

Reacción del frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* L.) a la profundidad de siembra*

Wild beans (*Phaseolus vulgaris* L.) reaction to planting depth

Cecilia B. Peña-Valdivia^{1§}, Carlos Trejo¹, Raquel Celis-Velazquez² y Anselmo López Ordáz¹

¹Botánica, Colegio de Posgraduados. Carretera México- Texcoco km 35.5, Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. (catre@colpos.mx), (anselmo@colpos.mx). ²Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Posgraduados. Carretera México- Texcoco km 35.5, Montecillo, Estado de México. C. P. 56230. (celisvr@hotmail.com). [§]Autora para correspondencia: cecilia@colpos.mx; cecibetipv@gmail.com.

Resumen

Las poblaciones de frijol silvestres (*Phaseolus vulgaris* L.) actualmente son usadas incipientemente por los humanos; muchas de ellas son tolerantes a ambientes inductores de estrés y sus características nutricionales y de calidad pueden ser excepcionales, por ello representan un recurso desaprovechado. El objetivo del estudio fue describir la reacción del frijol silvestre a la profundidad de siembra y contrastarla con la de cultivares. La hipótesis fue que, ya que en su hábitat las semillas de frijol silvestre germinan cerca de la superficie del suelo, donde se depositan después de la dehiscencia espontánea de las vainas, la mayor profundidad de siembra afecta negativamente la emergencia de las plántulas. Se empleó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos (15 x 4) en condiciones de invernadero. Los factores estudiados fueron: material vegetal (seis genotipos silvestres, tres cultivares tradicionales y seis cultivares mejorados) y profundidad de siembra (2.5, 5.0, 7.5 y 10 cm). Se evaluó la biomasa de las semillas, tiempo para la emergencia inicial y final (total o máxima), y porcentaje de emergencia inicial y máxima. La emergencia acumulada de los frijoles silvestres mostró tendencia logística ($y = k/l + [k-n/ne^{-tx}]$) como los domesticados. Los frijoles silvestres en profundidad de 2.5 y

Abstract

Populations of wild beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are currently used by humans incipiently; many of which are tolerant to environmental stress inducers and their nutritional traits and exceptional quality can therefore represent an untapped resource. The aim of the study was to describe the reaction of wild beans planting depth and contrast it with that of cultivars. The hypothesis was that, as in the wild, wild bean's seeds germinate near the soil surface where they are deposited after spontaneous dehiscence of pods as planting depth negatively affects seedling emergence. We used a completely randomized design with factorial arrangement of treatments (15 x 4) under greenhouse conditions. The factors studied were: plant material (six wild genotypes, three traditional cultivars and six improved cultivars) and planting depth (2.5, 5, 7.5 and 10 cm). We also evaluated seed biomass, time for starting and ending the emergence (total or maximum), and emergence percentage initial and maximum. The cumulative emergence wild beans showed logistic trend ($y = k/l + [k-n/ne^{-tx}]$) as domesticated. Wild beans depth of 2.5 and 10 cm took 1 d more ($p \leq 0.05$) for the emergency start (7.67 and 9.93 d) compared with the domesticated (6.43 and 2.9 d), but the initial emergence percentage was not different at all ($p > 0.05$). The maximum

* Recibido: junio de 2012
Aceptado: enero de 2013

10 cm tardaron 1 d más ($p \leq 0.05$) para iniciar la emergencia (7.67 y 9.93 d) en comparación con los domesticados (6.43 y 9.02 d), pero el porcentaje de emergencia inicial no fue diferente ($p > 0.05$). La emergencia máxima fue diferente ($p \leq 0.05$) únicamente con 10 cm, en la que los frijoles silvestres emergieron en proporción mayor (72.78 %) que los domesticados (59.02 %). La profundidad de siembra no representa desventaja para la emergencia del frijol silvestre.

Palabras clave: domesticación, plántula, recursos naturales.

Introducción

México es reconocido como el centro de origen y domesticación del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). En México esta especie se ha cultivando desde hace aproximadamente 8 mil años y la diversidad de climas y nichos ecológicos y culturales favoreció, durante este periodo, el desarrollo de una gran diversidad de tipos regionales (tradicionales o criollos) de frijol con un mercado diverso de preferencias (Bitocchi *et al.*, 2012; Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2001). Los cultivares tradicionales y mejorados actuales son numerosos y son producto de la domesticación de ancestros silvestres, de los que aún también existen poblaciones naturales en Centroamérica y Sudamérica (Bitocchi *et al.*, 2012). Las especies silvestres representan un recurso genético que puede ser utilizado como fuente de variabilidad para el mejoramiento de la calidad de los cultivares actuales, por sus características relacionadas con la adaptación a condiciones desfavorables, como temperaturas extremas, sequía y ataque de insectos de las plantas en desarrollo y de las semillas cosechadas (Arroyo-Peña *et al.*, 2005; Dwivedi *et al.*, 2007; López, *et al.*, 2001; Peña-Valdivia *et al.*, 1999, 2002, 2011; Sánchez-Urdaneta *et al.*, 2003); también, se ha reconocido su potencial para el mejoramiento de la calidad nutricional de las variantes domesticadas (Peña-Valdivia *et al.*, 2011).

Los beneficios potenciales del aprovechamiento y abundancia de las poblaciones silvestres de frijol para el fitomejoramiento preceden a su estudio detallado, desde enfoques científicos diversos, para fundamentar su aprovechamiento. El potencial de los progenitores silvestres podrá rescatarse cuando se conozca su variabilidad genética para definir y evaluar la estabilidad de sus caracteres fenológicos, morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y biofísicos asociados a la calidad agronómica, culinaria y nutricional (Peña-Valdivia *et al.*, 2002, 2011). En los

emergence was different ($p \leq 0.05$) by only 10 cm, in which wild beans emerged in a higher proportion (72.78%) than domesticated (59.02%). Planting depth is no disadvantage to the emergence of wild beans.

Key words: domestication, seedling, natural resources.

Introduction

Mexico is recognized as the center of origin and domestication of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). In Mexico, this species has been cultivated for about 8000 years and the diversity of climates, ecological and cultural niches favored during this period the development of a wide variety of regional types (traditional or landraces) of beans with a diverse market preferences (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2001; Bitocchi *et al.*, 2012). The current traditional and improved cultivars are numerous and are the result of domestication of wild ancestors, of which there are natural populations still in Central and South America (Bitocchi *et al.*, 2012).

Wild species represent a genetic resource that can be used as a source of variability for the improvement of the quality of the current cultivars, their traits related to adaptation to unfavorable conditions such as extreme temperatures, drought and insect attack on plants development and seed harvested (Peña-Valdivia *et al.*, 1999, 2002, 2011; López, *et al.*, 2001; Sánchez-Urdaneta *et al.*, 2003; Arroyo-Peña *et al.*, 2005; Dwivedi *et al.*, 2007); also, its potential to improve the nutritional quality of domesticated variants has been recognized (Peña-Valdivia *et al.*, 2011).

The potential benefits of the use and abundance of wild bean plant breeding precede detailed studies from several scientific approaches to support its use. The potential of wild progenitors can rescue when known genetic variability to define and evaluate the stability of their phenological, morphological, physiological, biochemical and biophysical characters associated to agronomic, culinary and nutritional quality (Peña-Valdivia *et al.*, 2002, 2011). In breeding programs is important to consider the effect of the seed and seedling to optimize the germination, emergence and early development (Celis-Velázquez *et al.*, 2008 ab). In this regard, the seed vigor has been described as a set of properties that determine the level and pattern of reaction of the seed or seed lot during germination and seedling emergence (AOSA, 1993).

programas de fitomejoramiento es importante considerar el vigor de la semilla y de la plántula para optimizar la germinación, emergencia y desarrollo inicial de la planta (Celis-Velázquez *et al.*, 2008 a-b). Al respecto, el vigor de semilla se ha descrito como un conjunto de propiedades que determinan el nivel y patrón de reacción de la semilla o lote de semillas durante la germinación y emergencia de la plántula (AOSA, 1993). Así, el vigor de la semilla parece un atributo adecuado para reconocer la variabilidad genética entre y dentro de los frijoles cultivados y silvestres, pues en forma sintética puede describir las diferencias entre los procesos y reacciones bioquímicas durante la germinación. Una ventaja de evaluar el vigor de semilla es que, a través de la germinación, y específicamente de la velocidad y uniformidad de emergencia de las plántulas, en condiciones diversas, pueden valorarse numerosas poblaciones en poco tiempo (Celis-Velázquez *et al.*, 2008 a).

El vigor de las semillas silvestres de frijol ha sido evaluado escasamente y se conoce muy poco de su reacción a la siembra (Celis-Velázquez *et al.*, 2010). El éxito de un cultivo depende en gran parte de las características fisiológicas y bioquímicas de la semilla, su reacción al ambiente y la rapidez con la que utilice sus reservas para el crecimiento de la plántula. Los cultivares que se establecen y desarrollan rápidamente después de la siembra, aseguran que el cultivo compita exitosamente contra arvenses y limitan el efecto de algunos factores adversos como la falta de humedad (Celis-Velázquez *et al.*, 2008 a; Lamour y Lotz 2007). La emergencia y establecimiento pobre de los cultivos de frijol es un problema común que podría resolverse parcialmente con el uso de cultivares con alto vigor de emergencia.

La caracterización de la emergencia y establecimiento de la planta en dependencia de la profundidad de siembra permite reconocer variabilidad entre cultivares de caracteres como la velocidad de emergencia, crecimiento de la plántula y desarrollo del follaje (Celis-Velázquez *et al.*, 2008 a-b). El vigor seminal inicial del germoplasma de frijol mejorado, para siembra comercial en diferentes zonas de México, basado en la morfología de la semilla y de las plántulas mostró que su variabilidad está relacionada directamente con la capacidad para emerger y su dependencia con la profundidad de siembra es reducida (Celis-Velázquez *et al.*, 2008 b). Cultivares tradicionales de frijol sembrados en profundidades diferentes asignaron cantidades diferentes de las reservas seminales (83 a 92%) que los mejorados (50 a 90%) a las plántulas en desarrollo, entre los cultivares mejorados hubo variaciones amplias dependientes de

Thus, the seed vigor seems appropriated to recognize a genetic attribute for variability within and between wild and cultivated beans, as in synthetic form can describe the differences between the processes and biochemical reactions during germination. An advantage of assessing seed vigor is that through germination, and specifically of the speed and uniformity of seedling emergence, in various conditions can be evaluated in a short time many populations (Celis-Velázquez *et al.* 2008 a).

The characterization of the emergence and establishment of the plant depending on the planting depth variability can recognize characters of cultivars, emergency speed, seedling growth and canopy development (Celis-Velázquez *et al.*, 2008 ab). The initial seminal force of beans' improved germplasm for commercial planting in different parts of Mexico, based on the morphology of the seed and seedling showed that, the variability is directly related to the ability to emerge and its dependence on the depth of planting is reduced (Celis-Velázquez *et al.*, 2008 b).

Traditional cultivars planted at different depths assigned different amounts of seed reserves (83-92%) than those improved (50-90%) to developing seedlings, including improved cultivars, wide variations dependent on planting depth, traditional cultivars emerged synchronously, regardless of planting depth, and contrasted with the enhanced difference up to five days (Celis-Velázquez *et al.*, 2008 a).

Based on these, it was considered of interest to describe the emergence of wild bean genotypes in relation to the planting depth and contrast it with the traditional and improved cultivars. The hypothesized was that, since in their habitat wild bean seeds germinated near the soil surface, where they are deposited after spontaneous dehiscence of pods as planting depth negatively affects the seedling emergence.

Materials and methods

The research was conducted in a greenhouse of the Department of Botany of the Graduate School of Agricultural Science in Montecillo, Texcoco, State of Mexico. We used wild bean genotypes of Chihuahua, Durango, Oaxaca (Num. G CIAT 22873, 11 025B and 12 876, respectively) (Toro *et al.*, 1990) and Tlaxcala (collected in La Malinche, Tlaxcala

la profundidad de siembra, los cultivares tradicionales emergieron sincrónicamente, independientemente de la profundidad de siembra, y contrastaron con los mejorados con diferencia hasta de cinco días (Celis-Velázquez *et al.*, 2008a).

Con base en lo precedente, se consideró de interés describir la emergencia de genotipos silvestres de frijol en relación con la profundidad de siembra y contrastarla con la de cultivares tradicionales y mejorados. La hipótesis fue que, ya que en su hábitat las semillas de frijol silvestre germinan cerca de la superficie del suelo, donde se depositan después de la dehiscencia espontánea de las vainas, la mayor profundidad de siembra afecta negativamente la emergencia de las plántulas.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló en un invernadero del Área de Botánica del Colegio de Posgraduados en Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México. Se utilizaron genotipos de frijol silvestre mexicano de Chihuahua, Durango, Oaxaca (Núm. G CIAT 22873, 11025B y 12876, respectivamente) (Toro *et al.*, 1990) y Tlaxcala (recolectado en La Malinche, Tlaxcala 19° 25' latitud norte, 98° 8' longitud oeste y 2404 msnm). La semillas de Durango (Dur) y Tlaxcala (Tlax) fueron estratificadas por tamaño y se incluyeron las de los tamaños extremos, de acuerdo con lo descrito por Peña-Valdivia *et al.* (2002 y 2011) y López *et al.* (2007). Así, se evaluaron seis genotipos silvestres, identificados como: Chih (Núm. G CIAT 22873), Dur Atípico, Dur Típico, Oax (Núm. G CIAT 12876), Tlax Atípico y Tlax Típico.

Los cultivares empleados para el contraste con los silvestres fueron tres tradicionales: Guanajuato 113-A (Gto), Michoacán 12-A3 (Mich) y Puebla 40 (Pue) y seis mejorados para su cultivo en diferentes regiones agroecológicas: Amarillo 154 (Am), Bayomex (BM), Delicias 71 (Del), Flor de Mayo Sol (FMS), Negro 150 (Neg) y Ojo de Cabra (OC). Las semillas, de los frijoles silvestres y cultivares, fueron multiplicadas en un campo experimental del Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, en Montecillo, México (19° 28' latitud norte, 98° 53' longitud oeste, altitud de 2250 m, precipitación y temperatura media anual 550 mm 18 °C; García, 2004) antes de evaluarlas.

De cada genotipo silvestre y cultivar se obtuvo la biomasa de diez grupos de 100 semillas. Parte de las semillas de frijol silvestre puede ser latente, por lo que todas se

19° 25' north latitude, 98° 8' W and 2404 m). The seeds of Durango (Dur) and Tlaxcala (Tlaxcala) were stratified by size and the extreme sizes were also included, as described by Peña-Valdivia *et al.* (2002 and 2011) and López *et al.* (2007). Thus, we evaluated six wild genotypes, identified as: Chih (Num. G CIAT 22873), atypical Dur, typical Dur, Oax (Num. G CIAT 12876), atypical Tlax and typical Tlax.

The cultivars used for contrast with the wild were three traditional: 113-A Guanajuato (GTO), Michoacán 12-A3 (Mich.) and Puebla 40 (Pue) and six improved for cultivation in different agro-ecological regions: Amarillo 154 (Am), Bayomex (BM), Delicias 71 (Del), Flor de Mayo Sol (FMS), Negro 150 (Neg) and Ojo de Cabra (OC). The seeds of wild beans and cultivars were multiplied in an experimental field of the Postgraduate College in Agricultural Sciences in Montecillo, Mexico (19° 28' north latitude, 98° 53' west longitude, elevation of 2250 m, the precipitation was 550 mm annually and an average temperature of 18 °C (García, 2004) before evaluating them.

From each wild and cultivated genotype, biomass was obtained from ten groups of 100 seeds. Part of wild bean seeds can be dormant, so all were scarified with a cut on the tip, a few millimeters deep, opposite the micropyle with a scalpel. The seeds were planted in pots of 20 L, 2.5, 5, 7.5 and 10 cm deep in a mixture of forest soil and sand (2:1 w:w).

Irrigation was applied to saturation before and after planting, irrigation was applied every other day. We quantified the time (days) for the start of the emergence (at least one seedling per experimental unit) and time to maximum emergence (days to emergence of larger number of seedlings), we calculated the percentage of initial germination (seedling emerged in the initial emergence period to total seeds sown), the emergence percentage final or maximum (seedlings emerged in total emergence time to total seeds sown) and emergence rate (number of seedlings emerged d⁻¹).

Data were sorted and analyzed under a completely randomized design with factorial arrangement of treatments (15 x 4). The plant material factor included 15 levels (six wild genotypes, three traditional cultivars and six improved cultivars) and planting depth factor included four levels (2.5, 5, 7.5 and 10 cm). Thus 60 treatments were formed, each with four replications of 20 seeds.

escarificaron con un corte en la testa, de algunos milímetros de profundidad, del lado opuesto al micrópilo con un bisturí. Las semillas se sembraron en macetas de 20 L, a 2.5, 5.0, 7.5 y 10.0 cm de profundidad, en una mezcla de tierra de monte y arena (2:1 p:p).

Se aplicó un riego a saturación antes de la siembra y después, el riego se aplicó cada tercer día. Se cuantificó el tiempo (días) para el inicio de la emergencia (al menos una plántula por unidad experimental) y el tiempo para la emergencia máxima (días para la emergencia del número mayor de plántulas), se calculó el porcentaje de germinación inicial (plántulas emergidas en el tiempo de emergencia inicial respecto al total de semillas sembradas), el porcentaje de emergencia final o máxima (plántulas emergidas en el tiempo de emergencia total respecto al total de semillas sembradas) y la tasa de emergencia (número total de plántulas emergidas d^{-1}).

Los datos se ordenaron y se analizaron bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos (15 x 4). El factor material vegetal incluyó 15 niveles (seis genotipos silvestres, tres cultivares tradicionales y seis cultivares mejorados) y el factor profundidad de siembra incluyó cuatro niveles (2.5, 5.0, 7.5 y 10 cm). Así, se formaron 60 tratamientos, cada uno con cuatro repeticiones de 20 semillas.

Los resultados fueron analizados mediante ANDEVA, comparación de medias con la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) con el paquete estadístico SAS (versión 8.1). La representación gráfica de los datos se realizó con el programa SigmaPlot de Jandel Scientific (versión 10.0).

Resultados y discusión

La emergencia acumulada de los seis genotipos silvestres, como la de los nueve cultivares, mostró una tendencia logística: $y = k / (1 + (k - n/n)e^{-rx})$; en la que, de acuerdo con Peña-Valdivia *et al.* (2002) n representa el valor de emergencia esperada, en un tiempo x , k representa el valor esperado de la emergencia para cada tiempo x total, en la representación gráfica equivale a la altura de la asíntota, y r puede tomarse como el valor que representa la media de la velocidad de emergencia (Figuras 1, 2 y 3).

The results were analyzed by ANOVA comparison using the multiple comparison test of Tukey ($p \leq 0.05$) with the SAS statistical package (version 8.1). The graphical representation of the data was performed using the SigmaPlot program by Jandel Scientific (version 10.0).

Results and discussion

The cumulative emergence of the six wild genotypes, such as the nine cultivars, showed a logistics tendency: $y = k / (1 + (k - n/n)e^{-rx})$; in which, according to Peña-Valdivia *et al.* (2002) n represents the expected value of emergence at a time x ; k represents the expected value of the emergence for each time x total, equivalent to the graphical representation of the asymptotic height, and r can be taken as the value representing the average speed of emergence (Figures 1, 2 and 3).

Emergence is a complex process, even more than the germination; Welbaum *et al.* (1998) noted that, the parameter r should be interpreted as the change in time that seedling emergence completed individually. However, the emergence of wild and domesticated beans in the present study had similar behavior to the germination of seeds of wild and domesticated beans as described by López *et al.* (1999) and Peña-Valdivia *et al.* (2002), in laboratory testing, with temperatures between 25 and 40 °C. According to Peña-Valdivia *et al.* (2011), beans in this study represent a gradient of domestication, in which the extremes are represented by the group of wild genotypes and improved cultivars. Therefore, it was of interest to compare also the reaction of the group with the traditional cultivar and wild and improved.

Time for initial emergence

The time to start planting emergence to 2.5 cm showed a gradient between wild genotypes and traditional and improved cultivars. The Wild took just over 1 d compared with improved cultivars and completely domesticated group (most improved traditional cultivars) ($p \leq 0.05$). The time to start the emergence increased with depth in three groups and only significant difference in planting at 10 cm, in which the wild took on average 1 d more compared to the domesticated.

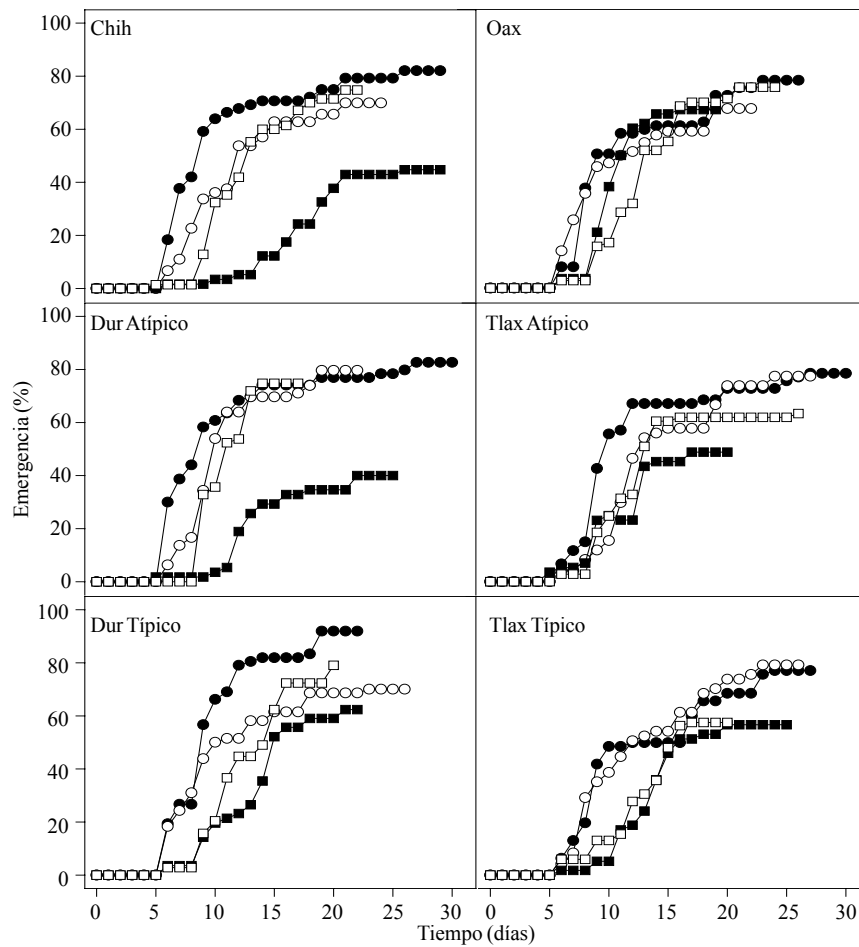


Figura 1. Emergencia acumulada de plántulas de frijol silvestre sembrado a 2.5 (●), 5.0 (○), 7.5 (■) y 10 (□) cm de profundidad, en condiciones de invernadero.

Figura 1. Cumulative emergence of wild beans seedlings planted at 2.5 (●), 5.0 (○), 7.5 (■) and 10 (□) cm of depth, under greenhouse conditions.

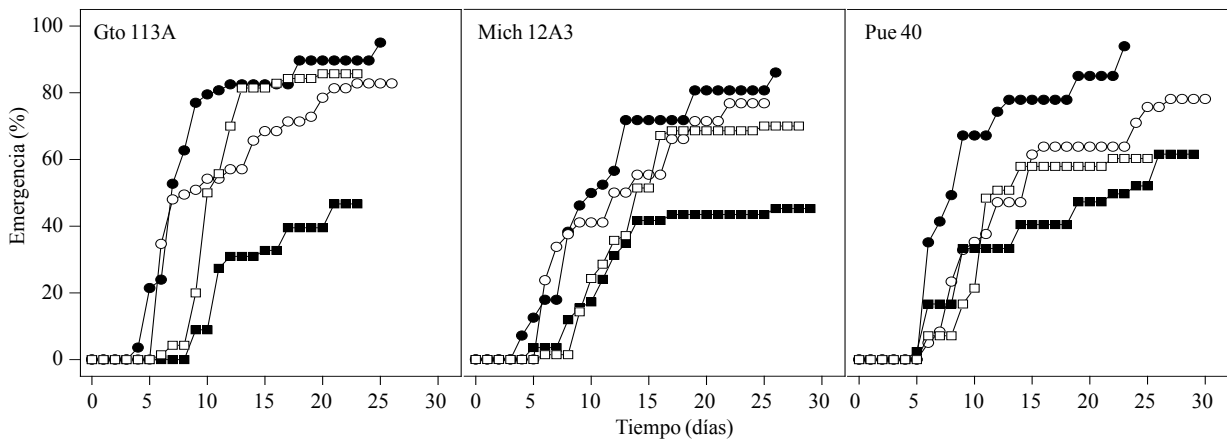


Figura 2. Emergencia acumulada de cultivares tradicionales de frijol sembrados a 2.5 (●), 5.0 (○), 7.5 (■) y 10 (□) cm de profundidad, en condiciones de invernadero.

Figura 2. Cumulative emergence of traditional cultivars planted at a 2.5 (●), 5.0 (○), 7.5 (■) and 10 (□) cm of depth, under greenhouse conditions.

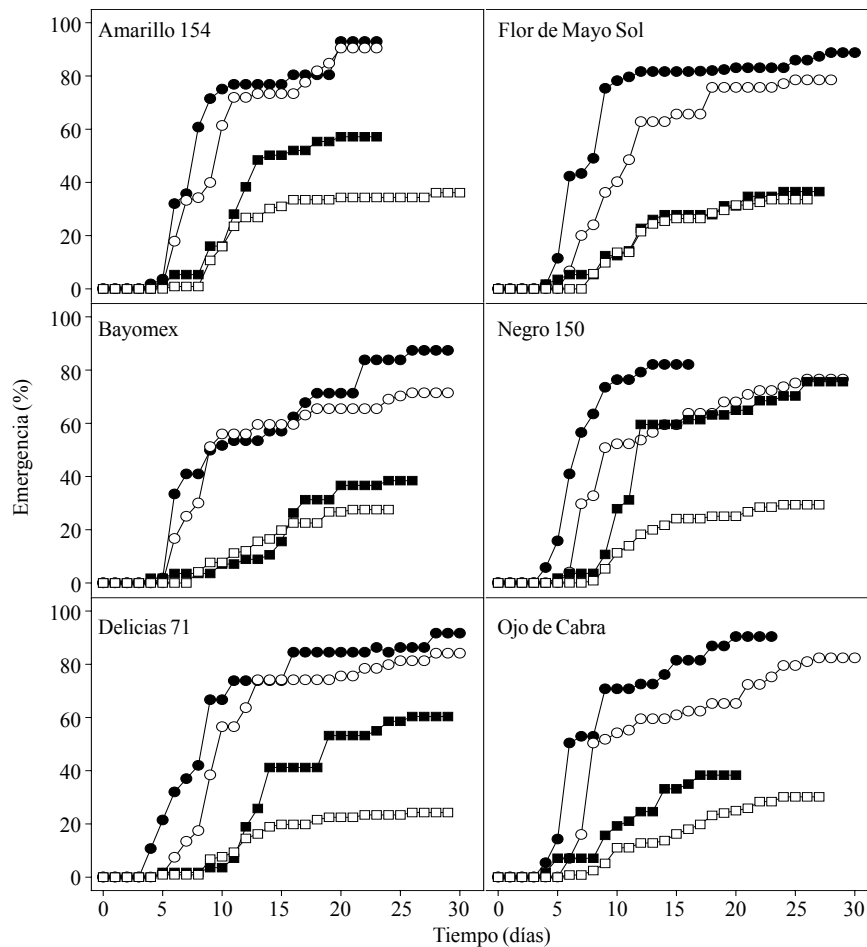


Figura 3. Emergencia acumulada de cultivares mejorados de frijol sembrados a 2.5 (●), 5.0 (○), 7.5 (■) y 10 (□) cm de profundidad, en condiciones de invernadero.

Figura 3. Cumulative emergence of improved cultivars planted at 2.5 (●), 5.0 (○), 7.5 (■) and 10 (□) cm of depth, under greenhouse conditions.

La emergencia es un proceso complejo, aun más que la germinación; al respecto, Welbaum *et al.* (1998) señalaron que el parámetro r debería interpretarse como la variación del tiempo en el que las plántulas completan la emergencia individualmente. No obstante, la emergencia de los frijoles silvestres y domesticados en el presente estudio tuvo comportamiento similar a la germinación de semillas silvestres y domesticados de frijol descrita por López *et al.* (1999) y Peña-Valdivia *et al.* (2002), en ensayos de laboratorio, con temperaturas entre 25 y 40 °C.

De acuerdo con Peña-Valdivia *et al.* (2011), los frijoles en este estudio representan un gradiente de domesticación, en el que los extremos están representados por el grupo de los genotipos silvestres y los cultivares mejorados. Por esto, resultó de interés comparar también la reacción del grupo de cultivares tradicionales con el silvestre y el mejorado.

The time to start the emergence was homogeneous within each group at each depth, with some exceptions (Figure 4 AC). The Wild used between 7.2 (typical Dur) and 8 d (Oax and atypical Tlax) at planting of 2.5 cm and 9.4 (Chih) and 10.6 d (atypical Tlax) at 10 cm, and the times were for minor and major to improved cultivars in sowing at 2.5 and 10 cm respectively, between 5.6 (Neg) and 7.2 d (WB) in the first case and 7.7 (from 71) and 10 d (Am) in the second one. The time to start the emergence depended on statistically significant interaction ($p= 0.01$) between genotypes or cultivar and planting depth, and demonstrated the nonlinear relationship of the emergence with the depth of planting wild genotypes and cultivars (Figure 4 AC).

Other studies showed that seedlings of three genotypes wild Durango and Tlaxcala in field crop conditions, average times emerged in similar (10 and 11 d) to cultivars AM and Bayo

Tiempo para la emergencia inicial

El tiempo para iniciar la emergencia en la siembra a 2.5 cm mostró un gradiente entre los genotipos silvestres y los cultivares tradicionales y mejorados. Los silvestres tardaron poco más de 1 d en comparación con los cultivares mejorados y con el grupo domesticado completo (cultivares tradicionales más mejorados) ($p \leq 0.05$). El tiempo para iniciar la emergencia incrementó con la profundidad en los tres grupos y únicamente hubo diferencia significativa en la siembra a 10 cm, en la que el silvestre tardó en promedio 1 d más en comparación con el de los domesticados.

El tiempo para iniciar la emergencia fue homogéneo dentro de cada grupo en cada profundidad, con algunas excepciones (Figura 4 A-C). Los silvestres emplearon entre 7.2 (Dur Típico) y 8 d (Oax y Tlax atípico) en la siembra a 2.5 cm y entre 9.4 (Chih) y 10.6 d (Tlax Atípico) en la de 10 cm; y los tiempos menores y mayores correspondieron a los cultivares mejorados en las siembras a 2.5 y 10 cm respectivamente, entre 5.6 (Neg) y 7.2 d (BM) en el primer caso y entre 7.7 (del 71) y 10 d (Am) en el segundo. El tiempo para iniciar la emergencia dependió de la interacción estadísticamente significativa ($p = 0.01$) entre el genotipo o cultivar y la profundidad de siembra; y se demostró la relación no lineal de la emergencia con la profundidad de siembra de los genotipos silvestres y los cultivares (Figura 4 A-C).

Otros estudios demostraron que las plántulas de tres genotipos silvestres de Durango y Tlaxcala, en condiciones de cultivo en campo, emergieron en promedio en tiempos similares (10 y 11 d) a los cultivares Am y Bayo Mecentral (9.8 y 10.8 d) (Aguirre *et al.*, 2003) y en condiciones de invernadero las plántulas de un silvestre de Durango emergieron al mismo tiempo que las de la línea 370 (Berrocal *et al.*, 2002); no obstante, estos autores no indicaron la profundidad de siembra.

Porcentaje de emergencia inicial

El porcentaje de emergencia inicial indica la sincronía de cada genotipo o cultivar para emerger y en este estudio fue afectado por la profundidad de siembra, con tendencias poco claras dentro y entre los grupos (Figura 5 A-C), fue significativamente menor y mayor en el grupo silvestre con la siembra a 5 y 10 cm en comparación con el grupo mejorado ($p \leq 0.05$), fue similar al de los cultivares tradicionales y no existió diferencia ($p > 0.05$) en las otras profundidades. Además, la comparación de los porcentajes de emergencia

Mecentral (9.8 and 10.8 d) (Aguirre *et al.*, 2003) and in the greenhouse, seedlings of wild Durango emerged at the same time of line 370 (Berrocal-Ibarra *et al.*, 2002); however, these authors did not indicated the depth of planting.

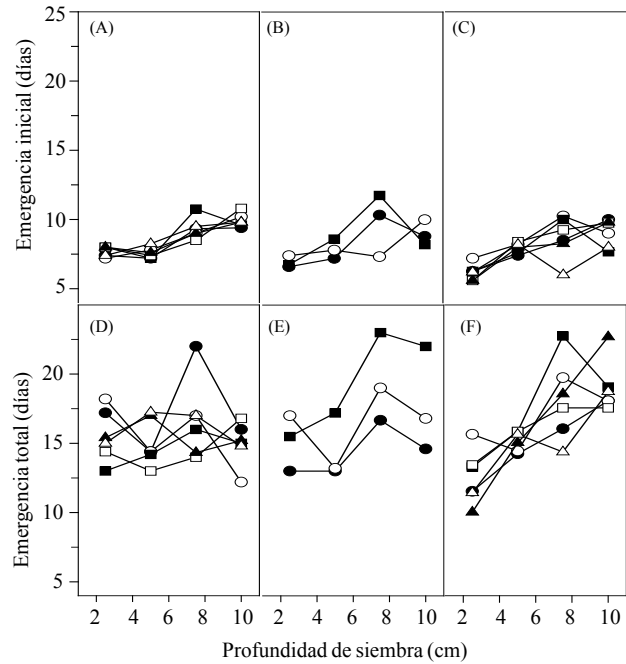


Figura 4. Efecto de la profundidad de siembra en el tiempo para la emergencia inicial y total de genotipos silvestres (A y D) (Chih ●, Dur atípico ○, Dur típico ■, Oax □, Tlax atípico ▲ y Tlax típico △), cultivares tradicionales (B y E) (Gto 113A ●, Mich 12A3 ○, Pue 40 ■) y cultivares mejorados (C y F) de frijol (Amarillo 154 ●, Bayomex ○, Delicias 71 ■, Flor de Mayo Sol □, Negro 150 ▲ y Ojo de Cabra △).

Figura 4. Planting depth effect on the initial emergence time and the total wild genotypes (A and D) (Chih ●, atypical Dur ○, typical Dur ■, Oax □, atypical Tlax ▲ and typical Tlax △), traditional cultivars (B and E) (Gto 113A ●, Mich 12A3 ○, Pue 40 ■) and improved cultivars (C and F) of beans (Amarillo 154 ●, Bayomex ○, Delicias 71 ■, Flor de Mayo Sol □, Negro 150 ▲ and Ojo de Cabra △).

Initial emergence percentage

The initial emergence percentage indicates the timing of individual genotype or cultivar to emerge and in this study was affected by planting depth, with unclear trends within and between the groups (Figure 5 AC); it was significantly lower and higher in the group sowing with a 5 and 10 cm compared with the improved group ($p \leq 0.05$), similar to that of the traditional cultivars and there was no difference ($p >$

entre el grupo silvestre y domesticado mostró diferencia ($p \leq 0.05$) únicamente con la siembra a 7.5 cm de profundidad, en la que el silvestre superó con 10% al domesticado.

Las diferencias, aunque amplias del porcentaje de emergencia inicial, no fueron significativas entre Tlax Típico y Chih (32%) y los cultivares tradicionales Gto y Pue (26%) y mejorados BM y Am (32%) con la siembra a 2.5 cm de profundidad. En contraste, las diferencias con la siembra a 7.5 y 10 cm dentro de los grupos si fueron significativas; las más amplias las presentaron Chih y Tlax Atípico (27.2%) entre los silvestres y FMS y Neg (25.2%) entre los cultivares mejorados en 7.5 cm, y Tlax Típico y Dur Atípico (42.4%) en 10 cm.

Entre las características del “síndrome de domesticación” de frijol está la sincronía de las etapas fenológicas (Aguirre, 2003). Los frijoles domesticados, tanto tradicionales como mejorados, son producto de la selección de características de interés antropocéntrico y poseen uniformidad morfológica, fisiológica y agronómica alta. El crecimiento sincrónico de las plantas será, en parte, resultado de la emergencia simultánea de las plántulas (García *et al.*, 1997).

Sobresalió la ausencia de alguna relación directa del tamaño y origen de la semilla con la emergencia. Entre los genotipos silvestres, dos con las semillas de biomasa menor, Dur Típico y Tlax Típico (Figura 6), mantuvieron porcentajes de emergencia inicial similar en las cuatro profundidades de siembra (Figura 5 A).

En contraste, Soltani *et al.* (2006) aseguraron que el tamaño de semilla puede tener efecto en la emergencia, ellos observaron que las especies con semilla grande tuvieron ventaja sobre las de semilla chica durante la germinación y Parker *et al.* (2004) indicaron que las semillas grandes tuvieron soporte metabólico mayor para el crecimiento temprano y originaron plántulas de mayor tamaño, lo que conduce a su establecimiento mejor. Según Leishman (2001) las especies con semillas grandes también exhiben establecimiento superior en ambientes con competencia alta, y emergencia mayor desde capas más profundas de suelo. Sin embargo, Grime (2001) aseguró que las especies con semilla pequeña exhiben establecimiento mayor en hábitat abiertos y perturbados, en los que las semillas requieren pocos recursos para el crecimiento temprano. Además, se ha señalado que la biomasa de la semilla se correlaciona con su vigor (Wang *et al.*, 2006), permanencia de la plántula (Debain *et al.*, 2003), tamaño de la planta y su probabilidad de sobrevivir (Simons y Johnston, 2000).

0.05) in the other depths. Furthermore, comparison of the percentages of emergence between wild and domesticated showed group differences ($p \leq 0.05$) only with the planting depth of 7.5 cm, which the wild overcame by 10% the domesticated ones.

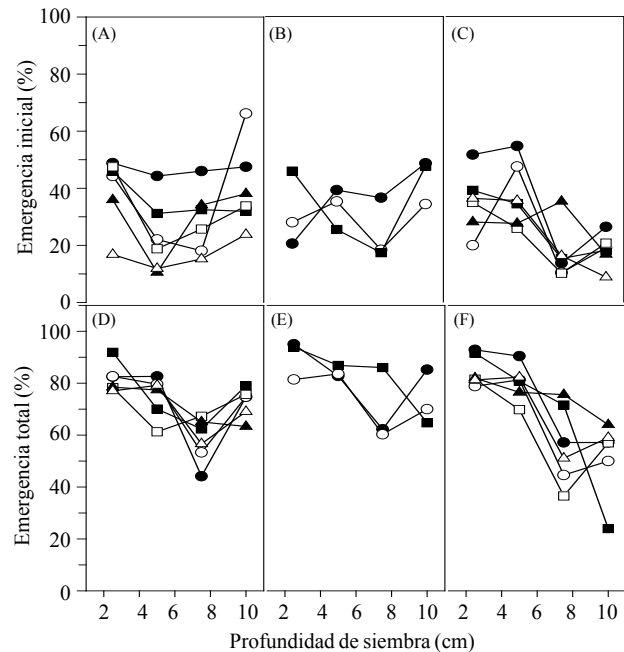


Figura 5. Efecto de la profundidad de siembra en el porcentaje de emergencia inicial y total de genotipos silvestres (A y D) (Chih ●, Dur atípico ○, Dur típico ■, Oax □, Tlax atípico ▲ y Tlax Típico △), cultivares tradicionales (B y E) (Gto 113A ●, Mich 12A3 ○, Pue 40 ■) y cultivares mejorados (C y F) de frijol (amarillo 154 ●, Bayomex ○, Delicias 71 ■, Flor de Mayo Sol □, Negro 150 ▲ y Ojo de Cabra △).

Figura 5. Planting depth effect on the initial emergence time and the total wild genotypes (A and D) (Chih ●, atypical Dur ○, typical Dur ■, Oax □, atypical Tlax ▲ and typical Tlax △), traditional cultivars (B and E) (Gto 113A ●, Mich 12A3 ○, Pue 40 ■) and improved cultivars (C and F) of beans (Amarillo 154 ●, Bayomex ○, Delicias 71 ■, Flor de Mayo Sol □, Negro 150 ▲ and Ojo de Cabra △).

The differences, though large in the percentage of the initial emergence were not significant between Typical Tlax and Chih (32%) and traditional cultivars Gto and Pue (26%) and improved BM and Am (32%) with planting to 2.5 cm depth. In contrast, the differences with planting at 7.5 and 10 cm within the groups were significant; the broader were Chih and Atypical Tlax (27.2%) between wild and FMS and Neg (25.2%) among the improved cultivars in 7.5 cm, and Typical Tlax and Atypical Dur (42.4%) at 10 cm.

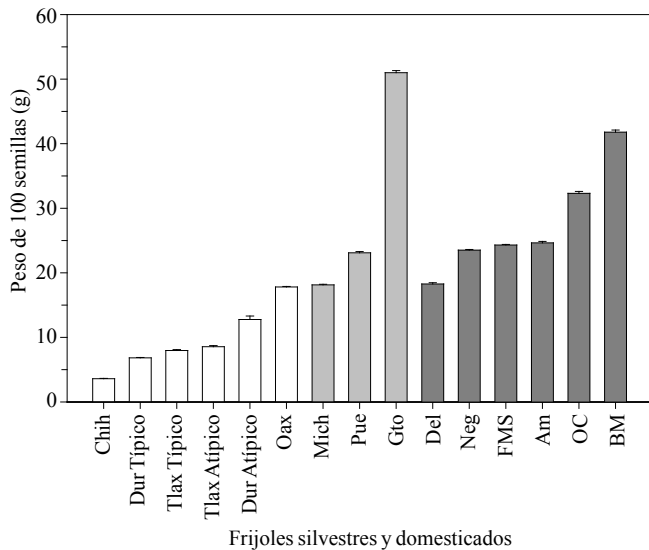


Figura 6. Peso de 100 semillas (g) de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestres (barras blancas), cultivares tradicionales (barras gris claro) y cultivares mejorados (barras gris oscuro). Las barras son el promedio de diez repeticiones con 100 semillas cada una + error estándar.

Figura 6. 100 seeds weight (g) of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) wild (White bars), traditional cultivars (light gray bars) and improved cultivars (dark gray bars).

La interacción entre variante de frijol y profundidad de siembra sobre el porcentaje de emergencia inicial mostró significación estadística ($p=0.001$), predominó la tendencia decreciente del porcentaje de emergencia inicial entre los cultivares mejorados, con fluctuaciones amplias entre ellos y, en general, la mayor estabilidad de la emergencia inicial de los genotipos silvestres en relación con la profundidad de siembra (Figura 5 C).

La reacción adecuada de los cultivares a la profundidad de siembra asegura la permanencia y éxito del cultivo. Celis-Velázquez *et al.* (2008 b) determinaron que las plántulas de 99 % de una muestra de 48 cultivares mejorados de frijol emergieron igual con las siembras a 2.5 y 5 cm de profundidad, pero la disminuyó a 58% cuando la siembra se hizo a 10 cm; sin embargo, la variabilidad del vigor inicial dependiente de la profundidad de siembra fue reducida en los 48 cultivares.

Tiempo para la emergencia total

Después de la fase inicial de emergencia, la emergencia de los frijoles silvestres y los cultivares se incrementó aceleradamente (Figuras 1 a 3). Las tasas de emergencia mayores, en los tres tipos de frijoles, se observaron a 2.5 cm de profundidad (Figura 6).

Within the traits of the "domestication syndrome" of beans, there is the phenological stages synchrony (Aguirre, 2003). Domesticated beans, both traditional and improved resulted from the selection of features of anthropocentric interest, and have high morphological, physiological and agronomic uniformity. Synchronous growth of plants will, in part, be a result of the simultaneous emergence of the seedlings (García, 1997).

The absence of any direct relationship to the size and origin of the seed with the emergence, excelled. Among the wild genotypes, two with lower seed biomass Typical Dur and Typical Tlax (Figure 6), maintained similar initial emergence percentages in all planting depths (Figure 5 A).

In contrast, Soltani *et al.* (2006) claimed that, the seed size can have an effect on the emergence; they observed that species with large seed took advantage of the small seed during germination and Parker *et al.* (2004) indicated that, the large seeds had higher metabolic support for early growth of seedlings and larger rise as well, which leads to a better establishment. According to Leishman (2001) large-seeded species also exhibit superior establishment in environments with high competition, and major emergence from deeper layers of the soil. However, Grime (2001) stated that, the species with small seed establishment exhibit higher open and disturbed habitats, in which the seeds require few resources for early growth. Also noted that, the biomass is correlated with seed vigor (Wang *et al.*, 2006), retention of the seedling (Debain *et al.*, 2003), plant size and the probability of survival (Simons and Johnston, 2000).

The interaction between variant bean and planting depth on the initial emergence percentage showed statistical significance ($p=0.001$), the prevailing downward trend in the percentage of the initial emergence among the improved cultivars with wide fluctuations between them, and in general, the greater stability of the initial emergence of wild genotypes in relation to the planting depth (Figure 5 C).

The proper response of cultivars to seeding depth ensures the permanence and success of the crop. Celis-Velázquez *et al.* (2008 b) found that, the seedlings of 99% of a sample of 48 bean cultivars enhanced with plantings emerged equal to 2.5 and 5 cm depth, but decreased to 58% when the planting was done at 10 cm; however, the initial force dependent variability of the planting depth was reduced to 48 cultivars.

Una tendencia parcialmente similar a la caída de la tasa de emergencia debida a la mayor profundidad de siembra de los cultivares mejorados se observó en los cultivares tradicionales y en los silvestres; sin embargo, el efecto fue menos pronunciado en estos últimos (Figura 7) y en algunos casos, como en los cultivares Gto y Mich y en las variantes silvestres Chih y Dur Atípico, la siembra a 10 cm de profundidad favoreció la tasa de emergencia con respecto a la generada con 7.5 cm de profundidad (Figura 4 D-F). Así, el tiempo para la emergencia total con la siembra a 2.5 y 5.0 cm de profundidad fue estadísticamente similar entre las 15 variantes (con valores promedio de 14.2 y 14.9 días, respectivamente).

Porcentaje para la emergencia total

El porcentaje de emergencia total fue significativamente similar dentro y entre grupos con la siembra a 2.5 y 5.0 cm de profundidad; en general, con éstas profundidades además se alcanzaron los mayores porcentajes de emergencia. La siembra a 7.5 y 10 cm afectó negativamente la emergencia y por tanto la tasa de emergencia de todos los frijoles; aunque, las diferencias estadísticas se detectaron entre los grupos sólo a 7.5 cm. Los genotipos silvestres incrementaron significativamente la tasa de emergencia con la siembra a 10 cm, respecto a la de 7.5 cm; y los cultivares tradicionales Pue y Gto, destacaron por sus porcentajes de emergencia altos con la siembra a 7.5 y 10 cm de profundidad.

Celis-Velazquez *et al.* (2008 b) observaron que la capacidad de emergencia entre los frijoles domesticados depende del cultivar y la profundidad de siembra, ya que cerca de 60% de un grupo de 48 cultivares mejorados no emergió de la siembra a 10 cm y, aunque entre ellos hubo semillas de biomasa baja y alta, la proporción mayor que no emergió tenía semilla con biomasa intermedia entre los extremos de todo el grupo (14.60 y 51.57 g 100 semillas⁻¹); así, en ese estudio no se observó un efecto de la biomasa de semilla en la capacidad de emergencia y coincide con nuestros resultados.

Además, de acuerdo con Vázquez de Aldana *et al.* (2011) la forma de las semillas, en contraste con la biomasa, fue la característica seminal de la que dependió la emergencia de las plántulas de 14 especies herbáceas sembradas en diferentes profundidades. Estos autores obtuvieron una correlación significativa negativa entre la diferencia del porcentaje de emergencia con la profundidad y el tamaño de la semilla, el coeficiente de correlación aumentó al considerar sólo las semillas de forma alargada y la correlación con el peso de las semillas no fue significativa. En relación con esto,

Time for total emergence

After the initial emergence phase, the emergence of wild bean cultivars increased quite rapidly (Figures 1-3). Higher emergence rates in the three types of beans were observed at 2.5 cm of depth (Figure 6).

A trend similar to partially fall in the rate of emergence due to the greater depth of planting of improved cultivars was observed in traditional cultivars and in the wild, but the effect was less pronounced in the latter (Figure 7) and in some cases, as in cultivars Mich. And Gto, the variants Chih and atypical Dur, planting depth 10 cm emergence rate favored with respect to that generated with 7.5 cm of depth (Figure 4 DF). Thus, the time for total emergence seeding at 2.5 and 5 cm depth was statistically similar among the 15 variants (with average values of 14.2 and 14.9 days, respectively).

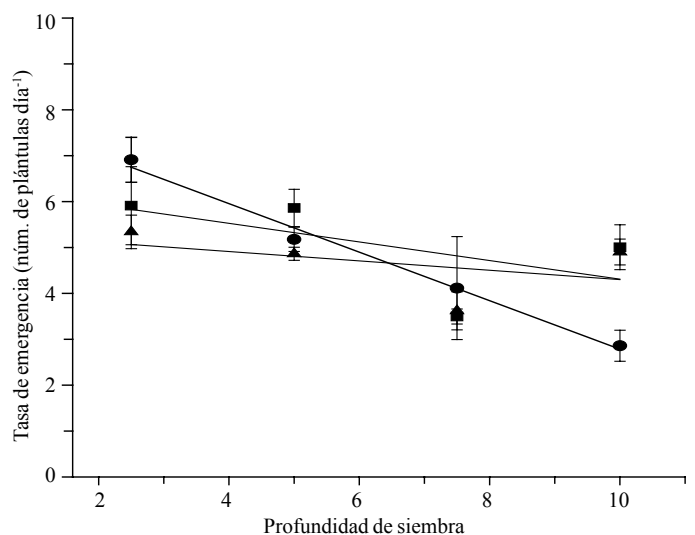


Figura 7. Efecto de la profundidad de siembra de frijol en la tasa de emergencia de cultivares mejorados (●), cultivares tradicionales (■) y variantes silvestres (▲).

Figura 7. Planting depth effect of beans on the emergence rate of improved cultivars (●), traditional cultivars (■) and wild varieties (▲).

Total emergence percentage

The percentage of the total emergence was remarkably similar within and between the groups with planting at 2.5 and 5 cm deep, overall and, in addition to these depths higher rates of emergence were achieved. Planting at 7.5 and 10 cm emergence negatively affected and therefore the rate of emergence of all the beans, though, the statistical differences

con la información de Peña-Valdivia *et al.* (2002) puede reconocerse que las semillas de los cultivares BM y Am son más anchas que largas (índices longitud/anchura igual a 1.54 y 1.67) y contrastan con las semillas silvestres Dur típico, Tlax típico, Dur atípico y Tlax atípico que tienden a ser igualmente largas que anchas (índices longitud/anchura entre 1.31 y 1.46).

Cabe destacar que se carece de alguna explicación de la relación fisiológica entre la forma de la semilla y la expresión del vigor seminal al incrementar la profundidad de siembra. Sin embargo, la imbibición máxima para la germinación de una semilla con diámetro o espesor mayor puede tomar más tiempo que una semilla con diámetro o espesor menor, aunque tengan masa similar, y esta reacción retarda la emergencia. En relación con esto, el espesor de las semillas silvestres de frijol es la mitad o menos (0.22 a 0.31 mm) que el de las semillas de los cultivares (0.45 a 0.53 mm) (Peña-Valdivia *et al.*, 2002).

Además, Soltani *et al.* (2006) señalaron que el retardo de la emergencia puede reducir la cantidad de plántulas que emergen, pues se incrementa la oportunidad de que la semilla y la plántula sean invadidas por patógenos del suelo. Algo similar pudo haber sucedido en el frijol sembrado a 10 cm de profundidad en el presente estudio, pues la tasa de emergencia y la emergencia total con la siembra a esta profundidad se redujo significativamente; pero, con efecto menor en los genotipos silvestres (Figura 5 D, F) que han mostrado tolerancia mayor a diversos factores ambientales respecto a los cultivares mejorados (Arroyo-Peña *et al.*, 2005; Dwivedi *et al.*, 2007; López *et al.*, 2001; Peña-Valdivia *et al.*, 1999, 2002, 2011; Sánchez-Urdaneta *et al.*, 2003).

Otros factores en el nivel del micro-ambiente, como las fluctuaciones de temperatura, afectan la emergencia de las semillas (Chauhan *et al.*, 2006). Al respecto, Peña-Valdivia *et al.* (2002) demostraron la reacción desigual a la temperatura de la imbibición y exposición de la raíz, en condiciones controladas de laboratorio, de cuatro genotipos de frijol silvestre y dos cultivares mejorados.

Conclusión

La profundidad de siembra no representó desventaja para la emergencia del frijol silvestre y parece independientemente del tamaño de semilla o lugar de origen.

between groups were detected only at 7.5 cm. Wild genotypes significantly increased the rate of emergence planted at 10 cm, compared to 7.5 cm, and the traditional cultivars Gto and Pue noted for its high emergence percentages with planting at 7.5 and 10 cm deep.

Celis-Velázquez *et al.* (2008 b) observed that, the ability of emergence between domesticated beans depends on the cultivar and the planting depth, and that about 60% of a group of 48 improved cultivars did not emerge from planting at 10 cm and, though among them were seeds of high and low biomass, the largest proportion did not emerged seed biomass between the extremes of the whole group (14.60 and 51.57 g 100 seeds⁻¹), so in this study we did not show an effect of biomass seed in emergence capacity consistent with our results.

Besides, according to Vázquez de Aldana *et al.* (2011) the shape of the seeds, in contrast to the biomass, was the seminal feature in which the emergence of 14 herbaceous seedlings planted depended in different depths. These authors found no significant correlation between the emergence percentage difference with depth and size of the seed, the correlation coefficient increased by considering only the seeds of elongate shape and the correlation with the weight of the seeds was not significant at all. In this connection, the information made by Peña-Valdivia *et al.* (2002) can be recognized that the seeds of the cultivars BM and Am are wider than longer (index length/width ratio equal to 1.54 and 1.67) and, in contrast with the seeds of typical Dur and typical Tlax and atypical Dur and atypical Tlax tend to be equally as long as wide (indexes length/width between 1.31 and 1.46).

It's noteworthy that there is no explanation of the physiological relationship between the seed's shape and the seminal force expression by increasing planting depth. However, the maximum imbibing seed germination with increased diameter or thickness can take longer than one seed with smaller diameter or thickness, although they have similar mass, and this delays the emergence reaction. In this connection, the thickness of wild bean seeds is half or less (0.22 to 0.31 mm) than that of seeds of the cultivars (0.45 to 0.53 mm) (Peña-Valdivia *et al.*, 2002).

Also, Soltani *et al.* (2006) noted that, the delay of emergence can reduce the number of seedlings that emerge, as it increases the chance that the seed and the seedling are being invaded by soil's pathogens. Something similar

Literatura citada

- Aguirre, R. J. R.; Peña-Valdivia, C. B. and Bayuelo-Jiménez, J. S. 2003. Morphology, phenology and agronomic traits of two wild Mexican common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) populations under cultivation. *South African Journal of Botany*. 69(3):410-421.
- Arroyo-Peña, B.; Peña-Valdivia, C. B. y Sánchez, U. A. B. 2005. Efecto del potencial de agua en la germinación de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado. *SABER, Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación. Suplemento*. 17:237-239.
- Asociación de Analistas Oficiales de Semillas (AOSA). 1993. Rules for testing seeds. *Journal of Seed Technology*. 16(3):1-113.
- Berrocal, I. S.; Ortíz, C. J. and Peña-Valdivia, C. B. 2002. Yield components, harvest index and leaf area efficiency of a sample of wild population and a domesticated variant of the common bean *Phaseolus vulgaris*. *South African Journal of Botany*. 68:205-211.
- Bitocchi, E.; Nanni, L.; Bellucci, E.; Rossi, M.; Giardini, A.; Spagnoletti, Z. P.; Logozzo, G.; Stougaard, J.; McClean, P.; Attene, G. and Papa, R.. 2012. Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 109(14):5148-5159.
- Celis-Velazquez, R.; Peña-Valdivia, C. B.; Trejo-López, C.; Aguirre, J. R.; Córdoba-Téllez, L. y Carballo-Carballo, A. 2008 a. Consumo de reservas de la semilla de frijol para la emergencia y desarrollo inicial en diferentes profundidades de siembra. *Agronomía Mesoamericana*. 19(2):167-177.
- Celis-Velazquez, R.; Peña-Valdivia, C. B.; Luna, C. M.; Aguirre, R. J. R.; Carballo, A. y Trejo, C. 2008 b. Variabilidad morfológica seminal y del vigor inicial de germoplasma mejorado de frijol. *Agronomía Mesoamericana*. 19(2):179-193.
- Celis-Velazquez, R.; Peña-Valdivia, C. B.; Luna, C. M. y Aguirre, R. J. R. 2010. Caracterización morfológica de las semillas y consumo de reservas durante la emergencia de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. 27:61-87.
- Chauhan, B. S.; Gill, G. and Preston, C. 2006. Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of rigid ryegrass (*Lolium rigidum*). *Weed Science*. 54:1004-1012.
- may have happened in the beans planted at 10 cm depth in the present study, considering that the rate of emergence and the total emergence by planting at this depth was significantly reduced; however, with less effect on wild genotypes (Figure 5 D, F) that have shown greater tolerance to environmental factors regarding the improved cultivars (Peña-Valdivia *et al.*, 1999, 2002, 2011; López *et al.*, 2001; Sánchez-Urdaneta *et al.*, 2003; Arroyo-Peña *et al.*, 2005; Dwivedi *et al.*, 2007).
- Other factors in the micro-level environment such as the temperature fluctuations affected the seed's emergence (Chauhan *et al.*, 2006). In this regard, Peña-Valdivia *et al.* (2002) demonstrated that, the unequal reaction temperature imbibition and root exposure in controlled laboratory conditions of four wild bean genotypes and two improved cultivars.

Conclusion

Planting depth did not represent a disadvantage for the emergence of wild beans and appears independent of the seed size or place of origin.

End of the English version



- Debain, S.; Curt, T. and Lepar, J. 2003. Seed mass, seed dispersal capacity, and seedling performance in *Pinus sylvestris* population. *Ecoscience*. 10:168-175.
- Dwivedi, S. L.; Upadhyaya, H. D.; Stalker, H. T.; Blair, M. W.; Bertoli, D.; Nielen, S. and Ortiz, R. 2007. Enhancing crop gene pools of cereals and legumes with beneficial traits using wild relatives. *Plant Breeding Reviews, Volume 30*. 484 p.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 90 p.
- García, H. E.; Peña-Valdivia, C. B.; Aguirre, R. J. R. and Muruaga, J. S. 1997. Morphological and agronomic traits of a wild population and an improved cultivar of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Annals of Botany*. 79:207-213.
- Grime, J. P. 2001. *Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties*. Wiley & Sons Ltd. UK. 456 p.

- Lamour, A. and Lotz, P. L. A. 2007. The importance of tillage depth in relation to seedling emergence in stale seed beds. *Ecological Modelling*. 201:536-546.
- Leishman, M. R. 2001. Does the seed size/number trade-off model determine plant community structure? An assessment of the model mechanisms and their generality. *Oikos*. 93:294-302.
- López, H. M.; Peña-Valdivia, C. B.; Aguirre, R. J. R.; Trejo, L. C. y Muruaga, M. J. 1999. Efectos de la escarificación mecánica en la germinación de *Phaseolus vulgaris* L. silvestre y domesticado. *Quaderni di Botanica Ambientale e Applicata*. 7:93-98.
- López, H. M.; Peña-Valdivia, C. B.; Aguirre, R. J. R. and Trejo, L. C. 2001. Differences in seed germination of wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in response to storage. *South African J. Bot.* 67:620-628.
- López, H. M.; Peña-Valdivia, C. B.; Aguirre, R. J. R.; Trejo, L. C. y López, E. A. L. 2007. Estudio comparativo de intercambio gaseoso y parámetros fotosintéticos en dos tipos de hojas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado. *Revista Científica UDO Agrícola*. 7(1):1-9.
- Parker, W. C.; Noland, T. L. and Morneau, A. E. 2004. Effect of seed mass of five eastern white pine (*Pinus strobus* L.) families under contrasting light environments. *Can. J. Bot.* 82:1645-1654.
- Peña-Valdivia, C. B.; García, H. E. del R.; Bernal-Lugo, I. and Aguirre, R. J. R. 1999. Seed quality of wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) after storage. *Interciencia*. 24(1):8-13 y 79-80.
- Peña-Valdivia, C. B.; García, N. R.; Aguirre, R. J. R. and Trejo, L. C. 2002. The effects of high temperature on dormancy and hypocotyl-root growth of wild common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Seed Sci. Technol.* 30(2):231-248.
- Peña-Valdivia, C. B.; García, N. J. R.; Aguirre, R. J. R.; Ybarra-Moncada, Ma. C. and López, H. M. 2011. Variation in physical and chemical characteristics of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grain along a domestication gradient. *Chem. & Biod.* 8(12):2211-2225.
- Sánchez-Rodríguez, G.; Manríquez-Núñez, J. A.; Martínez-Mendoza, F. A. y López-Ibarra, L. A. 2001. El frijol en México competitividad y oportunidades de desarrollo. *Boletín informativo FIRA*, Número 36, Volumen XXXIII, México. 85 p.
- Sánchez-Urdaneta, A. B.; Peña-Valdivia, C. B.; Trejo, J. R. C.; Aguirre, R.; Cárdenas, E. y Galicia, J. A. 2003. Permeabilidad de las membranas radicales de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado bajo déficit de humedad. *Interciencia*. 28(10):597-603.
- Simons, A. M. and Johnston, M. O. 2000. Variation in seed traits of *Lobelia inflata* (Campanulaceae): sources and fitness consequences. *Am. J. Bot.* 87:124-132.
- Soltani, A.; Robertson, M. J.; Torabi, B.; Yousefi-Daz, M. and Sarparast, R. 2006. Modelling seedling emergence chickpea as influences by temperature and sowing depth. *Agric. Forest Meteorol.* 138:156-167.
- Toro, O.; Thome, J. and Debouck, D. G. 1990. Wild bean (*Phaseolus vulgaris* L.): description and distribution. IBPER and CIAT, Cali, Colombia.
- Vázquez de Aldana, B. R.; García-Ciudad, A.; Álvarez, P. A. y García-Criado, B. 2011. Efecto de la profundidad de siembra en la emergencia de especies pratenses. *In: Pastos paisajes culturales entre tradición y nuevos paradigmas del siglo XXI*. López, C. C.; Rodríguez, R. M. P.; San Miguel, A. A. y Roig, G. S. (Eds.), SEEP, Toledo, España. 375-381 pp.
- Wang, R.; Bai, Y.; Low, N. H. and Tanino, K. 2006. Seed size variation in cold and freezing tolerance during seed germination of waterfall (*Krascheninnikovia lanata*) (Chenopodiaceae). *Can. J. Bot.* 84:49:59.
- Welbaum, G. E.; Bradford, K. J.; Yim, K. O.; Booth, D. T. y Oluouch, M. O. 1998. Biophysical, physiological and biochemical processes regulating seed germination. *Seed Sci. Res.* 8:161-172.