

CONSUMO DE RESERVAS DE LA SEMILLA DE FRIJOL PARA LA EMERGENCIA Y DESARROLLO INICIAL EN DIFERENTES PROFUNDIDADES DE SIEMBRA¹

Raquel Celis-Velázquez², Cecilia Beatriz Peña-Valdivia², Carlos Trejo-López², Juan Rogelio Aguirre-Rivera³,
Leobigildo Cordova-Téllez², Aquiles Carballo-Carballo²

RESUMEN

Consumo de reservas de la semilla de frijol para la emergencia y desarrollo inicial en diferentes profundidades de siembra. El objetivo del presente trabajo fue conocer la eficiencia del uso de reservas de las semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) durante la emergencia y desarrollo inicial de la plántula. Para ello, se utilizaron seis cultivares tradicionales (criollos) de frijol y seis mejorados, de las razas Durango y Jalisco, y se sembraron en tres profundidades (3, 6 y 9 cm), entre abril y agosto de 2006, en Montecillo, Texcoco, México. Las variables fisiológicas: velocidad de emergencia, materia seca acumulada en las hojas e hipocótilo, diámetro del hipocótilo, área foliar, altura de plántula y reservas de los cotiledones consumidas durante el crecimiento de la plántula fueron evaluados 10, 15 y 22 días después de la siembra (DDS). En los cultivares mejorados las diferencias en el consumo de reservas variaron más en la siembra a 3 cm (50 y 89 %). Entre los cultivares tradicionales el consumo de reservas seminales en las tres profundidades fue notablemente homogéneo (83 y 92 %). Los resultados indican que, independientemente de la profundidad de siembra, cultivar, raza y tamaño de semilla, las reservas seminales de frijol son destinadas principalmente al crecimiento del hipocótilo, expresado como acumulación de biomasa, y al crecimiento longitudinal de la plántula.

Palabras clave: Cotiledones, hipocótilo, área foliar, hojas, materia seca.

ABSTRACT

Consumption of common bean seed reserves for emergence and development of seedlings under different sowing depths. The aim of this work was to assess the efficiency with which common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed reserves are used during seedling emergence and initial development. Six landrace and six improved, Durango and Jalisco races, common bean cultivars were used, and seeded at three depths (3, 6 and 9 cm), during April and August of 2006, in Montecillo, Texcoco, México. The variables evaluated were the speed of emergence, dry matter in leaf and hypocotyl accumulation, diameter of hypocotyl, leaf area, height of seedlings and cotyledon reserves used during seedling growth at ten, 15 and 22 days after sowing (DDS). Differences in reserves use among improved cultivars were more evident at 3 cm deep sowing and fluctuated between 50 and 89%. Consumption of seminal reserves at the three sowing depths was homogenous between landraces, with minimum and maximum consumption of 83 and 92% respectively. The results indicate that, independently of the depth of sowing, cultivar, race, seed size or seminal size of seed reserves in common bean, the seed reserves are destined mainly to the growth of hypocotyl, expressed like biomass accumulation, and to seedling height growth.

Key words: Cotyledon, hypocotyl, leaf area, leaves, dray mater.



¹ Recibido: 9 de octubre, 2007. Aceptado: 25 de agosto, 2008.

² Recursos Genéticos y Productividad, y Botánica. Colegio de Posgraduados. Carretera México-Texcoco km 35.5, Montecillo, Estado de México. 56230. raquelcv@colpos.mx; cecilia@colpos.mx

³ Instituto de Investigaciones en Zonas Áridas, Universidad Autónoma de San Luís Potosí. Altaír 200. Col. del Llano. San Luís Potosí, S.L.P. México 78377. iizd@uaslp.mx

INTRODUCCIÓN

Los fotoasimilados son distribuidos desde las zonas de almacenamiento (parénquimas reservorios) a todos los órganos de la planta, donde son necesarios para el metabolismo y crecimiento (Guardiola y Amparo 1993). Cuando las reservas del endospermo son consumidas, la plántula depende de su propia capacidad para generar asimilados, producir área foliar y continuar su crecimiento. Tres semanas después de la emergencia las diferencias en la producción de asimilados se reflejan en el tamaño del área foliar, color y apariencia y, en general, actividad fisiológica de la plántula (Revilla *et al.* 1999). El éxito en la siembra es determinado en gran parte por las características fisiológicas y bioquímicas de la semilla, su reacción al ambiente y la rapidez con la que utilice sus reservas para iniciar y sostener el crecimiento de la plántula en las primeras etapas del desarrollo, antes de que sea un organismo autotrófico, capaz de utilizar la energía solar (Soltani *et al.* 2006). La identificación de cultivares que después de la siembra se establezcan y desarrollen rápidamente, permitirá asegurar que el cultivo compita exitosamente contra arvenses y evite algunos factores climáticos adversos como falta de humedad (Lamour y Lotz 2007, Revilla *et al.* 1999).

El frijol después de la emergencia tarda varias semanas en desarrollar un dosel suficiente para evitar el establecimiento de las arvenses, que en contraste, regularmente son más rápidas en el desarrollo del follaje. Se ha señalado que la emergencia y establecimiento pobre de los cultivos es un problema común que podría resolverse, al menos parcialmente, con la identificación de cultivares con alto vigor de emergencia (Nabi *et al.* 2001). La caracterización fisiológica de la emergencia y establecimiento de la planta en dependencia de la profundidad de siembra podría permitir reconocer variabilidad entre cultivares de frijol en caracteres como la velocidad de crecimiento de la plántula, exposición y desarrollo del follaje, etc.

Los antecedentes sobre cambios fisiológicos del frijol durante la emergencia son escasos, aunque existe información del efecto de la temperatura (Peña-Valdivia *et al.* 2002) y el potencial de agua en la germinación y crecimiento inicial de la plántula (Sánchez-Urdaneta *et al.* 2003) en condiciones de laboratorio. El objetivo del presente estudio fue conocer la eficiencia

del uso de reservas seminales en cultivares tradicionales y en cultivares mejorados, para zonas de México, y su relación con la emergencia y el desarrollo inicial de la planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en invernadero del Área de Botánica del Colegio de Posgraduados en Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México, entre abril y agosto de 2006. Se utilizaron 12 variedades de frijol, seis tradicionales (criollas) y seis mejoradas fitogenéticamente para zonas o condiciones específicas de producción (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural 1998). Cada grupo incluyó tres variedades de la raza Durango y tres de la Jalisco, todos fueron multiplicados en condiciones de secano en el Campo Experimental del Valle de México del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (CEVAMEX-INIFAP) (Cuadro 1). En 100 semillas de cada cultivar se determinó el peso original de los cotiledones (hojas cotiledonares), después de eliminar la testa y el eje embrionario. Las semillas se sembraron a 3, 6 y 9 centímetros de profundidad, en semilleros de madera de 1,0 x 2,5 m, con arena esterilizada como sustrato. Así, se generaron 36 tratamientos. La parcela útil por semillero estuvo formada por 10 surcos de 0,90 m de longitud, con una distancia de 3,5 cm entre surcos y 0,5 cm entre semillas. Se aplicó un riego a saturación antes de la siembra y después, se aplicó riego cada tercer día. Se cuantificaron los días para la emergencia (momento en el que las hojas cotiledonares, se encontraron por encima de la superficie del suelo). Para conocer la distribución de biomasa en las estructuras de las plántulas durante su desarrollo, 10, 15 y 22 días después de la siembra (DDS) se muestrearon 25 plántulas por tratamiento. De las plántulas de esta muestra se recolectaron las hojas cotiledonares, simples y trifolioladas (en caso de que estuvieran presentes) e hipocotilo; también se determinó el diámetro y longitud del hipocotilo, el área foliar y altura de las plántulas. Los órganos separados se secaron en un horno a 75 °C, durante 72 h, para determinar su biomasa. Las longitudes y diámetros se determinaron con un pie de rey, con vernier digital y escala de 1±0,05 mm. El diámetro del hipocotilo se midió a 0,5 cm por encima de la raíz, la longitud de la raíz se tomó desde su ápice

hasta el sitio de unión de los cotiledones. El área foliar se calculó con la metodología descrita por Navarro (1996).

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con 36 tratamientos (12 cultivares por tres profundidades) y seis unidades experimentales o repeticiones, cada una constituida por 25 semillas. A los datos se les realizó el análisis de varianza y comparación múltiple de medias, mediante la prueba de Tukey al 0,05, con el paquete estadístico SAS; la representación gráfica de los datos se realizó con el programa SigmaPlot de Jandel Scientific (versión 9).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Emergencia

Las mayores diferencias en el tiempo para la emergencia entre tratamientos y dentro del grupo de los cultivares mejorados se dio con la siembra a tres centímetros de profundidad. En general, los cultivares

más tardíos para la emergencia fueron los mejorados, pues Bayo Zacatecas, Flor de Mayo M38 y Flor de Junio Marcela emplearon de 12 a 13 días. En esta profundidad, las variedades tradicionales fueron las más precoces a la emergencia, de ellos el cv. Durango 222 empleó sólo ocho días. Además, entre los mejorados el cv. Bayo Zacatecas (raza Durango) y Flor de Mayo M38 (raza Jalisco), con las semillas más pesadas y unas de las más ligeras, respectivamente, emplearon el mismo tiempo para la emergencia (12 días); similarmente, los cultivares tradicionales de ambas razas con peso entre 24,45 y 42,21 emergieron en ocho o nueve días. Así, la mayor diferencia en el tiempo de emergencia a 3 cm de profundidad entre los dos tipos de cultivares alcanzó cinco días y fue independiente del tamaño de semilla o raza del cultivar a esta profundidad (Cuadro 1).

En general, el tiempo para la emergencia se incrementó con la profundidad de siembra; así, el tiempo medio para la emergencia (13 y 14 días) fue mayor a los 9 cm en ambos grupos, fue similar entre las variedades mejoradas y continuó sin cambio entre las criollas. En promedio, en las tres profundidades

Cuadro 1. Peso de semilla y tiempo para la emergencia de doce cultivares de frijol (raza Durango, D, o Jalisco, J) sembrados en tres profundidades. Montecillo, Texcoco, México. 2006.

Cultivares	Peso de 100 semillas (g)	Días a emergencia		
		3 cm	6 cm	9 cm
Mejorados¹				
Bayo Zacatecas (D)	48,31 a ³	12 b	13 a	14 a
Flor de Mayo Sol (J)	27,71 g-h	9 c	11 b	13 b
Flor de Mayo M38 (J)	28,09 g	12 b	11 b	14 a
Flor de Junio Marcela (J)	30,46 f	13 a	13 a	14 a
Pinto Mestizo (D)	36,77 c-d	9 c	13 a	14 a
Pinto Villa (D)	35,68 d	9 c	11 b	13 b
Criollos				
Durango 222 (D)	42,21 b	8 d	11 b	13 b
Hidalgo 84 (J)	25,84 i	9 c	11 b	13 b
Negro 150 ² (J)	27,80 hi	9 c	11 b	13 b
Ojo de Cabra Santa Rita (D)	38,26 c	9 c	9 c	14 a
Tlaxcala 62 (J)	33,05 e	9 c	11 b	14 a
Zacatecas 96168 (D)	32,05 ef	9 c	11 b	13 b

¹ Los seis cultivares mejorados fueron derivados por hibridación y selección.

² Fue liberado como cultivar mejorado derivado de un cultivar tradicional.

³ Valores seguidos por la(s) misma(s) letra(s) son estadísticamente similares, según la prueba de Tukey (P=0,05).

evaluadas, los cultivares tradicionales emergieron uno o dos días antes que el grupo de los mejorados, pero en ningún caso se encontró relación entre el tiempo para la emergencia y el tamaño de la semilla o la raza del cultivar (Cuadro 1).

Los cultivares actuales, tradicionales y mejorados de frijol, poseen características deseables, como el tamaño de semilla, y la homogeneidad en la velocidad de la emergencia, que determinan la calidad requerida por los agricultores y consumidores; sin embargo, los cultivares tradicionales pueden mostrar todavía gran variabilidad en algunas características fenotípicas, morfológicas y agronómicas debido a que aún pueden presentar rasgos de sus antecesores silvestres (Peña-Valdivia y Aguirre 2007, Kaplan 1981). En contraste, en el presente estudio los cultivares tradicionales mostraron mayor homogeneidad que los mejorados (Cuadro 1), lo cual indicaría que para los campesinos la precocidad de emergencia es un atributo deseable.

Por otro lado, la emergencia de la plántula puede ser modificada por la profundidad de siembra. Al respecto, se demostró que la siembra de semillas de trigo a 6 cm de profundidad benefició la emergencia temprana de las plántulas, respecto a la siembra a 3, 9 y 12 cm (Mahadi *et al.* 1998); aunque, otros factores, como la temperatura, humedad y formación de la costra en la superficie del suelo pueden alterar el efecto de la profundidad de siembra (Dorsainvil *et al.* 2005).

Diámetro del hipocotilo

Salvo tres cultivares mejorados que alcanzaron el mayor diámetro del hipocotilo 10 DDS, esta variable alcanzó el máximo 15 DDS y en general, después disminuyó ligera pero significativamente, en todos los cultivares sembrados en las tres profundidades. Esta disminución fue más notable en las plantas provenientes de la siembra a 9 cm. Con la profundidad de siembra se incrementó significativamente el diámetro medio del hipocotilo, de 3,64 mm, en las plantas de los cultivares mejorados sembrados a 3 cm, hasta 4,42 mm, en las provenientes de 9 cm; similarmente, en los cultivares tradicionales el incremento medio registrado fue de 3,49 a 4,27 mm. Así, puede decirse que el crecimiento radial del hipocotilo fue estadísticamente

similar entre los dos grupos de cultivares y el efecto de la profundidad de siembra fue igual en ambos e independiente de la raza (Figura 1).

El desarrollo de los órganos del vástago de las plántulas, en dependencia de la profundidad de siembra, ha sido analizado en diferentes especies. Rodrigues *et al.* (2005) señalaron que los tallos son los órganos de la planta menos dependientes del tamaño de la semilla pero Kirby (1993) encontró que al incre-

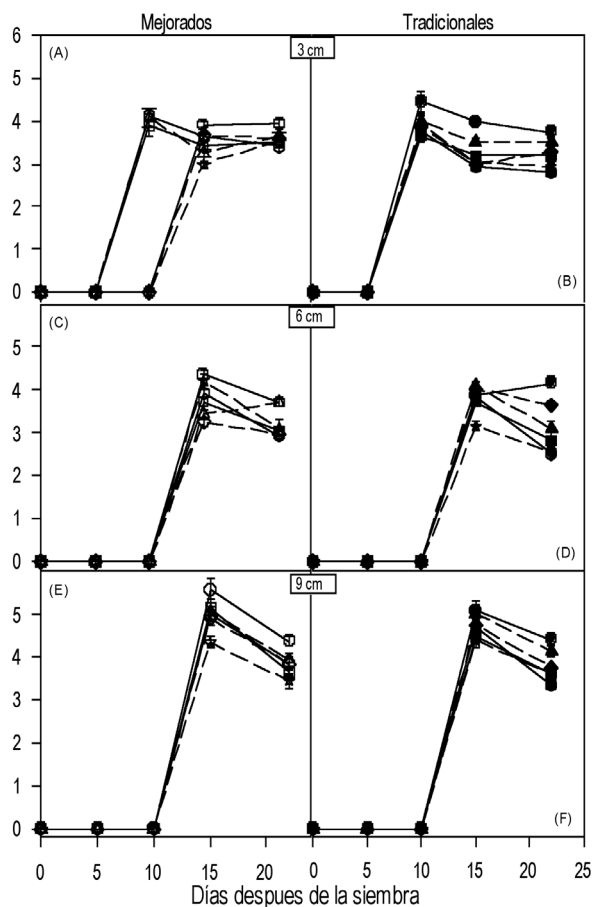


Figura 1. Diámetro del hipocotilo de plántulas de frijol (○Bayo Zacatecas, △Pinto Mestizo, □Pinto Villa, ●Flor de Mayo Sol, ◇Flor de Junio Marcela, ☆Flor de Mayo M38, ●Durango 222, ▲Ojo de Cabra Santa Rita, ■Tlaxcala 62, ◆Zacatecas 96168, ●Negro 150 e ★Hidalgo 84). Semilla sembrada a 3, 6 y 9 cm de profundidad. Montecillo, Texcoco, México. 2006.

mentar la profundidad de siembra del trigo y cebada el coleoptilo se perjudica, debido a que le es imposible emerger, y con esto se reduce el desarrollo de la planta completa y su rendimiento. Diversos autores han señalado que las semillas de tamaño mayor tienen ventaja en la emergencia, sobre las semillas pequeñas. Soltani *et al.* (2006) indicaron que las semillas grandes generan más biomasa al comienzo del ciclo de crecimiento; aunque, este efecto puede perderse después de la etapa reproductiva. Otros factores ajenos a la semilla también tienen efecto en la emergencia. Al respecto, Ross y Lembi (1999) señalaron que durante los primeros estados de desarrollo los cultivos son más vulnerables a la presencia de arvenses, por su menor capacidad para competir por agua, nutrientes y luz; por ello, si un cultivo comienza su desarrollo con una tasa de crecimiento alta y formación del dosel vegetal denso puede competir mejor con las arvenses después de la siembra, y presentar menores pérdidas de rendimiento.

Biomasa del hipocotilo

La acumulación de biomasa en el hipocotilo mostró diferencias significativas entre tratamientos y dentro de los dos tipos de cultivares y como reacción a la profundidad de siembra, la acumulación de la biomasa careció de tendencias entre cultivares, ya que en algunos la biomasa incrementó continuamente después de los cinco y hasta los 22 DDS, en otros la acumulación máxima se presentó entre los diez y 15 DDS, y luego se mantuvo sin cambio o decayó. Esa tendencia fue independiente del tipo de cultivar (mejorado o criollo) y de la profundidad de siembra (Figura 2). Sin embargo, sobresalió el hecho de que a los 22 DDS, la acumulación media de la biomasa total en el grupo de los cultivares mejorados tendió a incrementar con la profundidad de siembra, de 78,3 mg en la siembra a 3 cm hasta 86,4 y 83,4 mg en las plantas provenientes de la siembra a 6 y 9 cm (Figura 2 A, C y E); en contraste, en el grupo de los cultivares tradicionales la biomasa media total acumulada (a los 22 DDS) fue estadísticamente similar (77 y 79 mg) en las plantas generadas con la siembra a 3 cm y 9 cm (79 mg), y sólo se incrementó (96 mg) con la siembra a 6 cm de profundidad (Figura 2 B, D y F).

Sobresalió el hecho de que los cambios en biomasa acumulada en el tiempo mostraron patrones

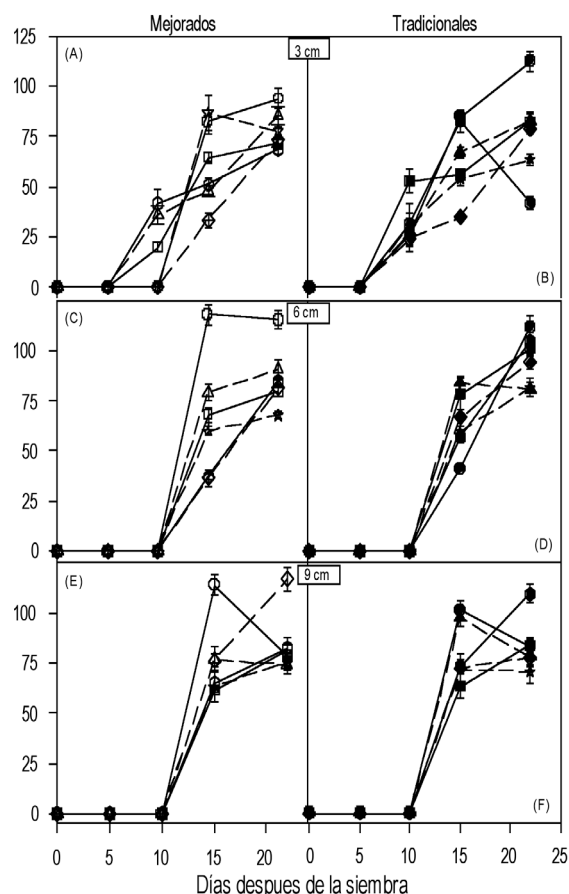


Figura 2. Biomasa del hipocotilo de plántulas de frijol (○ Bayo Zacatecas, △ Pinto Mestizo, □ Pinto Villa, ▤, ● Flor de Mayo Sol, ◇ Flor de Junio Marcela, ☆ Flor de Mayo M38, ● Durango 222, ▲ Ojo de Cabra Santa Rita, ■ Tlaxcala 62; ◆ Zacatecas 96168, ● Negro 150 e ★ Hidalgo 84). Semilla sembrada a 3, 6 y 9 cm de profundidad. Montecillo, Texcoco, México. 2006.

diferentes a los del crecimiento radial del hipocotilo, con excepción de algunos cultivares en alguna de las profundidades (Figuras 1 y 2). Lo anterior podría indicar que el hipocotilo recién formado (10-15 DDS) es un tejido “suculento” y alcanza su máximo diámetro por estar totalmente hidratado; y que después, con la síntesis y acumulación de lignina y celulosa en las paredes celulares, el tejido adquiere firmeza, rigidez y resistencia mecánica, y disminuye su contenido de humedad, y el diámetro se reduce, aunque la

acumulación de materia seca continúa (García y Peña-Valdivia 1995).

Área foliar

La exposición de los folíolos estuvo relacionada con el tiempo de emergencia de las plantas. Así, la mayoría de los cultivares mejorados y todos los tradicionales sembrados a 3 cm de profundidad iniciaron el desarrollo de las hojas alrededor de los 10 DDS, y cerca de los 15 DDS cuando la siembra se realizó a 6 y 9 cm. La máxima área foliar alcanzada (22 DDS) presentó diferencias estadísticas entre los cultivares de ambos grupos con cierta dependencia del tamaño de semilla, raza del cultivar y profundidad de siembra. Al respecto, se observó que entre los mejorados el cv. Bayo Zacatecas (raza Durango), con las semillas más pesadas (48,31 g/100 semillas) de este grupo, alcanzó las mayores áreas foliares (43,3, 35,6 y 19,3 cm²) en las tres profundidades de siembra (3, 6 y 9 cm, respectivamente), mientras que Flor de Mayo M38, uno de los cultivares mejorados (raza Jalisco) con semilla pequeña (28,93 g/100 semillas) tuvo algunas de las menores áreas foliares (30,4, 25,1 y 10,0 cm²). Esta tendencia fue similar en el grupo de los cultivares tradicionales, pues el cv. Durango 222, con las semillas de mayor peso (40,10 g/100 semillas), desarrolló las mayores áreas foliares por planta (45,2, 38,8 y 24,2 cm²), y en contraste con el cultivar Negro 150, de la raza Jalisco, con semillas ligeras (27,80 g/100 semillas), que alcanzó algunas de las menores áreas foliares (34,1, 30,0 y 13,6 cm²) a los 20 DDS en las tres profundidades (Figura 3).

Estos resultados demuestran que el tamaño de la semilla y la profundidad de siembra sí son factores de los que depende el área foliar, en las primeras tres semanas de vida de la planta, y su relación con estos factores es directa y opuesta, respectivamente. En un estudio sobre los efectos del tamaño de semilla en el crecimiento y rendimiento de frijol, Rodrigues *et al.* (2005) observaron que las semillas grandes generaron más área foliar, raíces más grandes y mayor biomasa total a los 19 y 47 días después de la emergencia; los mismos autores, también observaron que las plantas provenientes de semillas pequeñas presentaron tasas

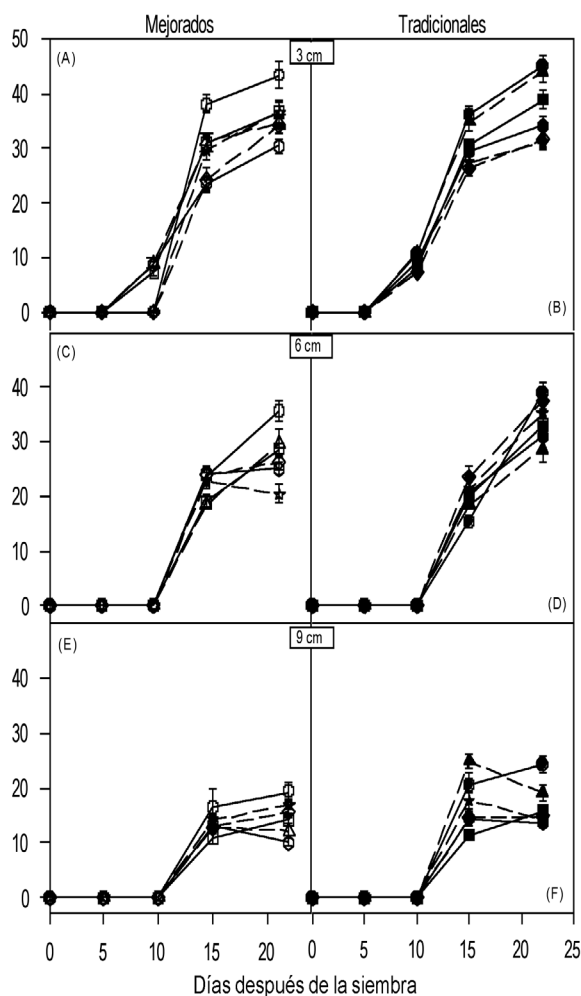


Figura 3. Área foliar de plántulas de frijol (○ Bayo Zacatecas, △ Pinto Mestizo, □ Pinto Villa, • Flor de Mayo Sol, ◇ Flor de Junio Marcela, ☆ Flor de Mayo M38, ● Durango 222, ▲ Ojo de Cabra Santa Rita, ■ Tlaxcala 62; ◆ Zacatecas 96168, ● Negro 150 e ★ Hidalgo 84). Semilla sembrada a 3, 6 y 9 cm de profundidad. Montecillo, Texcoco, México. 2006.

relativas de crecimiento y asimilación neta de CO₂ superiores, debido a su actividad fotosintética mayor y menor respiración, lo cual asociaron al menor sombreado por su reducido índice de área foliar y reducida biomasa del tallo.

Biomasa foliar

La biomasa acumulada en las hojas incrementó casi linealmente desde los primeros días de su exposición en las plantas originadas de la siembra a 3 cm de profundidad, independientemente del grupo al que pertenecían y de la raza (Figura 4 A y B). La biomasa acumulada con esta profundidad de siembra mostró diferencias significativas entre los cultivares, las que fueron ampliándose con el crecimiento de las plantas.

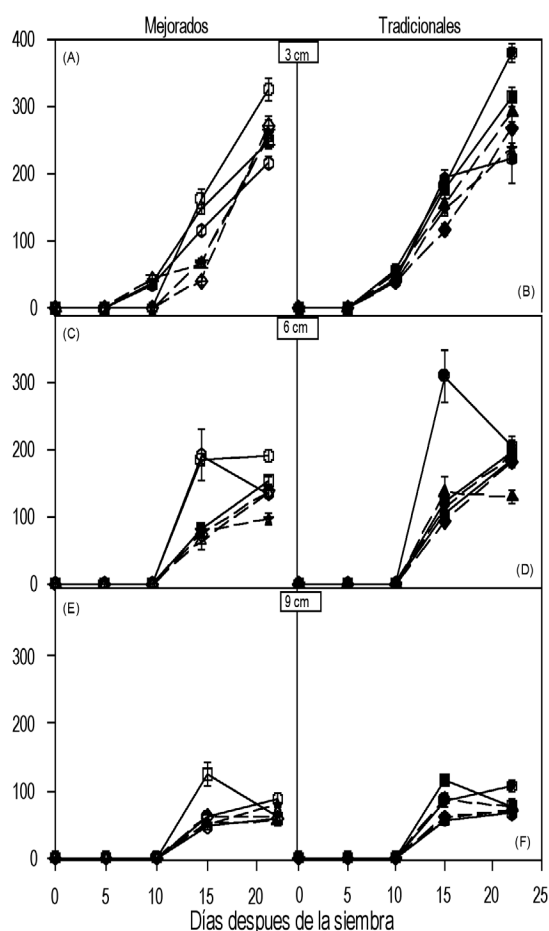


Figura 4. Biomasa foliar de plántulas de frijol (○ Bayo Zacatecas, △ Pinto Mestizo, □ Pinto Villa, ● Flor de Mayo Sol, ◇ Flor de Junio Marcela, ☆ Flor de Mayo M38, ● Durango 222, ▲ Ojo de Cabra Santa Rita, ■ Tlaxcala 62; ◆ Zacatecas 96168, ● Negro 150 e ★ Hidalgo 84). Semilla sembrada a 3, 6 y 9 cm de profundidad. Montecillo, Texcoco, México. 2006.

Tanto el incremento total de la biomasa foliar como las diferencias entre cultivares fueron menores con la siembra a 6 y 9 cm (Figura 4 C, D, E y F). Esta disminución de la biomasa foliar fue del 46 y 75 % en el grupo de los cultivares mejorados; mientras que, en el grupo de los cultivares tradicionales la disminución alcanzó 37 y 73 % en la siembra a 6 y 9 cm de profundidad, con respecto a la siembra a 3 cm (Figura 4).

Altura de la planta

La altura de las plantas se incrementó exponencialmente a partir de la emergencia y todos los cultivares mostraron crecimiento exponencial, el valor máximo de 22 DDS, independientemente del tipo de cultivar, raza y profundidad de siembra. La altura media de las plantas del grupo de los cultivares mejorados en las tres profundidades fluctuó entre los 15,29 y 17,26 cm, y la del grupo de los criollos entre 16,59 y 18,01 cm; en ambos grupos fue notablemente homogénea la altura máxima alcanzada (Figura 5). Cabría esperar que las diferencias en altura se relacionaran directamente con el desarrollo del área foliar, pues Ross y Lembi (1999) señalaron que las primeras plantas que emergen disponen mejor del agua, nutrientes y luz. Estas plantas precoces tienen ventaja en el uso y disponibilidad de los recursos para el crecimiento, y frecuentemente afectan negativamente el crecimiento de las que se desarrollan después. Sin embargo, en los cultivares de frijol evaluados la altura de las plantas fue notablemente homogénea y sin relación clara con el crecimiento de las hojas (Figuras 3, 4 y 5). Los resultados del presente estudio contrastan con los obtenidos por Cordazzo (2002), quien determinó que las semillas de mayor tamaño generaron plantas más grandes.

Consumo de reservas

La proporción de reservas seminales consumidas durante la emergencia y crecimiento de la plántula, se determinó por diferencia del peso original del par de cotiledones menos el de los separados de la planta. Debe señalarse que, 10 DDS sólo habían emergido algunos cultivares por lo que sólo se tuvo el peso de los cotiledones de algunos tratamientos; similarmente, 22 DDS éstos se habían separado de la planta, debido al proceso natural de abscisión de estos órganos, por lo

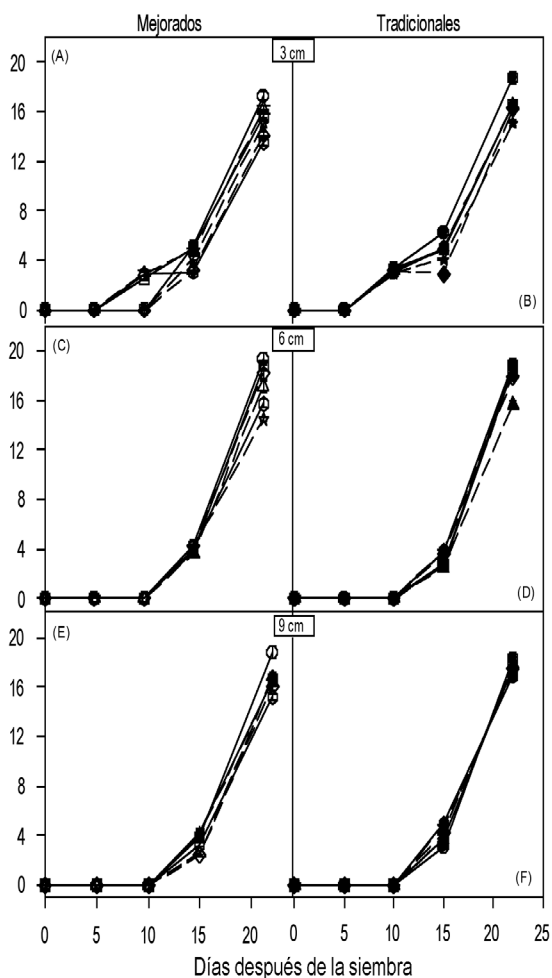


Figura 5. Altura (cm) de plántulas de frijol (○ Bayo Zacatecas, △ Pinto Mestizo, □ Pinto Villa, ● Flor de Mayo Sol, ◇ Flor de Junio Marcela, ☆ Flor de Mayo M38, ● Durango 222, ▲ Ojo de Cabra Santa Rita, ■ Tlaxcala 62; ◆ Zacatecas 96168, ● Negro 150 e ★ Hidalgo 84). Semilla sembrada a 3, 6 y 9 cm de profundidad. Montecillo, Texcoco, México. 2006.

que en la mayoría de los tratamientos no fueron recolectados. Por lo anterior, a continuación se presentan los resultados obtenidos únicamente a los 15 DDS, en las tres profundidades de siembra (Figura 6).

Los cultivares mejorados mostraron diferencias significativas en el consumo de reservas seminales, en las tres profundidades a los 15 DDS (Figura 6 A); en contraste, el consumo de las reservas en los cultivares

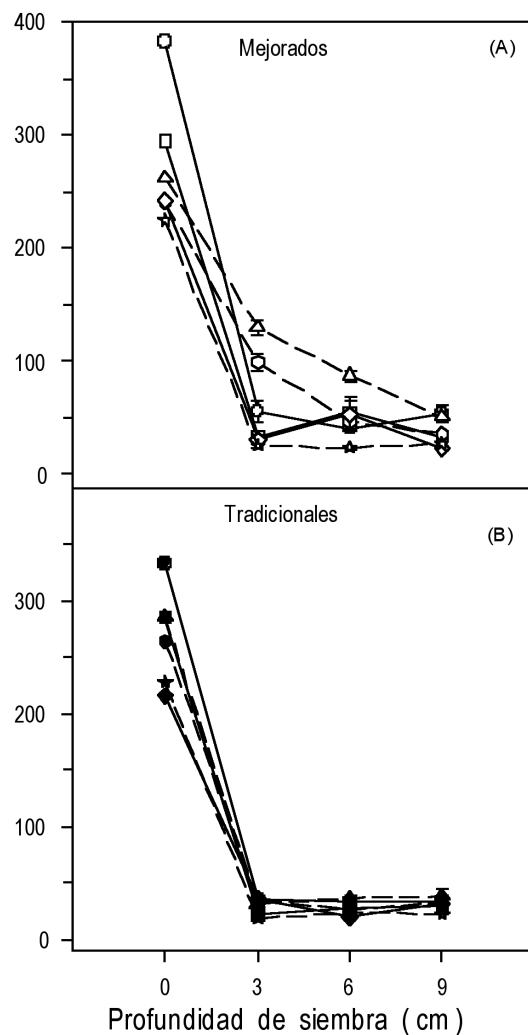


Figura 6. Peso (mg) de los cotiledones en 15 días después de la siembra, de semillas de frijol (○ Bayo Zacatecas, △ Pinto Mestizo, □ Pinto Villa, ● Flor de Mayo Sol, ◇ Flor de Junio Marcela, ☆ Flor de Mayo M38, ● Durango 222, ▲ Ojo de Cabra Santa Rita, ■ Tlaxcala 62; ◆ Zacatecas 96168, ● Negro 150 e ★ Hidalgo 84). Semilla sembrada a 3, 6 y 9 cm de profundidad. Montecillo, Texcoco, México. 2006.

criollos mostró una notable homogeneidad entre ellos y entre las profundidades de siembra (Figura 6 B).

Entre los cultivares mejorados, las diferencias en el consumo de reservas fueron notables en la siembra a 3 cm de profundidad y se redujeron con la profundidad

de siembra. La proporción de reservas consumidas por los cultivares de este grupo varió ampliamente, desde 50 hasta 89 % con la siembra a 3 cm, entre 67 y 90 % a 6 cm y entre 81 y 90 % a 9 cm. En este caso, el cv. Pinto Mestizo, de la raza Durango, con los cotiledones de mayor peso en el grupo de los mejorados (383 mg por par de cotiledones), consumió significativamente menos reservas (50,42, 66,66 y 80,61 % del peso original, a 3, 6 y 9 cm, respectivamente), que los otros cinco cultivares del mismo grupo, en las tres profundidades. En contraste, el cv. Flor de Mayo M38, de la raza Jalisco, con el contenido menor de reservas seminales (225 mg por cada par de cotiledones) de este grupo, consumió la mayor proporción de ellas en este grupo y sin diferencias estadísticas entre profundidades. Dicho consumo alcanzó 89,44, 90,23 y 88,02 % del peso original de los cotiledones, con la siembra a 3, 6 y 9 cm, respectivamente (Figura 6 A).

Respecto al grupo de los cultivares criollos, aunque el peso de los cotiledones (cantidad de reservas) fue estadísticamente diferente entre ellos, con una amplitud similar a la del grupo de los mejorados, desde 333 mg/par de cotiledones en el cv. Durango 222 (raza Durango), hasta 216 mg en el cv. Negro 150. El consumo de reservas seminales a los 15 DDS fue notablemente homogéneo en las tres profundidades de siembra, y las diferencias significativas fueron apenas detectables (Figura 6 B), ya que el consumo mínimo y máximo fluctuó entre 83 y 92 % en la siembra a 3 cm de profundidad, entre 87 y 91 a 6 cm y entre 85 y 90 % a 9 cm.

Los resultados indican que, independientemente de la profundidad de siembra, cultivar, raza, tamaño de semilla o tamaño de la reserva seminal, las reservas de la semilla de frijol son destinadas principalmente al crecimiento del hipocotilo, expresado como acumulación de biomasa, y al crecimiento longitudinal de la plántula. Kirby (1993) señaló que la profundidad de siembra afecta la tasa de crecimiento del primordio, tasa de emergencia de hoja, número final de hojas en el tallo principal, elongación del tallo y longitud de los entrenudos en trigo y cebada. Bayuelo-Jiménez *et al.* (2002) indicaron que la rapidez de una semilla domesticada para utilizar sus reservas depende del grosor de la testa, y que una testa delgada facilita la imbibición, con la cual se inicia la hidrólisis del almidón rápidamente y se da la emergencia.

Los cultivares tradicionales utilizaron eficientemente las reservas seminales y las transformaron en plántulas más vigorosas que las del grupo de los cultivares mejorados. Así, aunque el tamaño o altura, de la plántula fue estadísticamente igual en ambos grupos, las plántulas de los cultivares tradicionales fueron más vigorosas, con área foliar mayor, folíolos más pesados e hipocotilo más largo y pesado (Cuadro 2). Esto último demuestra que los cultivares tradicionales poseen ventajas para la emergencia, sobre los mejorados. Al respecto, se demostró que las reservas seminales, independientemente de la raza y tipo de cultivar, son asignadas al desarrollo del hipocotilo (longitud, diámetro y biomasa), órgano que asegura la emergencia, permite a la plántula atravesar la capa de sustrato localizada sobre ella y romper la costra que frecuentemente se forma en la superficie del suelo (Cuadro 2, profundidad de siembra a 9 cm); indudablemente, el establecimiento más oportuno de estos cultivares les permitirá competir mejor con las arvenses. Las plántulas de los cultivares de ambas razas presentaron diferencias significativas entre sí. Así, los cultivares de raza Durango generaron plántulas estadísticamente más vigorosas que los de la raza Jalisco y, aunque las semillas de ambos grupos consumieron la misma proporción de sus reservas (Cuadro 2), las semillas de los primeros fueron (35 %) más pesadas que las correspondientes a los cultivares de la raza Jalisco (Cuadro 1).

La profundidad de siembra adecuada es esencial para asegurar una población óptima de plantas por hectárea. En terrenos con humedad limitada, o en los que las condiciones ambientales, como el viento, reducen rápidamente la humedad de las zonas superficiales, la siembra profunda de las semillas puede aumentar el uso eficiente de la humedad durante la germinación y emergencia de las plántulas (Luchsinger *et al.* 2006). Al respecto, el vigor de la semilla, referido a la suma de todas las propiedades físicas y fisiológicas, y en particular la elongación de órganos como el hipocotilo, son trascendentales para la emergencia y desarrollo de una plántula normal. En promedio, el peso de las semillas de los cultivares tradicionales usados en este estudio fueron 35,4 % menores que los mejorados (Cuadro 1) pero generaron plántulas más vigorosas (Cuadro 2). Así, bajo las condiciones de este estudio, la eficiencia en la asignación de reservas pareció predominar sobre el tamaño de semilla como factor del desarrollo de la plántula de frijol.

Cuadro 2. Características morfológicas de las plántulas de 12 cultivares, mejorados (seis) y tradicionales (seis), de las razas Durango (seis) y Jalisco (seis), sembrados a 3, 6 y 9 cm de profundidad. Montecillo, Texcoco, México. 2006.

	Altura (cm)	Área foliar (cm)	Hipocótilo (cm)		Biomasa seca (g)			Consumo de reservas (%)
			Longitud	Diámetro	Hipocótilo	Hoja	Raíz	
Variantes								
Mejoradas	10,44 a	24,21 b	9,465 b	0,374 a	0,073 a	0,126 b	0,036 a	84,86 b
Tradicionales	10,70 a	25,78 a	9,935 a	0,361 b	0,074 a	0,154 a	0,039 a	95,45 a
C.V.								
Raza								
Durango	9,65 a	10,86 a	26,46 a	0,388 a	0,078 a	0,149 a	0,036 a	87,32 a
Jalisco	9,74 a	10,28 a	23,56 b	0,347 b	0,069 b	0,131 b	0,039 a	87,99 a
C.V.								
Profundidad de siembra								
3,0	9,47 c	30,97 a	7,20 c	0,345 b	0,066 b	0,186 a	0,046 a	-
6,0	10,62 b	25,85 b	8,80 b	0,349 b	0,078 a	0,145 b	0,031 b	-
9,0	12,05 a	15,71 c	13,08 a	0,421 a	0,079 a	0,072 c	0,033 b	-
C.V.	63,06	36,18	8,39	16,90	32,99	56,63	96,00	56,77

Valores dentro del grupo de variantes, razas o profundidades de siembra, seguidos por la misma letra son estadísticamente similares ($P < 0,05$); Cv: coeficiente de variación.

CONCLUSIONES

En los cultivares mejorados se incrementó directamente el consumo de reservas de la semilla (desde 50 hasta 90 %), para el desarrollo de las plántulas con la profundidad de siembra. En contraste, los cultivares criollos consumieron cantidades similares de reservas (en promedio 88 %), independientemente de la profundidad de siembra. Los seis cultivares criollos emergieron sincrónicamente, independientemente de la profundidad de siembra; en contraste entre los mejorados hubo cultivares precoces y tardíos para emerger, con diferencia máxima de cinco días. El tiempo requerido para la emergencia fue independiente del tamaño de semilla en ambos grupos de cultivares. Las reservas seminales del frijol son destinadas principalmente al crecimiento del hipocotilo, expresado como acumulación de biomasa, y al crecimiento longitudinal de la plántula, independientemente de la profundidad de siembra, cultivar, raza de éste, y tamaño de la semilla.

LITERATURA CITADA

- Bayuelo-Jiménez JS; Craig, R; Lynch, JP. 2002. Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. *Crop Science* 42: 1584-1594.
- Cordazzo, C. V. 2002. Effect of seed mass on germination and growth in three dominant species in southern Brazilian coastal dunes. *Brazilian Journal of Biology* 62(3): 427-435.
- Dorsainvil, F; Carolyne, D; Justes, E; Carrera, A. 2005. Characterisation and modeling of white mustard (*Sinapis alba* L.) emergence under several sowing conditions. *European Journal Agronomy* 23: 146-158.
- García, E; Peña-Valdivia, CB. 1995. La pared celular. Componente fundamental de las células vegetales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 96 p.

- Guardiola, JL; Amparo, LG. 1993. Transporte de azúcares y otros asimilados. *In: Azcon-Bieton, J.; Talon, M. (ed.). Fisiología y Bioquímica Vegetal. McGraw-Hill-Interamericana. España. 522 p.*
- Kaplan, L. 1981. What is the origin of the common bean? *Economic Botany* 35(2): 240-254.
- Kirby, J. M. 1993. Effect of sowing depth on seedling emergence, growth and development in barley and wheat. *Field Crops Research* 35: 101-111.
- Mahadi, L; Bell, CJ; Ryan, J. 1998. Establishment and yield of wheat (*Triticum turgidum* L.) after early sowing at various depths in a semi-arid Mediterranean environment. *Field Crops Research* 58: 187-196.
- Lamour, A; Lotz, LA. P. 2007. The importance of tillage depth in relation to seedling emergence in stale seedbeds. *Ecological Modelling* 201: 536-546.
- Luchsinger, A; Villa, R; Ocqueteau, G; Sute, F. 2006. Siembra con labranza tradicional y cero labranza, mediante la adaptación de una sembradora de cereales y dos distancias entre hileras en cultivares de frijol para verde y seco. *IDESIA (Chile)* 24 (2): 77-84.
- Nabi, G; Mullins, CE; Montemayor, MB; Akhtar, MS. 2001. Germination and emergence of irrigated cotton in Pakistan in relation to sowing depth and physical properties of the seedbed. *Soil & Tillage Research* 59: 33-44.
- Navarro, NA. 1996. Métodos indirectos de medición de área foliar en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, 50 p.
- Peña-Valdivia, CB; Aguirre, JR. 2007. El frijol silvestre mexicano (*Phaseolus vulgaris* L.): Riqueza renovable desaprovechada. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 150 p. En prensa.
- Peña-Valdivia, CB; R. García N.; J. R. Aguirre R.; C. L. Trejo. 2002. The effects of high temperature on dormancy and hypocotyl-root growth of wild common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Seed Science and Technology* 30(2): 231-248.
- Revilla, Pa; Butrón, R; Malvar, A; Ordás, A. 1999. Relationships among Kernel weight, early vigor and growth in maize. *Crop Science* 39: 654-658.
- Rodrigues, LE, Silva, AS; Paulo, AA; Grande, MT. 2005 Effects of the size of sown seed on growth and yield of common bean cultivars of different seed sizes. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17(3): 273-281.
- Ross, AM; Lembi, AC. 1999. Applied weed science. *In: Prentice Hall. ed. Characteristics, biology and importance of weeds. Second Edition. U. S. A. 452 p.*
- Sánchez-Urdaneta, AB; Peña-Valdivia, CB; Trejo, C; Aguirre, JR; Cárdenas, E; Galicia, 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.
- SAS. 1986. SAS/STAT. User's Guide. Release 6.03. SAS Institute. Cary, North Caroline. USA. 111 p.
- SAGAR (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural). 1998. Catálogo de variedades vegetales factibles de certificación. Variedades INIFAP. SAGAR-SNICS. México. p. 1-15.
- Soltani, A; Robertson, MJ; Torabi, B; Yousefi-Daz, M; Sarparast, R. 2006. Modelling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology* 138: 156-167.