^{ac}	12,61 ^{ac-d}	6,83 ^{de}	39,87 ^c
Tlaxcala Atípico	46,46 ^a	48,46 ^b	67,01 ^{cd}	84,11 ^e	7,97 ^h	84,52 ^{de}	2,41 ^a	12,99 ^{ac}	6,65 ^{de}	39,60 ^c
Tlaxcala Típico	45,44a	47,43 ^{cd}	67,71 ^{cd}							
Media	28,35 ^a	48,56 ^a	68,67 ^e	84,35 ^a	9,59 ^c	84,62 ^b	2,18 ^a	13,09 ^a	6,93 ^b	44,20 ^b

LUM: Luminosidad, VOL: Volumétrico, E.E.: eje embrionario.

Valores seguido por la misma letra dentro de columnas y entre recolectas o entre medias son estadísticamente similares (P≤0,05).

una adaptación al ambiente natural donde permanece, por meses o años, desde su liberación de la planta que la originó hasta el momento que germina (Peña-Valdivia *et al.* 2002).

Cisneros-López *et al.* (2007) encontraron que el menor peso de las semillas de híbridos y líneas de sorgo fue independiente de características de calidad, como porcentaje de germinación, velocidad de emergencia, y porcentaje de plántulas normales y anormales, y que en los híbridos, tampoco estuvo directamente asociado con la calidad fisiológica. Sin embargo, el tamaño o peso de semilla puede ser un carácter relevante para la germinación del frijol silvestre cuando hay limitación de humedad en el sustrato. Así, en un estudio en el que se evaluó el efecto del Ψ_A del sustrato (entre -0,03 y -1,28 MPa) en la germinación de la semilla de una misma muestra de frijol silvestre separada en tres tamaños (0,093, 0,116 y 0,147 g), originario de Durango, México, Vite *et al.* (2005) concluyeron que este es un carácter que condiciona el requerimiento de humedad para la germinación, pero que el metabolismo seminal se modifica en dependencia del agua disponible durante el proceso. En oposición, Tsoukrianis *et al.* (2006) encontró que el peso de las semillas de maíz careció de relación directa con la capacidad de imbibición, que el patrón de imbibición de las más pesadas y las más ligeras mostró similitudes y contrastes equivalentes entre cultivares, y tampoco se detectó algún patrón entre la reacción de los cultivares originales y los tolerantes a la sequía derivados de ellos. Lo anterior confirma el valor del frijol silvestre para su incorporación

contrast, Tsoukrianis *et al.* (2006) found that the weight of corn seeds lack of direct relation with the imbibition capacity, that imbibition pattern of heavier and the more lights seeds showed equal similarities and contrasts between cultivars and any pattern was undetected between the reaction of original cultivars and those tolerant to drought derived from them. This confirm the wild bean value for its potential incorporation to the genetic improvement programs, because during germination it can be adapted to water restrictive conditions.

In this study the seed organs also showed different proportions between bean groups (table 1). Difference in proportion of bean seed organs due to domestication was documented by Peña-Valdivia *et al.* (1999), who evaluated the seed quality in wild and improved populations of bean after storage and they establish that seed coat in wilds represent 14% of its dry total weight, when in cultivars is only 9%. Also, Peña-Valdivia *et al.* (1995) reported similar differences, because seed coat and embryonic axis represented 16.7% and 2.18% of total weight of wild seed, while in the domesticated only reached 9.0% and 1.6%, respectively. These authors said that probably with the increase of seed size, as a result of domestication, increased the absolute weight of seed coat, but at the same time, its relative weight, like proportion of total weight of seed, decreased around 50% (Peña-Valdivia *et al.* 1995). Differences observed in this study, and those previously described, in organ proportions between seeds of cultivars and wild populations samples, support

potencial a los programas de mejoramiento genético, pues parece que durante la germinación puede adaptarse a condiciones restrictivas de humedad.

En el presente estudio los órganos de las semillas también presentaron proporciones diferentes entre los grupos de frijoles (cuadro 1). La diferencia en la proporción de órganos seminales debida a la domesticación del frijol fue documentada por Peña-Valdivia *et al.* (1999), quienes evaluaron la calidad de la semilla en poblaciones silvestres y mejoradas de frijol después del almacenamiento y señalaron que la testa en las silvestres representa el 14% de su peso total seco, cuando en los cultivares es de sólo el 9%. También, Peña-Valdivia *et al.* (1995) señalaron diferencias similares, pues la testa y el eje embrionario representaron 16,7% y 2,18% del peso total de la semilla silvestre, en tanto que en el domesticado sólo alcanzaron 9,0% y 1,6%, respectivamente. Dichos autores indicaron que probablemente con el incremento del tamaño de la semilla, como resultado de la domesticación, aumentó el peso absoluto de la testa, pero a la vez, su peso relativo, como proporción del peso total de la semilla, disminuyó alrededor del 50% (Peña-Valdivia *et al.* 1995). Las diferencias observadas en el presente estudio, y las documentadas previamente, en las proporciones de órganos entre las semillas de cultivares y muestras de poblaciones silvestres, apoyan la propuesta de utilizar estas últimas en el fitomejoramiento, para obtener nuevas combinaciones génicas con mayor potencial de uso tecnológico, como la limpieza y selección mecanizada de los granos y semillas, donde las pérdi-

the proposal of using the last ones in bean improvement, to obtain new genic combinations with high potential of technological use, like cleaning and mechanized selection of grains and seeds, where losses by seed coat damages are usually high.

Principal components analysis based on morphological characteristics of seeds and seedlings of 15 domesticated and wild common bean samples

Differences in consumption of seed reserves during germination and emergence can be due to the variation between samples, in the functioning of seed organs during germination and in the efficiency of reserves translocation process. To identify some of these differences the analysis procedure done by Celis-Velázquez *et al.* (2008 b) was followed to recognize the morphologic variability of 48 improved common bean cultivars. The analysis of this study included the weight of 100 seeds, cotyledons proportion, seed coat and embryonic axis; and seedling hypocotyl biomass, leaflets and root, biomass of cotyledons consumed during germination and emergence, hypocotyl diameter, hypocotyl length and root, and seedling height. Results of principal components (PC) analysis showed that three first PC explained the 76.72% of total variability observed, with 51.43; 16.65 and 8.62% in the PC1, PC2 and PC3, respectively. PC1 corresponded to the potential vigor, because the higher contribution variables were the organs having reserves and the higher proportion of seed imbibition during germination, likewise the plantlet organ, the hypocotyl, that permit to

das por daños en la testa suelen ser altos.

Análisis de componentes principales basado en las características morfológicas de semillas y plántulas de 15 recolectas de frijol domesticado y silvestre

Las diferencias en el consumo de las reservas de la semilla durante la germinación y emergencia pueden deberse a variación entre las recolectas, en el funcionamiento de los órganos de la semilla durante la germinación y en la eficiencia de los procesos de translocación de nutrientes. Para identificar algunas de estas diferencias se siguió el procedimiento de análisis realizado por Celis-Velázquez *et al.* (2008 b) para reconocer la variabilidad morfológica de 48 cultivares mejorados de frijol. Con base en ello, el análisis del presente estudio incluyó el peso de 100 semillas, proporción de cotiledones, testa y eje embrionario; y de las plántulas la biomasa del hipocótilo, folíolos y raíz, biomasa de los cotiledones consumida durante la germinación y emergencia, diámetro del hipocótilo, longitud del hipocótilo y la raíz, y altura de la plántula. Los resultados del análisis de componentes principales (CP) mostraron que los tres primeros CP explicaron el 76,72% de la variabilidad total observada, con 51,43; 16,65 y 8,62% en el CP1, CP2 y CP3, respectivamente. El CP1 correspondió al vigor potencial, pues las variables de mayor contribución fueron los órganos que contienen las reservas y la mayor proporción de imbibición de la semilla durante la germinación, así como el órgano de la plántula, el hipocótilo, que le permite atravesar la capa de sustrato, localizado sobre ella,

cross the substrate layer, located above her, and to break the more superficial, generally more compact, to emerge. PC2 represented the expression of vigor, because the five variables with higher contribution to this PC resume the seedlings robustness, while PC3 can be considered like the component that described the consumption efficiency and reserves translocation. The hypocotyl length was the only one between the 12 variables included on analysis, that one detached in more than PC (table 2), thereby, this result confirmed the importance of hypocotyl in the seedlings emergence process and its variability on germplasm evaluated.

The ordination over the first two CP showed that PC1 separated the wildest materials from both cultivar groups. Also, the gradient of seed size, the proportion of seed coat and the thickness of seedlings hypocotyl can be recognized. Toward negative extreme (around -0.93) of PC1, the wild seeds were located, smaller with higher seed coat and seedlings with thinner hypocotyl from 15 samples (s1, s3 and s6). In the other extreme of same PC1, the traditional cv. (t1) was located, with the higher seed weight, thinner seed coat and significant thicker and heavier hypocotyl between the 15 samples. PC2 was a complement to the separation described for both groups; specifically, the wild sample native from Oaxaca sowed to 2.5; 5.0 and 7.5 cm (s4a, s4b and s4c of figure 1A) showed a tendency to be covered with cultivars on PC1, but its separation on PC2 was evident. The characteristic of this wild collect that favoured overlap was its seed size statistically

y romper la más superficial, generalmente más compacta, para emerger. El CP2 representó la expresión del vigor inicial, pues las cinco variables con mayor contribución a este CP resumen la robustez de la plántula, mientras que el CP3 puede ser considerado como el componente que describió la eficiencia de consumo y translocación de reservas. La longitud del hipocótilo fue la única variable, entre las 12 incluidas en el análisis, que destacó en más de un CP (cuadro 2), por lo que este resultado confirma la importancia del hipocótilo en el proceso de emergencia de las plántulas y su variabilidad en el germoplasma evaluado.

La ordenación sobre los primeros dos CP mostró que el CP1 separó a la mayoría de los materiales silvestres de los dos grupo de cultivares. Además, se pudo reconocer el gradiente de tamaño de semilla, proporción de testa seminal y grosor del hipocótilo de las plántulas. Hacia el extremo negativo (alrededor de -0,93) del CP1 se ubicaron las semillas silvestres, más pequeñas con mayor testa y plántulas con el hipocótilo más delgado de las 15 recolectas (s1, s3 y s6). En el otro extremo, del mismo CP1, se localizó el cv. tradicional (t1), con el mayor peso de semilla, menor testa, e hipocótilo significativamente más grueso y pesado entre las 15 recolectas. El CP2 complementó la separación descrita de ambos grupos; específicamente, la muestra silvestre originaria de Oaxaca sembrada a 2,5; 5,0 y 7,5 cm (s4a, s4b y s4c de la figura 1A) tendió a solaparse con los cultivares sobre el CP1, pero su separación sobre el CP2 fue evidente. La característica de esta recolecta silvestre que propició el traslazo fue

similar to the cultivars "Delicias 117" and "Michoacán 12A3". The ordenation caused by PC2 showed a gradient of length hypocotyl; thus, the entities located in the positive extreme of this PC corresponded to the seedlings of all cultivars, improved and traditional, sowing to 10 cm depth, with the longer hypocotyles (>10 cm) between all the treatments. At the inferior extreme of PC2 some wild collects and tradicional cultivars with seedling from sowing to 2.5 cm, with the significant shorter hypocotyles (figure 1A; tables 1 and 5).

The ordering in PC1 and PC3 confirmed that PC1 grouped almost the totality of wild samples and separated them from the crowding formed by the most of cultivars, with exception of traditional t1 and t2 that remained on periphery of domesticated area (figure 1B). In the cultivars, both improved and traditional, an increase on hypocotyl length with sowing depth was observed and the length of that organ caused a similar gradient for the seedling height, which was not recorded in wild ones. Nevertheless, the three bean types showed seedling with a significant higher average height in sowing to 10 cm. In the three groups studied, the foliar biomass accumulation was reduced with sowing depth, even though in traditional cultivars almost the double was accumulated with sowing to 2.5 cm, in comparison with the other two groups (table 3). The longitudinal growth higher than some seedling organs, like hypocotyl, have been related to the emergence capacity, in relatively depth sowings. However, the growth of other organs like root, at the

Cuadro 2. Vectores propios de las 12 variables en los primeros componentes principales (CP), del análisis de 15 recolectas de frijol, domesticado y silvestre.

Table 2. Eigen-vectors of 12 variables in the first principal components (PC) of the analysis of 15 domesticated and wild common bean samples.

Variable original	Vectores propios		
	CP1	CP2	CP3
Altura de la plántula (cm)	0,6816	0,5860	-0,1908
Biomasa de la raíz (g)	0,5655	-0,5376	-0,3537
Biomasa del hipocótilo (g)	0,8380	-0,0655	-0,3237
Biomasa de los folíolos (g)	0,5912	-0,5196	-0,1682
Biomasa consumida (%)	-0,4790	0,0122	-0,5177
Cotiledón (porcentaje de la semilla)	0,9129	0,1498	0,1526
Diámetro del hipocótilo (cm)	0,8010	-0,0918	-0,1062
Eje embrionario (porcentaje de la semilla)	-0,6694	-0,2258	-0,4691
Longitud de hipocótilo (cm)	0,4138	0,7115	-0,4284
Longitud de raíz (cm)	0,5741	-0,6968	0,0528
Peso de 100 semillas (g)	0,9140	0,0565	0,1270
Testa (porcentaje de la semilla)	-0,9208	-0,1218	-0,1253

su tamaño de semilla estadísticamente similar al de los cultivares Delicias 117 y Michoacán 12A3. La ordenación causada por el CP2 reflejó un gradiente de longitud de hipocótilo; así, las entidades localizadas en el extremo positivo de este CP correspondieron a las plántulas de todos los cultivares, mejorados y tradicionales, de la siembra a 10 cm de profundidad, cuyos hipocótilos fueron los más largos (> 10 cm) entre todos los tratamientos. En el extremo inferior del CP2 se ubicaron algunas recolectas silvestres y cultivares tradicionales con plántulas originadas de la siembra a 2,5 cm, con los hipocótilos significativamente más cortos de todo el grupo (figura 1A; cuadros 2, 3 y 4).

La ordenación en el CP1 y el CP3

same time is diminished. Mahdi *et al.* (1998) observed that the vigor of wheat plantlets sowed to 3, 6 and 12 cm depth, is inversely reduced with the sowing depth, because seedlings of higher depth had thin and long apex, and after yield decreased. Kirby (1993) observed in barley and wheat that the higher sowing depth modified the emergence time, the growth rate of sprout and leaves exposition, the final number of leaves, and the stem elongation and internodes. These results cause that sowing depth can show a negative effect on plant emergence and development, which modified, and in general, decreased the dry biomass accumulation of seedling organs in emergence. In this study length and accumulation of biomass

confirmó que el CP1 aglutinó casi la totalidad de las muestras silvestres y las distanció de la aglomeración formada por la mayoría de los cultivares, con excepción de los tradicionales t1 y t2 que quedaron en la periferia del área de domesticados (figura 1B). En los cultivares, tanto mejorados como tradicionales, se observó un incremento de la longitud del hipocótilo con la profundidad de siembra, y la longitud de ese órgano generó un gradiente similar para la altura de las plántulas, lo cual no se registró en los silvestres. Sin embargo, los tres tipos de frijol presentaron plántulas con altura promedio significativamente mayor en la siembra a 10 cm. En los tres grupos estudiados se redujo la acumulación de biomasa foliar con la profundidad de siembra, aunque en los cultivares tradicionales se acumuló casi el doble con la siembra a 2,5 cm, en comparación con los otros dos grupos (cuadro 3). El crecimiento longitudinal mayor de algunos órganos de la plántula, como el hipocótilo, ha sido relacionado con la capacidad de emergencia, en siembras relativamente profundas. Sin embargo, el crecimiento de otros órganos, como la raíz, a la vez resulta disminuido. Mahdi *et al.* (1998) observaron que el vigor de las plántulas de trigo sembrado a 3, 6 y 12 cm de profundidad, se reduce inversamente con la profundidad de siembra, pues las plántulas de la mayor profundidad generaron ápices delgados y largos, y posteriormente el rendimiento disminuyó. Por su parte, Kirby (1993) observó en cebada y trigo que la mayor profundidad de siembra modificó el tiempo de emergencia, la tasa de crecimiento del vástago y exposición de

in root showed a tendency to reduce its longitudinal growth with the sowing depth, and the lower lengths were reached with sowing to 10 cm; at the same time, the higher biomass accumulation occurred in roots of seedlings with sowing to 7.5 cm, in the three bean types (table 4). It is possible to detach that seedlings of sowing to 10 cm, the roots usually showed circular disposition on the stem base, in contrast with the natural gravitropic growth which modified the apical growth, and probably its decrease (lower length and less accumulation of wet and dry biomass).

Classification of 15 domesticated and wild common bean samples based on its seeds and seedlings characteristics

In dendrogram derived from cultivars and wild populations samples classification, based on four seed characteristics (*i.e.* weight of 100 seeds and cotyledons proportion, embryonic axis and seed coat) and eight seedlings characteristics (hypocotyl biomass, leaflets and root, biomass consumed during germination and emergence, hypocotyl diameter, hypocotyl length and root, and seedling height), with cophenetic correlation coefficient of 0.827, two principal groups were recognized, A with cultivars and B with wild ones (figure 2). Difference among them is that the first group has the higher seed size and cotyledon proportion, and embryonic axis and seed coat significant lower. Besides, the group A included those seedling significant more vigorous. In contrast, the group B included seeds with lower weight, and higher seed coat and embryonic axis, causing less vigorous seedlings.

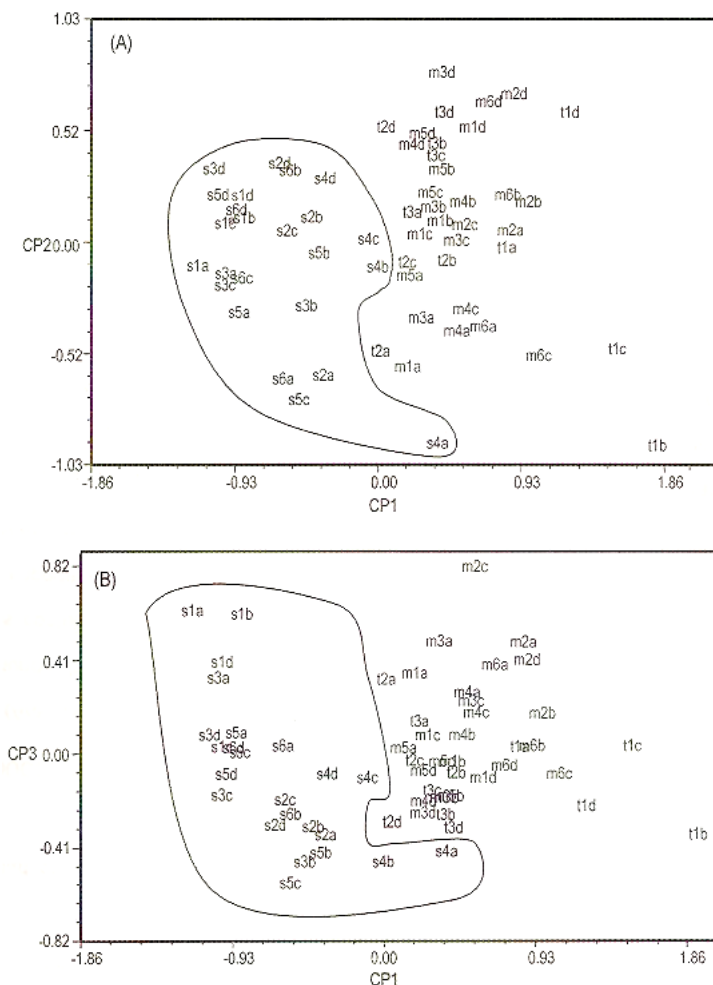


Figura 1. Ordenación sobre los CP1 y CP2 (A) y CP1 y CP3 (B) de seis cultivares mejorados de frijol (m1 a m6), tres tradicionales (t1 a t3) y seis recolectas silvestres (s1 a s6) obtenida mediante el análisis de componentes principales de 12 características morfológicas de la semilla, sembradas en cuatro profundidades (a: 2.5 cm, b: 5.0 cm, c: 7.5 y d: 10.0 cm), y de las plántulas.

Figure 1. Ordernation over PC1 and PC2 (A) and PC1 and PC3 (B) of six improved cultivars of bean (m1 to m6), three traditional (t1 to t3) and six wild samples (s1 to s6) obtained through the principal components analysis of 12 morphological characteristics of seed, four depth sowed (a: 2.5 cm, b: 5.0 cm, c: 7.5 and d: 10.0 cm), and those of seedlings.

Cuadro 3. Características promedio por tipo de frijol de la plántula de seis cultivares mejorados, tres tradicionales y seis recolectas silvestres, sembrados a cuatro profundidades.

Table 3. Seedlings mean characteristics per bean type of plantlet of six improved cultivars, three traditional and six wild samples, four depths.

Profundidad de siembra (cm)	Altura de la plántula (cm)	Biomasa			Hipopótalo (cm)		Longitud de raíz (cm)
		Folículos (g)	Hipopótalo (g)	Raíz (g)	Consumida (%)	Diámetro	
2,5	21,27 ^c	0,170 ^a	0,043 ^b	0,059 ^b	90,77 ^{ab}	0,362 ^c	12,01 ^a
5,0	22,95 ^b	0,148 ^b	0,053 ^a	0,057 ^b	89,64 ^b	0,425 ^a	8,89 ^b
7,5	21,85 ^c	0,090 ^c	0,043 ^b	0,073 ^a	91,97 ^a	0,428 ^a	12,32 ^a
10,0	26,04 ^a	0,096 ^c	0,052 ^a	0,052 ^b	90,25 ^{ab}	0,403 ^b	7,08 ^c
Media	23,03	0,126	0,048	0,0603	90,66	0,405	10,08
Cultivares mejorados							
2,5	20,36 ^c	0,257 ^a	0,044 ^c	0,062 ^{bc}	88,23 ^b	0,352 ^c	10,11 ^b
5,0	23,70 ^b	0,180 ^b	0,072 ^a	0,072 ^{ab}	90,48 ^a	0,418 ^b	14,11 ^a
7,5	21,71 ^c	0,111 ^c	0,051 ^{bc}	0,074 ^a	90,01 ^a	0,529 ^a	10,92 ^b
10,0	26,77 ^a	0,090 ^c	0,059 ^{ab}	0,055 ^c	87,90 ^b	0,374 ^c	8,09 ^c
Media	23,12	0,159	0,057	0,066	89,16	0,418	10,81
Recolectas silvestres							
2,5	16,71 ^d	0,128 ^a	0,031 ^b	0,055 ^{ab}	87,40 ^b	0,273 ^c	10,49 ^a
5,0	18,33 ^b	0,108 ^b	0,044 ^a	0,047 ^{bc}	89,24 ^a	0,313 ^b	7,09 ^c
7,5	17,43 ^c	0,062 ^c	0,028 ^b	0,059 ^a	84,34 ^c	0,345 ^a	8,17 ^b
10,0	19,41 ^a	0,044 ^d	0,022 ^c	0,040 ^c	88,22 ^{ab}	0,231 ^d	5,74 ^d
Media	17,97	0,086	0,031	0,050	87,31	0,290	7,17

Valores seguidos por la misma letra dentro de las cuatro profundidades de siembra por cada grupo de frijol son estadísticamente similares ($P \leq 0,05$).

las hojas, el número final de hojas, y la elongación del tallo y los entrenudos. En conjunto, estos resultados indicaron que la profundidad de siembra puede tener efecto negativo en la emergencia y desarrollo de la planta, lo cual modificó y, en general, disminuyó la acumulación de biomasa seca en las estructuras de las plántulas emergiendo. En este estudio la longitud y acumulación de biomasa en la raíz mostraron una tendencia a reducirse con la profundidad de siembra, y las menores longitudes se alcanzaron con la siembra a 10 cm; a la vez, la mayor acumulación de biomasa ocurrió en las raíces de las plántulas originadas con la siembra a 7,5 cm, en los tres tipos de frijol (cuadro 4). Al respecto, debe señalarse que en las plántulas de la siembra a 10 cm la raíz frecuentemente presentó disposición circular en la base del tallo, en contraste con el crecimiento gravitrópico natural, lo cual modificó la reorientación del crecimiento apical y probablemente su disminución (menor longitud y acumulación de biomasa húmeda y seca).

Clasificación de 15 recolectas de frijol domesticado y silvestre, basada en características de sus semillas y plántulas

En el dendrograma derivado de la clasificación de cultivares y muestras de poblaciones silvestres, con base en cuatro características de las semillas (*i.e.* peso de 100 semillas, y proporción de cotiledones, eje embrionario y testa) y ocho de las plántulas (biomasa del hipocótilo, folíolos y raíz, biomasa consumida durante la germinación y emergencia, diámetro del hipocótilo, longitud del hipocótilo y la raíz, y altura de la plántula), con

The higher mean vigor of cultivar seedlings could be caused its higher efficiency, under essay conditions, to guide seed reserves toward seedling development; its cotyledon biomass consumption (group A, figure 2) was significant higher than in wild ones (group B, figure 2), however, there is the possibility that the difference (2.93%) in this efficiency (calculated like the seeds biomass percentage consumed during germination and emergence) of reserves use only be apparent, because it has been demonstrate that seeds of wild bean have quantities significant higher of structural polysaccharides (10% as average of six collects with different origin), than domesticated (7% in average of six cultivars) (Flores *et al.*, 2002). It is widely documented the consumption of reserve polysaccharides like starch, in process that require metabolic energy, like germination and seedling emergence; in contrast, some structural polysaccharides, like hemicelluloses and pectines, are used like reserves by the cell only in particular circumstances (García and Peña-Valdivia, 1995), this would support the idea that the higher vigor of domesticated seedlings can be basically caused by its higher quantity of seed reserves. On the other hand, the superior proportion of embryo axis in wild seeds in comparison with cultivars (2.18%, group B and 1.57%, group A, respectively; figure 2) can compensate its lower cotyledons, since the embryonic axis is considered an embryonic reserve material of immediate availability (Duffus and Slaughter, 1992), with the "enzymatic

Cuadro 4. Características de la plántula de seis cultivares mejorados, tres cultivares tradicionales y seis recolectas silvestres de frijol. Promedios de cuatro profundidades de siembra.

Table 4. Seedling characteristics of six improved cultivars, three traditional and six wild common bean samples. Mean of four sowing depths.

Recolecta	Clave	Altura de la plántula (cm)	Biomasa				Hipocótilo (cm)		Longitud de raíz (cm)
			Folíolos (g)		Raíz (g)		Diámetro	Longitud	
			Hipocótilo (g)	Consumida (%)	Hipocótilo (g)	Consumida (%)			
Cultivares mejorados									
Amarillo 154	m1	21,20 ^c	0,141 ^{a-c}	0,045 ^c	0,058 ^{c-f}	91,20 ^{a-c}	0,404 ^{b-d}	8,04 ^{cd}	9,78 ^{e-e}
Bayomex	m2	23,37 ^b	0,125 ^{a-d}	0,050 ^{bc}	0,056 ^{d-g}	93,11 ^a	0,396 ^{cd}	7,98 ^{cd}	8,90 ^{d-g}
Delicias 71	m3	23,97 ^{ab}	0,122 ^{a-d}	0,045 ^c	0,061 ^{cf}	88,13 ^{de}	0,379 ^{c-e}	8,41 ^{bc}	10,15 ^{cd}
Flor de Mayo Sol	m4	21,48 ^c	0,119 ^{a-d}	0,048 ^{bc}	0,063 ^{a-c}	90,63 ^{a-c}	0,413 ^{bc}	7,98 ^{cd}	10,74 ^{bc}
Negro 150	m5	23,83 ^{ab}	0,123 ^{a-d}	0,046 ^{bc}	0,053 ^{d-g}	89,93 ^{b-d}	0,407 ^{b-d}	9,05 ^{ab}	9,20 ^{d-f}
Ojo de Cabra	m6	24,34 ^{ab}	0,127 ^{a-d}	0,055 ^b	0,075 ^{ab}	91,60 ^{ab}	0,432 ^b	8,14 ^c	11,75 ^b
Media		23,03 ^a	0,126 ^a	0,048 ^a	0,061 ^a	90,77 ^a	0,405 ^a	8,27 ^a	10,08 ^{ab}
Cultivares tradicionales									
Guanajuato 113-A	t1	23,99 ^{ab}	0,174 ^{ab}	0,076 ^a	0,087 ^a	90,88 ^{a-c}	0,520 ^a	8,85 ^b	13,45 ^a
Michoacán 12-A3	t2	20,45 ^{cd}	0,113 ^{a-d}	0,045 ^c	0,062 ^{b-e}	87,66 ^{de}	0,376 ^{de}	8,04 ^c	9,94 ^{cd}
Puebla 40	t3	24,98 ^a	0,193 ^a	0,050 ^{bc}	0,051 ^{d-g}	88,95 ^{cd}	0,361 ^e	9,72 ^a	9,05 ^{d-g}
Media		23,14 ^a	0,160 ^a	0,057 ^a	0,066 ^a	89,16 ^b	0,419 ^a	8,87 ^a	10,81 ^a
Recolectas silvestres									
Chihuahua	s1	14,99 ^g	0,032 ^d	0,019 ^f	0,030 ^h	90,00 ^{b-d}	0,248 ^g	6,55 ^g	6,28 ⁱ
Durango Atípico	s2	19,22 ^{de}	0,087 ^{b-d}	0,034 ^d	0,050 ^{e-g}	82,62 ^g	0,285 ^f	7,38 ^{de}	7,92 ^h
Durango Típico	s3	16,90 ^f	0,077 ^{b-d}	0,034 ^d	0,047 ^{fg}	86,02 ^{ef}	0,250 ^g	7,23 ^{ef}	7,72 ^{gh}
Oaxaca	s4	21,27 ^c	0,164 ^{ab}	0,049 ^{bc}	0,070 ^{bc}	91,44 ^{ab}	0,359 ^e	8,43 ^{bc}	9,51 ^{e-e}
Tlaxcala Atípico	s5	16,56 ^f	0,064 ^{cd}	0,030 ^{de}	0,064 ^{b-d}	85,05 ^{fg}	0,312 ^f	6,74 ^{e-g}	8,50 ^{e-h}
Tlaxcala Típico	s6	18,89 ^e	0,092 ^{b-d}	0,023 ^{ef}	0,043 ^{gh}	88,74 ^{cd}	0,292 ^f	6,69 ^{fg}	7,36 ^{hi}
Media		17,97 ^b	0,086 ^b	0,031 ^b	0,051 ^b	87,31 ^b	0,291 ^b	7,17 ^b	7,88 ^b

Valores seguido por la misma letra dentro de columnas y entre recolectas, o entre medias, son estadísticamente similares (P≤0,05).

coeficiente de correlación cofenética de 0,827, se reconocieron dos conjuntos principales, A con los cultivares y B con los silvestres (figura 2). La diferencia entre ellos es que en el primer conjunto estuvieron las semillas de tamaño y proporción de cotiledón significativamente mayor, y eje embrionario y testa significativamente menor. Además, el conjunto A incluyó las plántulas significativamente más vigorosas. En contraste, el conjunto B incluyó las semillas con menor peso, y testa y eje embrionario mayores, que originaron plántulas poco vigorosas.

El mayor vigor medio de las plántulas de los cultivares podría deberse a su mayor eficiencia, bajo las condiciones del ensayo, para canalizar las reservas seminales al desarrollo de la plántula; en efecto, su consumo de biomasa cotiledonar (Conjunto A de la figura 2) fue significativamente mayor que en las silvestres (Conjunto B de la figura 2). Sin embargo, existe la posibilidad de que la diferencia (2,93%) en dicha eficiencia (calculada aquí como el porcentaje de biomasa seminal consumida durante la germinación y emergencia) de uso de reservas sea sólo aparente, pues se ha demostrado que las semillas de los frijoles silvestres poseen cantidades significativamente mayores de polisacáridos estructurales (10% en promedio de seis recolectas con origen diferente), que los domesticados (7% en promedio de seis cultivares) (Flores *et al.*, 2002). Al respecto, está ampliamente documentado el consumo de polisacáridos de reserva, como el almidón, en los procesos que demandan energía metabólica, como la germinación y

machine" required for germination, and for development, growth and seedling establishment (Peña-Valdivia *et al.*, 1995). Nevertheless, it is necessary to prove if this result is an indirect effect of the higher structural polysaccharides contents in wild seeds.

In contrast with the apparent higher cultivars efficiency to use its reserves during seedling germination and emergence, the superiority of some wild populations in tolerance to water, cold and heat deficit in different phenological stages and their seeds to storage with high temperatures and high relative humidity, in contrast to the most of cultivars evaluated have been observed (Flores *et al.*, 2002; Peña-Valdivia *et al.* 1999; López *et al.* 2001; Peña-Valdivia *et al.* 2002; Sánchez-Urdaneta *et al.*, 2003).

The group A was divided in two sub-groups (A1 and A2); at the same time, each was divided in two groups. The group A1.1 included seedlings of six cultivars sowed to 2.5 cm depth and the group A1.2 included five cultivars sowed to 7.5 cm (figure 2). The outstanding differences between these groups were the higher sowing depth produced higher seedlings (17%), with thicker (29%), longer (15%) and heavier (39%) hypocotyles. Groups of sub-group A2 mainly included seedlings of sowings to 5 (group A2.1) and 10 cm (group A2.2). The group A2.2 showed seedlings with height and length of hypocotyl significant higher in comparison to those of group A2.1, but less vigorous. The group B, that included only wild collects, was divided in two sub-groups (B1 and B2) (figure 2). The outstanding differences among them were that sub-group B2, with

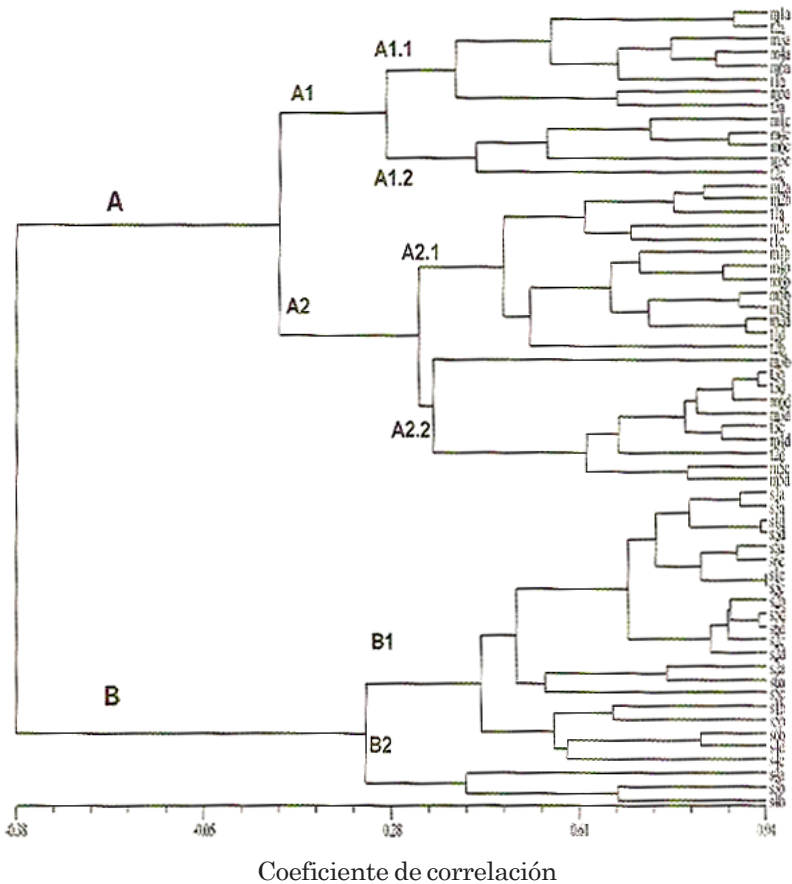


Figura 2. Clasificación de 15 recolectas de frijol (m: cultivares mejoradas, t: cultivares tradicionales y s: silvestres) sembradas en cuatro profundidades de siembra (a: 2.5, b: 5.0, c: 7.5, y d: 10.0 cm), con base en atributos de sus semillas y vigor inicial.

Figure 2. Classification of 15 common bean samples (m: improved cultivars, t: traditional cultivars and s: wild) at four sowing depths (a: 2.5, b: 5.0, c: 7.5, and d: 10.0 cm), based on seed attributes and potential vigor.

emergencia de la plántula; en contraste, ciertos polisacáridos estructurales, como las hemicelulosas y pectinas, son utilizados como reservas por la célula

higher medium size of seed, corresponded to more vigorous seedlings, independently of sowing depth.

sólo en circunstancias particulares (García y Peña-Valdivia, 1995). Lo anterior apoyaría la idea de que el mayor vigor de las plántulas domesticadas puede deberse, básicamente, a su mayor cantidad de reservas seminales. Por otro lado, la proporción superior de eje embrionario en las semillas silvestres en comparación con los cultivares (2,18%, Conjunto B y 1,57%, Conjunto A, respectivamente; figura 2) puede compensar sus cotiledones menores, ya que el eje embrionario se considera un material de reserva embrionaria de disponibilidad inmediata (Duffus y Slaughter, 1992), con la «maquinaria enzimática» requerida para la germinación, y para el desarrollo, crecimiento y establecimiento de la plántula (Peña-Valdivia *et al.*, 1995). Sin embargo, falta comprobar si este resultado es un efecto indirecto del mayor contenido de polisacáridos estructurales en las semillas silvestres.

En contraste con la aparente mayor eficiencia de los cultivares para usar sus reservas durante la germinación y emergencia de las plántulas, se ha observado la superioridad de algunas poblaciones silvestres en la tolerancia al déficit de agua, frío y calor en diferentes etapas fenológicas y de sus semillas al almacenamiento con temperaturas altas y humedad relativa elevada, en contraste con la mayoría de los cultivares evaluados (Flores *et al.*, 2002; López *et al.*, 2001; Peña-Valdivia *et al.*, 1999; Peña-Valdivia *et al.* 2002; Sánchez-Urdaneta *et al.*, 2003).

El conjunto A se dividió en dos subconjuntos (A1 y A2); a la vez, cada uno de ellos se dividió en dos grupos. El grupo A1.1 incluyó las plántulas de

Conclusions

It was found that domesticated seeds seem to be more efficient in the use of reserves for germination and emergence. Seeds reserves are assigned to development of organs in proportions variable and depend on bean type. Thus, only in cultivars, improved and traditional, the hypocotyle length was increased with the sowing depth. In wild samples, of lower seeds size, the lower quantities of biomase were accumulated on hypocotyles. In traditional cultivars, the leaflets biomass reached the double than improved and wild cultivars. In average, the three bean types accumulated higher biomass on leaflets with sowing to 2.5 cm, on the hypocotyl to 5.0 cm and in root to 7.5 cm, and produced longer seedlings with sowing to 10 cm depth. However, it is necessary to evaluate the implications and consequences of these contrasts on different stages in plants development.

End of english version

seis cultivares sembrados a 2,5 cm de profundidad y el grupo A1.2 incluyó las de cinco cultivares sembrados a 7,5 cm (figura 2). Las diferencias sobresalientes entre estos grupos fue que la mayor profundidad de siembra generó plántulas más altas (17%), con hipocótilos más gruesos (29%), largos (15%) y pesados (39%). Los grupos del subconjunto A2 incluyeron principalmente las plántulas de las siembras a 5 (grupo A2.1) y 10 cm (grupo A2.2). El grupo A2.2 presentó plántulas con altura y longitud de hipocótilo

significativamente mayores que las del grupo A2.1, pero menos vigorosas. El conjunto B, que incluyó sólo las recolectas silvestres, se dividió en dos subconjuntos (B1 y B2) (figura 2). Las diferencias sobresalientes entre ellos fue que el subconjunto B2, de mayor tamaño medio de semilla, correspondió a las plántulas más vigorosas, independientemente de la profundidad de siembra.

Conclusiones

En las condiciones de este estudio se encontró que las semillas domesticadas parecen ser más eficientes en el uso de sus reservas para la germinación y emergencia de las plántulas. Las reservas seminales son asignadas al desarrollo de los órganos de la plántula en proporciones variables y en dependencia del tipo de frijol. Así, únicamente en los cultivares, mejorados y tradicionales, se incrementó la longitud del hipocótilo con la profundidad de siembra. En las recolectas silvestres, de tamaños de semilla menores, se acumularon las menores cantidades de biomasa en los hipocótilos. En los cultivares tradicionales la biomasa en los folíolos alcanzó el doble que en los cultivares mejorados y en los silvestres. En promedio los tres tipos de frijol acumularon mayor biomasa en los folíolos con la siembra a 2,5 cm, en el hipocótilo a 5,0 cm y en la raíz a 7,5 cm, y generaron plántulas más altas con la siembra a 10 cm de profundidad. Sin embargo, se requiere evaluar las implicaciones y repercusiones de estos contrastes sobre las diferentes etapas del desarrollo de las plantas.

Literatura citada

- Boe, A. 2003. Genetic and environmental effects on seed weight and seed yield in Switchgrass. *Crop Sci.* 43: 63-67.
- Celis-Velázquez R., C.B. Peña-Valdivia, C. Trejo-López, J.R. Aguirre-Rivera, L. Cordova-Téllez y A. Carballo-Carballo. 2008 a. Consumo de reservas de la semilla de frijol para la emergencia y desarrollo inicial en diferentes profundidades de siembra. *Agronomía Mesoamericana* 19: 167-177.
- Celis-Velázquez R., C.B. Peña-Valdivia, M. Luna-Cavazos, J.R. Aguirre-Rivera, A. Carballo-Carballo y C. Trejo-López. 2008 b. Variabilidad morfológica seminal y del vigor inicial de germoplasma mejorado de frijol. *Agronomía Mesoamericana* 19: 179-193.
- Cisneros-López M.E., L.E. Mendoza-Onofre, G. Mora-Aguilera, L. Córdoba-Téllez y M. Livera-Muñoz. 2007. Híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. I: Calidad de la semilla y su influencia en el establecimiento de plántulas. *Agrociencia* 41: 45-55.
- Duffus, C.M. y J.C. Slaughter. 1992. *Seeds and their Uses*. Wiley. New York, NY, USA. 154 p.
- Flores D., A. M. del C. Ybarra, J. Castillo M., R. García N., C.B. Peña-Valdivia y J.R. Aguirre R. 2002. Potencial agroindustrial del frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* L.): dureza de semilla y composición química. *Memorias del Primer Foro Internacional de Mecanización y Agroindustrial*. Chapingo, México, pp.1-15, 'CD'.
- Franco, T.L. y R. Hidalgo. 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. *Boletín técnico* Núm. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia. 89 p.
- García-Agustín, P. y E. Primo-Millo. 1993. *Germinación de semillas en Fisiología y Bioquímica Vegetal*. J. Azcon-Bieto; M. Talon (ed.) Interamericana McGraw-Hill 419-434 p.
- García H., E. y C.B. Peña-Valdivia. 1995. La

Pared Celular. Componente Fundamental de las Células Vegetales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 96 p.

Gill, S. S. y H. Singh. 1979. Effect of seed size and sowing dates on germination and yield of radish (*Raphanus sativus* L.) roots. *Seed Res.* 7: 58-62.

Harlan, J.R. 1992. Crops and man. 2nd. Ed. ASA, CSSA. Madison. Wisconsin. USA. 284 p.

Izco, J., E. Barreno, M. Bruges, M. Costa, J. Devesa, F. Fernandez, T. Gallardo, X. Llimona, E. Salvo y A.S. Talaver. 1997. Botánica. McGraw-Hill/ Interamericana, Madrid. 781 p.

Kirby E., J.M. 1993. Effect of sowing depth on seedling emergence, growth and development in barley and wheat. *Field Crops Res.* 35: 101-111.

Mahdi, L., C.J. Bell y J. Ryan. 1998. Establishment and yield of wheat (*Triticum turgidum* L.) after early sowing at various depths in a semi-arid Mediterranean environment. *Field Crops Res.* 58: 187-196.

López H., M. C.B. Peña-Valdivia, J.R. Aguirre R. y C. Trejo L. 2001. Differences in seed germination of wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in response to storage. *S. African J. Bot.* 67: 620-628.

Moreno, M.E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Programa Universitario de Alimentos. UNAM. México. 393 p.

Núñez C., C. y P.A. Barrientos F. 2006. Estimación de la variabilidad interna de muestras poblacionales, mediante análisis de componentes principales. *Interciencia* 31: 802-806.

Peña-Valdivia y J.R. Aguirre R. 2009. El frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* L.) mexicano: Riqueza renovable desaprovechada. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, SLP, México. 150 p. En prensa.

Peña-Valdivia, C.B., R. García N., J.R. Aguirre R. y C. Trejo L. 2002. The effects of high temperature on dormancy and hypocotyl-root growth

of wild common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Seed Science and Technology* 30: 231-248.

Peña-Valdivia, C.B., J.R. Aguirre R., E. del R. García H. y J.S. Muruaga M. 1995. Componentes del rendimiento de una semilla de una población silvestre y un cultivar de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Quaderni di Botanica Ambientale e Applicata* 6: 181-187.

Peña-Valdivia, C.B., E. del R. Hernández G., I. Bernal-Lugo y J.R. Aguirre R. 1999. Seed quality of a wild population and an improved cultivar of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) after storage. *Interciencia* 24: 8-14.

Peña-Valdivia C.B., R. García N., J.R. Aguirre R. y C. Trejo. 2002. High temperature breaks dormancy and increases hypocotyl-root growth of wild common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Seed Sci. Tech.* 30: 231-248.

Qui, J. y J.A. Mosjidis 1993. Influence of seed weight and planting depth on common vetch establishment and growth. *Field Crops Res.* 33: 353-366.

Rodrigues L. E., A. Silva S., A.P. Araújo y M. Grandi T. 2005. Effects of the size of sown seed on growth and yield of common bean cultivars of different seed sizes. *Braz. J. Plant Physiol.* 17: 273-281.

Rohlf, F.J. 2000. NTSYSPC, numerical taxonomy and multivariate analysis system, version 2.1. Applied Biostatistics, Inc. New York.

Sánchez-Urdaneta, A.B., C.B. Peña-Valdivia, C. Trejo, J.R. Aguirre R., E. Cárdenas y A. Galicia J. 2003. Permeabilidad de las membranas radicales de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado bajo déficit de humedad. *Interciencia* 28: 597-603.

Statistical Analysis System (SAS). 1999. SAS/STAT. User's 4ta edition. SAS Institute Inc. Cary, NC. 846 p.

Singh, P.S. 2001. Broadening the genetic base of common bean cultivars: A review. *Crop Sci* 41:1659-1675.

Soltani, A., M.J. Robertson, B. Torabi, M. Yousefi-Daz y R. Sarparast. 2006.

Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agric. Forest Meteorol.* 138: 156-167.

- Tsougkrianis, N., C. B. PeñaValdivia, C. Trejo L., J. D. Molina G. 2009. El potencial de agua del sustrato en la germinación de maíces con tolerancia y sensibilidad a la sequía. *Agricultura Técnica en México* 35(4): 363-369.
- Vallejo C., F.A. y E.I. Estrada S. 2002. *Mejoramiento Genético de Plantas.*

Universidad Nacional de Colombia. 402 p.

- Vite, M. A.C., C.B. Peña-Valdivia y A.B. Sánchez-Urdaneta. 2005. Potencial de agua del sustrato y tamaño de semilla en la germinación de frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* L.). *SABER, Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación* 17: 277-279.