



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

## CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
FISIOLOGÍA VEGETAL

**Características morfológicas y fisiológicas de la  
semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)  
domesticado y silvestre y su relación con el  
desarrollo y establecimiento de la plántula**

**RAQUEL CELIS VELAZQUEZ**

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

**DOCTORA EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2008

La presente tesis, titulada: **Características morfológicas y fisiológicas de la semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) domesticado y silvestre y su relación con el desarrollo y establecimiento de la plántula**, realizada por la alumna: **Raquel Celis Velázquez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
FISIOLOGÍA VEGETAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA: \_\_\_\_\_  
DRA. CECILIA BEATRIZ PEÑA VALDIVIA

ASESOR: \_\_\_\_\_  
DR. CARLOS TREJO LÓPEZ

ASESOR: \_\_\_\_\_  
DR. ROGELIO AGUIRRE RIVERA

ASESOR: \_\_\_\_\_  
DR. AQUILES CARBALLO CARBALLO

ASESOR: \_\_\_\_\_  
DR. LEOBIGILDO CÓRDOVA TÉLLEZ

Montecillos, México, enero de 2008

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme otorgado el apoyo económico para realizar mis estudios de doctorado.

Al Colegio de Postgraduados por permitirme desarrollarme en el ámbito académico.

A la orientación de Fisiología Vegetal por permitirme realizar mis estudios de doctorado.

A la Dra. Cecilia B. Peña Valdivia por su paciencia y tiempo dedicado a la realización del presente trabajo, además del invaluable apoyo recibido durante la realización de mis estudios.

Al Dr. Carlos Trejo López por su apoyo durante la realización de mis estudios y en la realización de este trabajo.

Al Dr. Rogelio Aguirre Rivera por sus acertadas observaciones y el tiempo dedicado a esta investigación.

Al Dr. Aquiles Carballo Carballo por su apoyo durante la realización de mis estudios y sus valiosas observaciones en la realización de este trabajo.

Al Dr. Leovigildo Córdova Téllez por su asesoría y aportaciones durante el desarrollo de la presente investigación.

Al Dr. Mario Luna Cavazos por su invaluable apoyo en la parte estadística de este trabajo.

Al Dr. Irán Alía Tejacal y al Dr. Rodolfo García Nava por su gran apoyo durante la realización de mis estudios.

A los compañeros, trabajadores y profesores que contribuyeron en mi formación académica o en la realización del presente trabajo de investigación.

## CONTENIDO

	Página
	Núm.
LISTA DE CUADROS	iii
LISTA DE FIGURAS	V
RESUMEN	Viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Literatura citada	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Importancia del frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	6
2.2 Origen del frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	7
2.3 Variantes silvestres	10
2.4 Vigor	13
2.5 Utilización de reservas durante la germinación y emergencia	15
2.6 Literatura citada	19
III. VARIABILIDAD DEL VIGOR INICIAL DE GERMOPLASMA MEJORADO DE FRIJOL ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	23
3.1 Resumen	23
3.2 Abstract	24
3.3 Introducción	25
3.4 Materiales y métodos	28
3.5 Resultados y discusión	31
3.6 Conclusiones	52
3.7 Literatura citada	53
IV. EFECTO DE LA PROFUNDIDAD DE SIEMBRA EN EL CONSUMO DE LAS RESERVAS SEMINALES DE FRIJOL ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	56
4.1 Resumen	56
4.2 Abstract	57
4.3 Introducción	57
4.4 Materiales y métodos	59

4.5 Resultados y discusión	61
4.6 Conclusiones	74
4.7 Literatura citada	75
V. EFECTO DE LA PROFUNDIDAD DE SIEMBRA EN LA TASA DE EMERGENCIA DEL FRIJOL ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) CON DISTINTO GRADO DE DOMESTICACIÓN	78
5.1 Resumen	78
5.2 Abstract	79
5.3 Introducción	81
5.4 Materiales y métodos	83
5.5 Resultados y discusión	86
5.6 Conclusiones	102
5.7 Literatura citada	103
VI. EFECTO DE LA PROFUNDIDAD DE SIEMBRA SOBRE EL CONSUMO DE LAS RESERVAS DE LA SEMILLA DE FRIJOL ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) CON DISTINTO GRADO DE DOMESTICACIÓN	107
6.1 Resumen	107
6.2 Abstract	108
6.3 Introducción	109
6.4 Materiales y métodos	112
6.5 Resultados y discusión	115
6.6 Conclusiones	135
6.7 Literatura citada	136
VII. DISCUSIÓN GENERAL	139
7.1 Literatura citada	144
VIII. CONCLUSIONES GENERALES	147

## LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página Núm.
<b>Cuadro 3.1.</b> Cultivares de frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) utilizado en el presente estudio y su raza.	29
<b>Cuadro 3.2.</b> Valor de correlación de las variables en los primeros tres componentes principales.	32
<b>Cuadro 3.3.</b> Características de la semilla de 48 cultivares de frijol.	34
<b>Cuadro 3.3:</b> Continuación	35, 36
<b>Cuadro 3.4.</b> Vectores propios de las 12 variables en los primeros tres componentes principales (CP), del análisis de 48 cultivares de frijol.	42
<b>Cuadro 3.5.</b> Características de las plántulas de 48 cultivares mejorados, sembrados a tres profundidades.	46
<b>Cuadro 3.6.</b> Características de los cinco grupos de cultivares de frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) formados por el análisis de conglomerados basado en 12 atributos de su semilla y plántulas.	50
<b>Cuadro 3.7.</b> Características de los cinco grupos de cultivares de frijol ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) formados por el análisis de conglomerados basado en 12 atributos de su semilla y plántulas.	50
<b>Cuadro 4.1.</b> Peso y tiempo para la emergencia de doce cultivares de frijol sembrado a tres profundidades.	60
<b>Cuadro 5.1.</b> Cultivares y variantes silvestres de frijol incluidas en este estudio.	85
<b>Cuadro 5.2.</b> Tiempo (días para la emergencia de una o más plántulas) y porcentaje de emergencia inicial de plántulas de frijol domesticado y silvestre, sembrado a 2.5, 5.0, 7.5 y 10 cm de profundidad. Se consideran como atípicos las variantes silvestres con semilla casi tan grande como la domesticada.	90

<b>Cuadro 5.3.</b> Tiempo (días para la emergencia del número máximo de plántulas) y porcentaje de emergencia final de plántulas de frijol domesticado y silvestre, sembrado a 2.5, 5.0, 7.5 y 10 cm de profundidad.	99
<b>Cuadro 6.1.</b> Cultivares y variantes silvestres de frijol incluidas en este estudio.	113
<b>Cuadro 6.2.</b> Características morfológicas de la semilla de cultivares mejorados y tradicionales y seis variantes silvestres de frijol.	117
<b>Cuadro 6.3.</b> Importancia relativa de las variables en los primeros tres componentes principales	118
<b>Cuadro 6.4.</b> Vectores propios de las 12 variables en los primeros componentes principales (CP), del análisis de 15 variantes de frijol, domesticado y silvestre.	125
<b>Cuadro 6.5</b> Características promedio por tipo de frijol de la plántula de seis cultivares mejorados, tres tradicionales y seis variantes silvestres, sembrados a cuatro profundidades.	129
<b>Cuadro 6.6</b> Características de la plántula de seis cultivares mejorados, tres cultivares tradicionales y seis variantes silvestres de frijol. Promedios de cuatro profundidades de siembra.	130
<b>Cuadro 6.7.</b> Características morfológicas seminales de los grupos y subgrupos formados por el análisis de conglomerados de 15 variantes de frijol, domesticado y silvestre	131
<b>Cuadro 6.8.</b> Características morfológicas de las plántulas según los niveles de agrupamiento generados por la clasificación aglomerativa de 15 variantes de frijol, domesticado y silvestre.	134

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página Núm.</b>
<b>Figura 3.1.</b> Ordenación de 48 cultivares de frijol basada en 10 atributos de sus semillas y referida a los componentes principales 1 y 2.	33
<b>Figura 3.2.</b> Ordenación de 48 cultivares de frijol basada en 10 atributos de sus semillas y referida a los componentes principales 1 y 3.	38
<b>Figura 3.3.</b> Clasificación de 48 cultivares mejorados de frijol, basado en el método de agrupamiento UPGMA.	40
<b>Figura 3.4.</b> Ordenación mediante el análisis de componentes principales (CP1 y CP2), basada en 12 características morfológicas de la semilla y las plántulas, de 48 cultivares de frijol, sembrados en tres profundidades (a: 2.5 cm, b: 5.0 cm y c: 10 cm).	43
<b>Figura 3.5.</b> Ordenación mediante el análisis de componentes principales (CP1 y CP3), basada en 12 características morfológicas de la semilla y las plántulas, de 48 cultivares de frijol, sembrados en tres profundidades (a: 2.5 cm, b: 5.0 cm y c: 10 cm).	44
<b>Figura 3.6.</b> Clasificación de 48 cultivares mejorados de frijol sembrados a tres profundidades (2.5, 5.0 y 10.0 cm), con base en 12 atributos de sus semillas y plántulas.	48
<b>Figura 3.7.</b> Clasificación de cultivares mejorados de frijol sembrados a tres profundidades (2.5, 5.0 y 10.0 cm), con base en atributos de sus semillas y vigor inicial.	49
<b>Figura 4.1.</b> Grosor del hipocótilo de plántulas de cultivares mejorados y tradicionales de frijol sembrados a tres profundidades (3,6 y 9 cm).	63
<b>Figura 4.2.</b> Biomasa seca del hipocótilo de plántulas de cultivares mejorados y tradicionales de frijol sembrados a tres profundidades (3,6 y 9 cm).	65
<b>Figura 4.3.</b> Área foliar de plántulas de cultivares mejorados y	67

tradicionales de frijol, sembrados a tres profundidades (3,6 y 9 cm).	
<b>Figura 4.4.</b> Biomasa foliar en plántulas de cultivares mejorados y tradicionales de frijol, sembrados a tres profundidades (3,6 y 9 cm).	69
<b>Figura 4.5.</b> Altura de plántulas en cultivares mejorados y tradicionales de frijol, sembrados a tres profundidades (3,6 y 9cm).	70
<b>Figura 4.6.</b> Peso de los cotiledones en la semilla (0 cm) y en plántulas de cultivares mejorados y tradicionales de frijol, sembrados a tres profundidades (3,6 y 9 cm).	72
<b>Figura 5.1.</b> Emergencia acumulada de cultivares mejorados de frijol sembrados a 2.5 ( ● ), 5.0 ( ○ ), 7.5 ( ■ ) y 10 ( □ ) cm de profundidad, en condiciones de invernadero.	87
<b>Figura 5.2.</b> Emergencia acumulada de cultivares tradicionales de frijol sembrados a 2.5 ( ● ), 5.0 ( ○ ), 7.5 ( ■ ) y 10 ( □ ) cm de profundidad, en condiciones de invernadero.	88
<b>Figura 5.3.</b> Emergencia acumulada de variantes silvestres de frijol sembrados a 2.5 ( ● ), 5.0 ( ○ ), 7.5 ( ■ ) y 10 ( □ ) cm de profundidad, en condiciones de invernadero.	89
<b>Figura 5.4.</b> Efecto de la profundidad de siembra en el tiempo para iniciar la emergencia de (A) cultivares mejorados de frijol, (B) cultivares tradicionales y (C) variantes silvestres.	92
<b>Figura 5.5.</b> Efecto de la profundidad de siembra en el porcentaje de emergencia inicial de (A) cultivares mejorados de frijol, (B) cultivares tradicionales y (C) variantes silvestres.	94
<b>Figura 5.6.</b> Tamaño de semilla (g/100 semillas) de cultivares mejorados de frijol, cultivares tradicionales y variantes silvestres.	96
<b>Figura 5.7.</b> Efecto de la profundidad de siembra de frijol en la tasa de emergencia de cultivares mejorados (●), cultivares tradicionales	98

(■) y variantes silvestres (▲).	
<b>Figura 5.8.</b> Efecto de la profundidad de siembra en el tiempo para la emergencia final de (A) cultivares mejorados de frijol, (B) cultivares tradicionales y (C) variantes silvestres.	100
<b>Figura 5.9.</b> Efecto de la profundidad de siembra en el porcentaje de emergencia final de (A) cultivares mejorados de frijol, (B) cultivares tradicionales y (C) variantes silvestres.	101
<b>Figura 6.1.</b> Ordenación de 15 variantes de frijol obtenida mediante el análisis de componentes principales (CP1 y CP2) de características de la semilla.	120
<b>Figura 6.2.</b> Ordenación de 15 variantes de frijol obtenida mediante el análisis de componentes principales (CP1 y CP3) de características de la semilla.	121
<b>Figura 6.3.</b> Clasificación de 15 variantes de frijol (seis cultivares mejorados, tres tradicionales y seis recolectas silvestres) basada en las características de sus semillas, por medio del método de agrupamiento UPGMA.	123
<b>Figura 6.4.</b> Ordenación sobre el CP1 y CP2 de 15 variantes de frijol, domesticado y silvestres, sembradas en cuatro profundidades (a: 2.5 cm, b: 5.0 cm, c: 7.5 y d: 10.0 cm), y basada en 12 características morfológicas de la semilla y las plántulas.	126
<b>Figura 6.5.</b> Gráfica bidimensional obtenida mediante el análisis de componentes principales (CP1 vs CP3) de 12 características morfológicas de la semilla y las plántulas de 15 variantes de frijol, domesticado y silvestre, sembrados en cuatro profundidades (a: 2.5 cm, b: 5.0 cm, c: 7.5 y d: 10.0 cm).	127

## RESUMEN GENERAL

El objetivo de esta investigación fue caracterizar la variabilidad del vigor de la semilla de frijol en un gradiente de domesticación. Para esto, fue caracterizada la capacidad de emergencia, el consumo de las reservas de la semilla durante este proceso, el crecimiento y desarrollo de las plántulas de un grupo de cultivares mejorados, tradicionales (criollos) y silvestres en respuesta a la profundidad de siembra. La hipótesis fue que las características morfológicas y fisiológicas de la semilla de frijol, dependientes del nivel de domesticación, contribuyen al establecimiento y desarrollo de la plántula y que la selección para el mejoramiento de los cultivares ha conducido a la homogeneidad morfológica tanto de su semilla como de sus plántulas y por lo tanto de su vigor inicial. El estudio fue dividido en cuatro secciones: a) variabilidad del vigor inicial del germoplasma mejorado, b) efecto de la profundidad de siembra en el consumo de las reservas seminales, c) efecto de la profundidad de siembra en la tasa de emergencia del frijol con distinto nivel de domesticación y d) efecto de la profundidad de siembra en el consumo de las reservas de la semilla con distinto nivel de domesticación. Se incluyeron 48 cultivares mejorados, tres cultivares regionales y seis variantes silvestres. El color de la testa fue una de las principales características que agrupó los cultivares mejorados, los de color claro formaron un grupo y los de testa negra el otro, esto pudo haber influido indirectamente en el desarrollo de la plántula. Un segundo nivel de agrupamiento se basó en la proporción de cotiledón de la semilla. La característica que contribuyó menos a la diversidad morfológica de las semillas fue el contenido de eje embrionario. La variabilidad del vigor inicial de los cultivares mejorados se basó principalmente en la capacidad para emerger o no. Los cultivares, mejorados y tradicionales, incrementaron la longitud del hipocótilo con la profundidad de siembra; mientras entre las variantes silvestres hubo diferencias en la respuesta; además, las plántulas de las semillas significativamente más pesadas fueron en promedio más vigorosas, con mayor altura y diámetro de hipocótilo, acumularon más biomasa en su raíz y folíolos respecto a las ligeras. Los cultivares tradicionales acumularon el doble de biomasa en los folíolos con la siembra a 2.5 cm, respecto a los otros dos grupos, pero disminuyó drásticamente, tanto en los cultivares como en los silvestres con el incremento de la profundidad de siembra. También se observaron similitudes en la respuesta a la profundidad de siembra; en promedio los cultivares y las variantes silvestres acumularon mayor biomasa en los folíolo con la siembra a 2.5 cm de profundidad, en el hipocótilo y la raíz con la siembra a 5.0 y 7.5 cm, respecto a las otras profundidades; y con la siembra a 10 cm todas las variantes generaron las plántulas más altas, respecto a las profundidades menores. Las reservas seminales son asignadas al desarrollo de las estructuras de la plántula en proporciones variables y en dependencia de la variante de frijol; sin embargo, predomina la asignación al hipocótilo, y esto repercute positivamente en el crecimiento longitudinal de la plántula. Se comprobó que la variabilidad del vigor y morfología de la semilla de frijol responde al gradiente de domesticación: cultivar mejorado < cultivar tradicional < variante silvestre.

## ABSTRACT

The objective of this investigation was to characterize the variability of the vigor of common bean seeds in a gradient of domestication. For this, it was evaluated the emergency capacity, the seed reserves used during emergency, the seedlings growth and development of a group of improved cultivars, traditional (landraces) cultivars and wild types, in response to the depth of sowing. The hypothesis was that morphology and physiological characteristics of the common bean seed, depending of the stage of domestication, contribute to the seedlings establishment and development, and that the selection for the improvement of cultivars has lead to the morphologic homogeneity as much of its seed and seedlings, and therefore of its initial vigor. The study was divided in four sections: a) variability of the initial vigor of improved germplasm, b) effect of sowing depth in the consumption of the seminal reserves, c) effect of the sowing depth in the rate of the emergency of common bean with different stage of domestication and d) effect of the depth sowing in the use of seed reserves of common bean with different stage of domestication. Forty eight improved cultivars, three landraces and six wild variants were included in the study. Seed coat color was one of the main characteristics that grouped improved cultivars, those of clear color formed a group and those of black seed coat the other one, and this characteristic could have influenced indirectly the seedlings development. A second level of grouping was based on the proportion of seed cotyledon. The characteristic with the lowest contribution to the seed morphology diversity was the seed embryonic axes proportion. The variability of the initial vigor of improved cultivars was based mainly on the capacity of emergence. Improved cultivars and landraces increased length hypocotyls with the sowing depth; while, between wild variants this response was variable; in addition, seedlings of significantly heavier seeds were, in average, more vigorous, tallest, with high diameter of hypocotyl, accumulated more biomass in the root and leafless, with respect to the light seeds. Landraces doubled leaflets biomass with 2.5 cm of sowing deep, with respect to the others seed groups, but it diminished drastically, as much in cultivars like in the wild variants with the depth sowing increase. Also, similarities in the response of sowing depth were observed; in average, cultivars and wild variants accumulated more biomass in leaflets with 2.5 cm of sowing depth, in hypocotyl and root with 5.0 cm and 7.5 cm, with respect to the other sowing depths; and with 10 cm of sowing depth all variants generated the tallest seedlings, with respect to the smaller depths. The seminal reserves are allocated to the developing structures in the seedling, in variable proportions, and depended of the common bean variant. However, the allocation to hypocotyls is predominant, and the longitudinal growth of seedlings is positively increased. It was probed that the variability of the vigor and morphology of the seed of common bean respond to the domestication gradient: improved cultivars < landraces < wild variants.

## I. INTRODUCCIÓN

México es reconocido como el centro de origen y domesticación más importante de varias especies del género *Phaseolus*, entre las cuales, la que más destaca, por su valor comercial, es el frijol común (*P. vulgaris*) (Singh *et al.*, 1991). Existe evidencia de que esta planta se ha cultivando desde hace aproximadamente 8 mil años. La gran diversidad de climas y nichos ecológicos y cultural de nuestro país, favoreció durante este gran periodo, el desarrollo de una gran diversidad de tipos de frijol, con un mercado variado en cuanto a preferencias y valor se refiere (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2001).

La asociación de una leguminosa con algún cereal es común en diversas regiones del mundo; en México, ésta se lleva a cabo con el maíz. Esta asociación tiene una razón agronómica, pero también es importante en la nutrición humana (Gepts, 1994). Al respecto, debe señalarse que el frijol es fuente de proteínas y almidón; además, aporta vitaminas del complejo B, como niacina, riboflavina, ácido fólico y tiamina. Igualmente proporciona hierro, cobre, zinc, fósforo, potasio, magnesio y calcio, y tiene un alto contenido en fibra; también, es una excelente fuente de ácidos grasos poli-insaturados (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2001).

Actualmente, es aceptado que las variantes silvestres contemporáneas de frijol son descendientes naturales de las poblaciones silvestres ancestrales, a partir de las cuales también se derivaron los cultivares que a la fecha consumimos. Al respecto, Peña-Valdivia y Aguirre-Rivera (2007) hipotetizaron que los cultivares actuales fueron seleccionados por sus características de importancia antropocéntrica, entre las que destacan las referentes a la semilla, como su mayor tamaño, escasez o ausencia de factores antifisiológicos, poca o nula latencia, y vainas sin dehiscencia; pero que durante el proceso de domesticación algunas características indeseables, tanto de la planta en crecimiento, como de la semilla cosechada, como la susceptibilidad a factores bióticos y abióticos diversos, han persistido o su frecuencia se ha incrementado como resultado concomitante o inconscientemente de las presiones de

selección cultural ejercidas por nuestros ancestros. La tolerancia del frijol silvestre a diferentes factores de estrés comunes en el frijol domesticado ya ha sido parcialmente demostrada (Peña-Valdivia *et al.* 1999; Peña-Valdivia *et al.* 2002; López H., 2003; Sánchez-Urdaneta *et al.*, 2003).

Peña-Valdivia y Aguirre-Rivera (2007) señalaron la necesidad y los beneficios factibles del aprovechamiento de las poblaciones silvestres de frijol, pues se cuenta con una gran cantidad de ellas en México; sin embargo, aseguran que antes de incorporarlos efectivamente al fitomejoramiento deben ser estudiadas con detalle, desde enfoques científicos diversos, que aseguren su conocimiento. Dichos autores también destacan el potencial de los progenitores silvestres como fuente de tolerancia a factores de estrés biótico o abiótico para las variantes domesticadas, por lo que es necesario entender y conocer 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 nutrimental.

El vigor de la semilla se ha descrito como un conjunto de propiedades que determinan el nivel de actividad y comportamiento de la semilla o lote de semillas durante la germinación y emergencia de la plántula (AOSA, 1993). Así, el vigor de la semilla parece adecuado para conocer la variabilidad genética entre y dentro de las variantes cultivadas y silvestres, pues puede describir en forma sintética las diferencias entre los procesos y reacciones bioquímicas durante la germinación. Una ventaja de la evaluación del 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 y variadas, pueden evaluarse numerosas poblaciones en poco tiempo (Moreno, 1996).

En relación con lo anterior, la identificación oportuna de las poblaciones que muestren ventaja en la emergencia y crecimiento de las plántulas en condiciones bióticas y abióticas diversas, permitiría a la vez descartar las poblaciones menos aptas y reducir tiempos y costos, pues no tendría que esperarse a que las plantas

cubran su ciclo completo de desarrollo para ser evaluadas. Además, los genetistas tendrían germoplasma para incorporar en los programas de mejoramiento, seleccionado por sus características fisiológicas y morfológicas más estables, que solo los criterios de calidad frecuentemente utilizados.

López-Castañeda *et al.* (1996) señalaron que el vigor inicial en cebada le confiere ventajas para su establecimiento y mayor rendimiento tanto de biomasa como de grano, respecto a otros cereales. Inicialmente la cebada alcanza rápidamente la cobertura del suelo, lo cual evita la evaporación del agua que puede ser utilizada en procesos fisiológicos durante el crecimiento subsecuente. Por otro lado, al alcanzar las plantas área foliar mayor y crecimiento cuando el déficit de presión de vapor es bajo, hay una mayor asimilación de carbono por unidad de agua transpirada, que cuando las temperaturas son altas. Además, la mayor biomasa acumulada en el momento de la ántesis repercute en un rendimiento alto.

Con base en lo señalado anteriormente, el objetivo de la presente investigación fue caracterizar la variabilidad del vigor de la semilla de frijol en un gradiente de domesticación. Para esto, se evaluó la capacidad de emergencia, el consumo de las reservas de la semilla durante este proceso, el crecimiento y desarrollo de las plántulas de un grupo de cultivares mejorados y tradicionales (criollos) y poblaciones silvestres en dependencia de la profundidad de siembra, bajo la hipótesis de que las características morfológicas y fisiológicas de la semilla de frijol, asociadas al establecimiento y desarrollo de la plántula, están relacionadas con la domesticación.

## **1.1 LITERATURA CITADA**

- AOSA. 1993. Rules for testing seeds. *Journal of Seed Technology*. 16(3):1-113.
- Gepts, P. 1994. Análisis moleculares del proceso de domesticación en plantas: El ejemplo del frijol común (*Phaseolus vulgaris*). 11° Congreso Latinoamericano de Genética (Área vegetal) y XV Congreso de Fitogenética. Monterrey, Nuevo León,. 25-30 p.
- López-Castañeda C., R. A. Richards, G.D. Farquhar y R.E. Williamson. 1996. Seed and Seedling characteristics contributing to variation in early vigor among temperate cereals. *Crop Science* 36: 1257-1266.
- López H., M. 2003. Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado: efectos del almacenamiento y escarificación en la geminación de la semilla, y del frío en el intercambio gaseoso y clorofila de plantas juveniles. Programa de Fisiología Vegetal, Instituto de Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México. 180 p.
- Moreno, M. E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Programa Universitario de Alimentos, UNAM. México. 393 p.
- Peña-Valdivia, C.B.; E. del. R. Hernández G.; I. Bernal-Lugo; J.R. Aguirre R. 1999. Seed quality of a wild population and an improved cultivar of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) after storage. *Interciencia* 24(1): 8-14.
- Peña-Valdivia C. B.; R. García N.; J.R. Aguirre R.; C. Trejo. 2002. High temperature breaks dormancy and increases hypocotyl-root growth of wild common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Seed Science and Technology* 30(2): 231-248.
- Peña-Valdivia, C. B.; R. J. R. Aguirre. 2007. El frijol silvestre mexicano (*Phaseolus vulgaris* L.): Riqueza renovable desaprovechada. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 150 p. En prensa.
- Sánchez-Rodríguez, G.; J. A. Manríquez-Nuñez; F. A. Martínez-Mendoza; L. A. López-Ibarra. 2001. El frijol en México competitividad y oportunidades de desarrollo. Boletín informativo FIRA, Número 36, Volumen XXXIII, México 85p.
- Sánchez-Urdaneta, A.B.; C. B. Peña-Valdivia; C. Trejo; J. Rogelio Aguirre R.; E. Cárdenas; A. Galícia J. 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.

Singh, P. S.; P. Gepts; D. G. Debouck. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, *Fabaceae*). *Economic Botany*. 45(3): 379-396.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Importancia del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

El género *Phaseolus* pertenece a la familia Fabaceae, subfamilia Papilionoideae, tribu Phaseoleae y subtribu Phaseolinae (Engelman, 1991). En América se reconocen dos centros de domesticación: Mesoamérica, con genotipos de semilla pequeña, y los Andes, con genotipos caracterizados por su semilla más grande (González *et al.*, 1995). Gepts (1998) señaló la existencia de ancestros silvestres desde el norte de México (aproximadamente desde los 30° N) hasta el noroeste de Argentina (aproximadamente hasta los 35° S), con altitudes que van desde los 500 hasta los 2000 msnm y precipitación entre 500 y 1800 mm. Sobresale el número de especies del género *Phaseolus* registradas como domesticadas, pues de las 45 reconocidas, nuestros antecesores americanos sólo domesticaron cinco: *P. coccineus* L. o frijol ayocote para clima templado, *P. lunatus* L. o frijol lima en clima calido seco y húmedo, *P. acutifolius* Gray o frijol tépari en clima árido o semiárido, *P. damosus* para climas semi-calidos-húmedos y *Phaseolus vulgaris* L. para todos los climas previamente indicados; sin embargo, notablemente las especies domesticadas cubren una variada amplitud de climas (García *et al.*, 1997).

Dentro de estas especies domesticadas, el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es de mayor importancia económica ya que es cultivado en seis continentes, en mayor parte por su grano seco o por su vaina verde (Gepts, 1994). Singh (2001) señaló que el frijol común ocupa más del 85% de la superficie sembrada de todas las especies de *Phaseolus* en el mundo. Los principales productores de semilla de frijol en 2001 fueron Brasil, México y Estados Unidos, con más de la tercera parte de la producción mundial (FAO, 2003). En México se siembran 2.2 millones de hectáreas, de las cuales se cosechan 1.86 millones, que producen 1.2 millones de toneladas del grano, y rendimiento promedio de 643 kg ha<sup>-1</sup>; ésto, representa el 7 % de la producción mundial de frijol (Cruz, 2006).

En varios países donde se produce y consume el frijol (México y África, entre otros) se le cultiva en asociación con un cereal, frecuentemente maíz. Esta asociación tiene

un papel agronómico y además es trascendental en la nutrición humana. En efecto, se ha indicado que las proteínas de las semillas de leguminosas y cereales se complementan por su composición de aminoácidos esenciales; además, el frijol aporta una cantidad importante de proteínas a la nutrición humana (Gepts, 1994). Al respecto Fanghanel (1997) señaló que en México el frijol ha sustentado la alimentación popular desde épocas precolombinas, en donde se le conocía bajo distintos nombres: etl (náhuatl), tatsunitl (purépecha), x-kalil-bul (maya), bi-zaahul (zapoteco), y los españoles reconocieron la importancia del frijol en la alimentación de los indígenas, ya que su alimentación estaba basada en el consumo de maíz, frijol, chile, sal y tomates.

## **2.2 Origen del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)**

Conocer el origen geográfico de *Phaseolus vulgaris* L. es importante para la realización del mejoramiento genético de esta planta, pues en las zonas de distribución natural se puede encontrar la diversidad genética más grande, tanto de frijol como de algunas de sus plagas y enfermedades; por ello, es importante conocer estas áreas y procurar su protección contra el crecimiento demográfico, contaminación, perturbación por las actividades agrícolas o ganaderas que pudieran extinguir las formas silvestres (Miranda, 1967).

Diversos estudios han señalado la zona occidental y sur de México, así como a Guatemala, Honduras y la zona oriental de la cordillera de Perú como posibles centros de origen del frijol. Al respecto, Miranda (1967) utilizó los criterios de De Candolle (1886) y Vavílov (1949-1950) para determinar el centro de origen de las plantas cultivadas, y señaló que la especie *P. vulgaris* L. procede de la región occidental del área México-Guatemala, en una franja de transición ecológica situada entre los 500 y los 1800 msnm, aunque la mayor frecuencia de variantes cultivadas ocurre alrededor de los 1200 m. En estas áreas crecen diferentes especies silvestres del género *Phaseolus* y hay una gran diversidad genética tanto de *P. vulgaris* como de algunos organismos que lo parasitan; además, estas áreas están frecuentemente cercanas a sitios arqueológicos en los que pueden existir remanentes

arqueobotánicos. Sin embargo, Kaplan (1981) señaló que restos de las variantes silvestres de *P. vulgaris* no aparecen en ningún sitio arqueológico de México o de la región Andina, que el frijol fue domesticado en Mesoamérica y transportado de allí a Suramérica y que *P. vulgaris* domesticado se encuentra desde hace 7000 años en Mesoamérica.

Kaplan y Lynch (1998), con base en pruebas de radiocarbono en muestras de carbón de madera asociadas a *Phaseolus* de zonas arqueológicas mexicanas y peruanas, señalaron que las variantes domesticadas del frijol existen desde hace 10 000 años. Sin embargo, evaluaciones directas, con el acelerador atómico de masa (AMS), en los restos de las semillas de frijol y las vainas, evidencian que el frijol (*P. vulgaris*) se encontraba en México hace 3300, 4100 y 4500 años en Tamaulipas y en los valles de Oaxaca y Tehuacán, respectivamente. El uso del AMS para reconstruir los inicios de la agricultura y el proceso de domesticación ha demostrado la ausencia de frijoles silvestres en los centros agrícolas de Mesoamérica; las fechas estimadas demuestran que el frijol se empezó a cultivar relativamente tarde (hace 2300 años aproximadamente) en comparación con el maíz y la calabaza, la falta de restos de variantes silvestres en sitios arqueológicos hacen suponer que el frijol fue rápidamente adoptado y distribuido en los principales sitios de Mesoamérica y Suramérica.

Sing *et al.* (1991), con base en características morfológicas, la proteína faseolina de la semilla y patrones de aloenzimas, señalaron la existencia de dos grupos principales de germoplasma, a los que denominaron Mesoamericano y Andino Suramericano, y los dividieron en seis razas: tres con origen mexicano (Durango, Jalisco y Mesoamericana) y tres andinas (Chile, Nueva Granada y Perú).

De acuerdo con Koinange *et al.* (1996), la distribución rápida del frijol silvestre en las zonas de cultivo provocó situaciones que potencialmente involucraron una fuerte presión de selección, que incluyó la colonización de hábitats nuevos. Simultáneamente, los cambios climáticos y modificaciones repentinas del ambiente

biótico provocaron la adaptación y selección a los diferentes ambientes y combinación de genes, con lo que se generó una amplia diversidad genética. Aunque la planta de frijol es autógama, existe la posibilidad de que sea polinizada, por insectos o el viento, con polen de otras variantes, lo que ampliaría la variabilidad genética y provocaría la cruce de silvestres con las nuevas variantes domesticadas incipientemente. Con todo esto, podrían perderse los tipos silvestres (Koinange *et al.*, 1996).

Koenig *et al.* (1990) confirmaron la mayor variabilidad genética de la faseolina “B” en Mesoamérica y sugirieron que *P. vulgaris* es originario de Mesoamérica; además, identificaron la faseolina del tipo “M” en un cultivar mexicano, la cual está únicamente en frijoles silvestres, por lo que sugirieron que este cultivar resultó de la hibridación de una variante silvestre y una domesticada.

El cultivo del frijol en México es milenario; la gran diversidad de climas, nichos ecológicos y ambientes culturales llevó durante este periodo al desarrollo de una gran riqueza de tipos de frijoles: negros, azufrados, flores, bayos, pintos, ayocotes, espolón, ibes, combas y muchos más, los cuales generan un mercado amplio conformado por consumidores con gustos y preferencias diversas, como color y sabor de la semilla, rendimiento, adaptación a climas, resistencia a plagas, enfermedades, resistencia a sequía, etc. (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2001).

Solórzano (1994) recopiló información sobre el periodo histórico y los principales lugares donde se han encontrado restos de frijol y señaló que en la cuenca de México, se encontraron restos de frijol que datan del Preclásico inferior, en las zonas de Ixtapaluca y Zacatenco (entre 1700 y 875 a.C.) y del Preclásico medio, en sitios como Loma Terremote, donde se hallaron frijoles asociados a otras plantas alimentarias.

Del Preclásico tardío se cuenta con evidencia arqueológica del sitio Terremote-Tlatenco, construido en un islote del lago de Chalco, donde en los desechos de las

casas se hallaron restos de frijol negro y ayocote (*P. coccineus*), junto con maíz, calabaza, capulín, alegría, nopal, epazote, tomate, chile, verdolaga, aguacate y maguey. En la aldea de Cuanalalán los restos de frijol datan de 210 a 90 años a.C.; entre ellos fueron identificados abundantes restos carbonizados de un frijol negro, en pisos y desechos (reellenos de pisos y muros), junto con maíz, tejocote, tuna de bola y cebollita silvestre. La información más importante del período Clásico (100 a 750 d.C.) proviene de la ciudad prehispánica de Teotihuacan, donde las evidencias son escasas debido, probablemente, a que se consumía el fruto completo del frijol (ejote); sin embargo, se cuenta con ejemplares tanto de frijol negro, en Tepantitla, Yahualala y Patios de Zacuala, de la época Solapa, de alrededor de 550 d.C., como de ayocote (localizado en la pirámide del Sol) de la fase Tzacualli (de principios de la época cristiana).

Sánchez-Rodríguez *et al.* (2001) señalaron que el frijol se empezó a cultivar hace ocho mil años y que el Código Mendocino muestra que los aztecas pedían esta semilla como tributo a otros pueblos, en una cantidad calculada de 5280 toneladas anuales. Bernal Díaz del Castillo en su obra “La Verdadera Historia de la Conquista de la Nueva España” relató que en el mercado de Tlatelolco estaban, por orden, los que vendían alimentos, como maíz blanco, azul oscuro, negro, colorado y amarillo, y unos frijoles negros grandes como habas. Bernardino de Sahún en su “Historia General de las Cosas de la Nueva España” indica que los frijoles se comían en tamales con maíz y que en las trojes de los señores se guardaban grandes cantidades de frijoles.

### **2.3 Variantes silvestres**

El proceso de domesticación no se ha estudiado directamente y parece haberse iniciado hace unos 8,000 a 10,000 años. Lo que si se ha hecho es comparar las características morfológicas, fisiológicas y genéticas de poblaciones silvestres y domesticadas contemporáneas y con los resultados hacer inferencia sobre ese proceso. Las variantes silvestres contemporáneas son las descendientes inmediatas de las variantes silvestres ancestrales, a partir de las cuales se domesticaron las

variantes cultivadas. Estas variantes silvestres contemporáneas proveen un marco de referencia o testigo experimental importante para determinar los centros de domesticación y seguir la evolución de la diversidad genética y otras características a lo largo del proceso evolutivo (Gepts, 1994). Engleman (1991) postula que el estudio de los progenitores silvestres permite disponer de una fuente de genes útiles, ausentes en los cultivares, porque se perdieron o porque nunca se encontraron en ellos, y sería útil introducirlos.

En el área comprendida entre México-Guatemala-Honduras el ciclo vegetativo de las variantes silvestres se desarrolla entre mayo y noviembre, forman parte de los matorrales, los bosques y selvas, son anuales o raramente perennes, con floración y fructificación en el primer año, hábito de crecimiento principalmente trepador e indeterminado, tallos de más de 3 m de longitud y flores pequeñas de color morado, blanco y a veces rosa. Las vainas ocurren en racimos y pueden variar entre dos y 10 por inflorescencia; también varían en tamaño y color, pero los más frecuentes son los colores castaño, bayo y pinto. El número de semillas por vaina es entre ocho y 10, pueden ser de color gris, castaño, crema, amarillo o negro, y su tamaño puede variar entre 0.3 y 1.0 cm de longitud, 0.25 a 0.7 cm de anchura y 0.2 a 0.5 cm de grosor (Miranda, 1967).

Peña-Valdivia y Aguirre (2007) han señalado que los cultivares actuales provienen de antecesores silvestres, de los que se han seleccionado características de importancia antropocéntrica (mayor tamaño de semilla, y ausencia de dehiscencia, factores antifisiológicos, y latencia, entre otros), pero también durante este proceso de domesticación, características indeseables como la alta susceptibilidad a diversos factores bióticos y abióticos, han persistido o incrementado su frecuencia tanto en la planta como en la semilla cosechada. Gepts *et al.* (1986) con base en evidencias moleculares, indican que la variabilidad genética en poblaciones de frijol silvestre es mayor que en cultivares tradicionales, lo cual indica que alguna variación genética pudo haberse perdido durante la domesticación. Por su parte, González *et al.* (1995) estudiaron la relación entre la capacidad de fotosíntesis foliar y el rendimiento, y

encontraron una mayor tasa de intercambio de CO<sub>2</sub> en las plantas de los cultivares Mesoamericanos, de semilla pequeña, que en los cultivares Andinos de semilla grande; además, que el rendimiento menor de los cultivares andinos estuvo inversamente relacionado con el grosor de sus hojas. Debouck (1994) señaló que existe una mayor variación entre los frijoles silvestres que en a los cultivados, debido a la selección directa o indirecta de materiales que nos dan como resultados las variantes cultivadas que tenemos.

Smartt (1988) señaló las modificaciones morfológicas y fisiológicas más importantes producidas durante la domesticación, como pérdida de la dehiscencia de la vaina, incremento en el tamaño de los órganos de interés antropocéntrico (hojas, vainas y semillas), transformación de plantas perennes a anuales, uniformidad de los hábitos de crecimiento, incremento de la permeabilidad de la cubierta de la semilla (pérdida de latencia) y disminución de factores anti-nutricionales. Además de estas modificaciones, la mayor variabilidad de colores de la testa seminal, pero con menor frecuencia del moteado, también ha sido señalada (Peña-Valdivia y Aguirre, 2007). Todas estas características deseables, resultado de la domesticación, determinan en los cultivares la calidad requerida por los agricultores y consumidores (Peña-Valdivia *et al.*, 1999).

Las modificaciones durante la domesticación con frecuencia incluyen el aumento de la producción del órgano de interés antropocéntrico, así como la sincronización en la expresión de las etapas fenológicas, desde la germinación hasta la cosecha; frecuentemente, con la domesticación también se ha generado una amplitud de los límites ecológicos, tanto de las áreas geográficas como en la tolerancia a ambientes (tolerancia a sequía, resistencia a plagas y enfermedades, entre otras) (Peña-Valdivia y Aguirre-Rivera, 2007). En contraste, García *et al.* (1997), en un estudio de los caracteres morfológicos y agronómicos en *P. vulgaris*, sugirieron que durante el proceso de domesticación se ha reducido la variabilidad de la floración, color de las vainas e hipocotilo, número de vainas por planta y tiempo para la maduración fisiológica. Así, entre los cambios durante la domesticación están los deseados por el

consumidor y agricultor, pero también se incluyen cambios indeseables. Peña-Valdivia *et al.* (1999) señalaron que los daños que sufre el frijol domesticado durante el almacenamiento con altas temperaturas y elevada humedad relativa, son mayores que en las semillas silvestres en esas condiciones de almacenamiento. Los mismos autores explicaron que esa tolerancia puede deberse al hecho de que las poblaciones silvestres están expuestas a fluctuaciones amplias de humedad relativa y temperatura en su ambiente natural. López *et al.* (2001) señalaron que el aumento en la sensibilidad de semillas de frijol al almacenamiento bajo altas temperaturas y humedad relativa puede ser resultado del proceso de domesticación.

Se han realizado comparaciones de la fisiología de la semilla (Peña-Valdivia *et al.*, 1995; López *et al.*, 1996), y de la fenología (Peña-Valdivia *et al.*, 2002; Peña-Valdivia *et al.*, 1995; Sánchez-Urdaneta *et al.* 2003) del frijol silvestre y domesticado. Sin embargo, Peña-Valdivia y Aguirre-Rivera (2007) señalan que es necesario abundar más en el conocimiento de las variantes silvestres, desde enfoques científicos diferentes, aunque la aplicación de este conocimiento no sea inmediata ni directa. Los citados autores, también aseguran que para utilizar adecuadamente los progenitores silvestres como fuente de tolerancia a estrés biótico o abiótico o para mejorar o incorporar cualquier otro atributo, es necesario primero entender y conocer la variabilidad genética de sus caracteres distintivos fenológicos, morfológicos, fisiológicos, bioquímicos y biofísicos, asociados a la calidad agronómica, culinaria o nutricia.

## **2.4 Vigor**

De acuerdo con Moreno (1996), la germinación es la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales de la planta que provienen del embrión, y es la expresión de la capacidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables. Pero una vez establecida en el campo, la plántula dependerá de su capacidad para crecer bien y rápidamente; a esto Heydecker (1972) le llamó vigor de plántula.

En contraste con lo señalado por Moreno (1996), respecto a las condiciones favorables, Delouche y Cadwell (1962; citados por Copeland y McDonald, 1985) señalaron que las diferencias en el vigor de las semillas se expresan solamente en condiciones adversas y en la etapa de plántula, ya que después esas diferencias no se distinguen entre los materiales. Por ello Villaseñor (1984) incluyó en su definición de vigor el ambiente diverso como condición para evaluarlo, e indica que es la "capacidad de la semilla, puesta en diversas condiciones ambientales, para emerger más rápidamente y producir la mayor cantidad de materia seca en el menor tiempo". Por su parte, Bettey *et al.* (2000) consideraron el ambiente de cultivo en la expresión de los procesos fisiológicos de la semilla (como el uso de las reservas, la germinación y crecimiento de la plántula), como parte de la caracterización del vigor, pues señalaron que "el vigor es una estimación del éxito de una semilla para establecerse bajo un amplitud de condiciones en el campo y depende tanto de la germinación de la semilla como del uso de sus reservas durante la preemergencia y crecimiento de la plántula".

Además de lo anterior, parece conveniente considerar la velocidad de emergencia y establecimiento de la plántula. En efecto, Dornbos (1995) señaló que el establecimiento rápido de las plántulas es el reflejo de la capacidad de la semilla para producir una plántula con posibilidades de completar exitosamente su ciclo de vida, y puede ser expresado como porcentaje de germinación o viabilidad, atributos incluidos en la definición de vigor y calidad de la semilla.

El vigor de la semilla depende de factores variados, tanto intrínsecos a la semilla, como del ambiente de germinación. Al respecto, Copeland y McDonald (1985) puntualizaron que la constitución genética de la semilla, el ambiente y nutrición de la planta madre, el estado de madurez al cosecharse, el tamaño de la semilla, peso y gravedad específica, integridad o daño, deterioro, edad y patógenos son los factores principales involucrados en la expresión del vigor.

La velocidad de establecimiento del cultivo es la rapidez con que la semilla, o lote de semillas, germina y desarrolla las estructuras de la plántula; esta velocidad de establecimiento, o tiempo entre la germinación y la formación de las hojas primarias, es dependiente de la capacidad de establecimiento. Así, cabría esperar que algunos cultivares o variantes silvestres presenten ventaja al establecerse con las primeras lluvias del temporal, en suelos con humedad limitada, y que ocupen eficientemente el espacio y reduzcan la competencia con arvenses (Revilla *et al.*, 1999). El estudio de los genotipos (silvestres o domesticados) que presenten ventaja en la emergencia y crecimiento de la plántula, en una gama de condiciones bióticas y abióticas, ayudaría a descartar los menos aptos e identificar y seleccionar los mejores; esto reduciría tiempos y costos, a la vez que podrían hacerse recomendaciones a los fitomejoradores sobre cuáles recursos genéticos deban ser considerados para los programas de mejoramiento (Gómez, 1992).

## **2.5 Utilización de reservas**

Las semillas contienen diversos compuestos almacenados como reservas nutricias, que son utilizados durante la germinación y en las primeras etapas del crecimiento de la plántula. Las reservas de las semillas frecuentemente son carbohidratos, lípidos y proteínas. Algunas especies también almacenan otras sustancias menos comunes, pero igualmente importantes como reservas o bien como compuestos indeseables o tóxicos para los mamíferos y otros depredadores, como los alcaloides, lectinas, inhibidores de proteínas y fitina (Bewley y Black, 1994), y oligosacáridos como rafinosa, estaquiosa y verbascosa, en el caso de las semillas de frijol (Peña-Valdivia y Ortega-Delgado, 1986).

En los cereales predominan los carbohidratos, especialmente el almidón, aunque también contienen proteínas y lípidos. Las semillas de algunas familias, como las cucurbitáceas y algunos géneros, como *Citrus*, muestran contenidos elevados de lípidos, aunque también suelen tener contenido alto de proteínas y poco almidón. Estas semillas son generalmente de menor tamaño que las que poseen reservas abundantes de carbohidratos o proteína. Aunque también hay otras semillas de

importancia agrícola que almacenan lípidos como compuesto de reserva principal y son de tamaño grande. Un tercer grupo de semillas son las leguminosas, que almacenan proteínas junto con cantidades considerables de almidón y pequeñas proporciones de lípidos (García-Agustín y Primo-Millo, 1993), con excepciones notables como la soya.

En el endospermo las reservas son almacenadas en todas las células vivas y comúnmente son movilizadas con la intervención de enzimas especializadas que se sintetizan en las mismas células (Bradbeer, 1988). Las reservas de las semillas mantienen a la semilla viva (viable) y sustentan el crecimiento y el desarrollo de la plántula hasta que es autótrofa (autosuficiente). En condiciones favorables para la germinación, después de la hidratación de los distintos tejidos de la semilla, tiene lugar en ellos una serie de procesos metabólicos que incluyen la hidrólisis de las sustancias de reserva; las moléculas más sencillas así generadas, son entonces disponibles para el embrión. Estas reacciones son catalizadas por enzimas hidrolíticas específicas, cuya actividad biológica se incrementa notablemente durante el proceso de germinación, en parte por la activación de enzimas preexistentes, pero, sobre todo por la síntesis de nuevas moléculas enzimáticas (Pérez y Martínez-Laborde, 1994). Así, cabría esperar diferencias significativas en la eficiencia de uso de las reservas entre y dentro de grupos de semillas de una especie vegetal, y entre variantes silvestres y domesticadas, que se expresen en la velocidad de germinación, emergencia y uso de los recursos en el ambiente de la germinación.

Duffus y Slaughter (1992) señalan que los primeros cambios metabólicos que con la germinación ocurren en el embrión, son incrementos en los niveles de metabolitos intermediarios y de enzimas asociadas con la producción de energía. Los primeros incrementos metabólicos están relacionados con la glucólisis, la vía de las pentosas fosfato y el ciclo del ácido tricarboxílico. En semillas como las de frijol, el proceso de degradación del almidón en moléculas de glucosa es catalizado por varias enzimas, entre las que destaca la  $\alpha$ -amilasa; la degradación del almidón se incrementa progresivamente, primero es lenta, luego más rápida y termina con la desaparición

del polisacárido (Pérez y Martínez-Laborde, 1994). Después, sigue la biosíntesis de los ácidos nucleicos y posteriormente la síntesis de proteínas, con la participación del mARN. La siguiente fase involucra la síntesis de ADN, el comienzo de la división celular y la diferenciación de tejidos dentro del embrión. Entre los cambios que suceden posteriormente está la disminución constante de la materia seca de los cotiledones, la cual sucede en los primeros cuatro días; simultáneamente, en otras estructuras de la plántula, especialmente en el hipocotilo, hay un incremento de la materia seca acumulada. El metabolismo de la radícula parece comenzar inmediatamente después de iniciada la hidratación. En la secuencia de eventos está el incremento de la materia seca del epicótilo inmediatamente después de que cesa el crecimiento del hipocotilo (Mayer y Poljakoff-Mayber, 1982).

Las reservas acumuladas en los cotiledones están presentes también en las reservas del parénquima del eje, y un aumento de la materia seca contenida en el eje es resultado directo del inicio de la exportación de los metabolitos desde los cotiledones (Murray, 1984). Las proteínas también pueden ser la principal fuente de reserva energética. En este caso, las enzimas que hidrolizan las proteínas hasta aminoácidos libres son las proteasas. En las semillas de dicotiledóneas, la degradación de las proteínas de reserva se corresponde con una acumulación de aminoácidos libres en los cotiledones (Pérez y Martínez-Laborde, 1994). Por otro lado, los triglicéridos son los compuestos lipídicos consumidos como reservas; en su degradación participan fundamentalmente las lipasas, que rompen los enlaces éster y liberan glicerol y ácidos grasos, los cuales pueden oxidarse hasta generar acetil-CoA como producto final. La acetil-CoA se incorpora al ciclo de Krebs para oxidarse hasta  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , generándose una cantidad alta de energía metabólica, representada por el ATP. En muchas semillas la acetil-CoA puede ser utilizada para producir glúcidos, que junto con los lípidos son la fuente más importante de energía necesaria para el desarrollo del embrión. En oposición al consumo acelerado de los carbohidratos y lípidos, la replicación del DNA suele ser tardía en el proceso de germinación, pues se inicia después de que haya tenido lugar la síntesis de suficiente cantidad de proteínas. En la codificación de éstas participa el DNA pre-existente, formado durante la fase de

maduración de la semilla. En las semillas se produce un considerable incremento de la síntesis de mRNA, previo al incremento de la actividad de las enzimas hidrolíticas que intervienen en el proceso de germinación (Pérez y Martínez-Laborde, 1994).

## 2 6. LITERATURA CITADA

- Betty, M.; W. E. Finch-Savage; G.J. King; J. R. Lynn. 2000. Quantitative genetic analysis of seed vigour and pre-emergence seedling growth traits. *Brassica oleracea* Research 148: 277-286.
- Bewley, J. D.; M. Black. 1994. Seeds. Physiology of development and germination. Plenum. New York, USA. 445p.
- Bradbeer, J.W.1988. Seed dormancy and germination. Chapman & Hall, New York, USA. 146p.
- Copeland, L. O.; M. B. McDonald. 1985. Principles of seed science and technology. Burges. Minnesota, USA. 321 p.
- Cruz, R. 2006. Crean super frijol: produce su fertilizante y resiste tres semanas sin agua. Boletín semanal No. 31. Granos Básicos. 3p.
- Debouck, D. G.1994. Evolución en las especies cultivadas de frijol: la opinión de un herético. 11° Congreso Latinoamericano de Genética (Área vegetal) y XV Congreso de Fitogenética. Monterrey, Nuevo León. 25-30 p.
- Dornbos, L. D. 1995. Seed vigor. In: Basra A. S. (ed.). Seed quality. Haworth. New York, USA. 45-79 p.
- Duffus, C. M.; J. C. Slaughter 1992. Seeds and their uses. Wiley. Edimburgo. 188 p.
- Engleman, E.M. 1991. Contribuciones al conocimiento del frijol (*Phaseolus*) en México. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 140 p.
- Fanghanel, H. H. 1997. La producción del frijol en MEXICO: Diversidad y libre mercado. Congreso Internacional: Experiencias de Bolsas de Productos Agrícolas en Latinoamérica. ASERCA. México. 44 p.
- FAO, 2003. <http://apps.fao.org/faostat>.
- García, E.H.; C.B. Peña-Valdivia; R.J. Aguirre R.; J. Muruaga M. 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.
- García-Agustín, P.; E. Primo-Millo. 1993. Germinación de semillas. En: J. Azcon-Bieto; M. Talon (ed.). Fisiología y bioquímica vegetal. Interamericana McGraw-Hill. España. 419-434 p.

- Gepts, P. 1994. Análisis moleculares del proceso de domesticación en plantas: El ejemplo del frijol común (*Phaseolus vulgaris*). 11° Congreso Latinoamericano de Genética (Área vegetal) y XV Congreso de Fitogenética. Monterrey, Nuevo León. 25-30 p.
- Gepts, P. 1998. Origin and evolution of common bean: Past events and recent trends. HortScience 33(7): 1124-1130.
- Gepts, P.; T.C. Osborn; K. Rashka; F.A. Bliss. 1986. Phaseolin-protein variability in wild forms and landraces of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): evidence for multiple centers of domestication. Economic Botany 40: 451-468 p.
- Gómez G., O.J. 1992. Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) considerando longevidad y vigor de semillas como criterios iniciales de selección. Tesis de M. C. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México 86 p.
- González, A.; J. Lynch; J.M. Tohme; S.E. Beebe; R.E. Macchiavelli. 1995. Characters related to leaf photosynthesis in wild populations and landraces of common bean. Crop Science 35: 1468-1476 p.
- Heydecker, W. 1972. Vigour. In: E.H. Roberts (ed.). Viability of seeds. Chapman and Hall. London. 448 p.
- Kaplan, L. 1981. What is the origin of the common bean? Economic Botany 35(2): 240-254.
- Kaplan, L.; T.F. Lynch. 1998. *Phaseolus* (Fabaceae) in archaeology: AMS radiocarbon dates and their significance for pre-Colombian agriculture. Economic Botany 53(3): 261-272.
- Koenig, R.L.; S.P. Singh; P. Gepts. 1990. Novel phaseolin types in wild and cultivated common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). Economic Botany 44(1): 50-60.
- Koinange, E.M.K.; S.P. Singh; P. Gepts. 1996. Genetic control of the domestication syndrome in common bean. Crop Science 36: 1037-1045.
- López H., M.; C.B. Peña-Valdivia; J.R. Aguirre R.; C. Trejo, J.M. Muruaga. 1996. 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.; J.R. Aguirre. R.; C. Trejo; C.B. Peña-Valdivia. 2001. Differences in seed germination of wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in response to storage. South African Journal of Botany 67: 620-628.
- Mayer, A.M.; A. Poljakoff-Mayber. 1982. The germination of seeds. Pergamon. Oxford. 211p.
- Miranda C., S. 1967. Origen de *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común). Agrocienca. 1:99-109 p.
- Moreno, M. E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Programa Universitario de Alimentos, UNAM. México. 393 p.
- Murray, D.R.1984. Axis-cotyledon relationships during reserve mobilization in Murray, D. R. Seed physiology. Germination and reserve mobilization. Academic. Sdney, Australia. V. 2, p. 247-280.
- Peña-Valdivia, C.B.; E. del. R. Hernández G.; I. Bernal-Lugo; J.R. Aguirre R. 1999. Seed quality of a wild population and an improved cultivar of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) after storage. Interciencia 24(1): 8-14.
- Peña-Valdivia C. B.; R. García N.; J.R. Aguirre R.; C. Trejo. 2002. High temperature breaks dormancy and increases hypocotyl-root growth of wild common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Seed Science and Technology 30(2): 231-248.
- Peña-Valdivia; C.B.; R.J. Aguirre R. 2007. El frijol silvestre mexicano (*Phaseolus vulgaris* L.): Riqueza renovable desaprovechada. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 150 p. En prensa.
- Peña-Valdivia, C.B.; J.R. Aguirre R.; E. del R. García H.; J.S. Muruaga M. 1995. Componentes del rendimiento de una población silvestre y un cultivar de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Quaderni di Botanica Ambientale e Applicata 6: 181-187.
- Peña-Valdivia, C.B.; M. L. Ortega D. 1986. Partial chemical composition, free soluble sugars and unavailable carbohydrates in the embryonic axis and seed coat of *Phaseolus vulgaris* L. (Canario group) Qual Plant Plant Foods Hum Nutr 36: 27-34.

- Pérez, G.F.; J.B. Martínez-Laborde. 1994. Introducción a la fisiología vegetal. Mundi-Prensa. España. 218p.
- Revilla, P.A.; R. Butrón; A. Malvar; A. Ordás. 1999. Relationships among kernel weight, early vigor and growth in maize. *Crop Science* 39: 654-658.
- Sánchez-Rodríguez, G.; J.A. Manríquez-Nuñez; F.A. Martínez-Mendoza; L.A. López-Ibarra. 2001. El frijol en México competitividad y oportunidades de desarrollo. Boletín informativo FIRA, Número 36, Volumen XXXIII, México. 85 p.
- Sánchez-Urdaneta, A.B.; C.B. Peña-Valdivia; C. Trejo; J.R. Aguirre R.; E. Cárdenas; A.B. Galicia J. 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.
- Singh, P.S. 2001. Broadening the genetic base of common bean cultivars: A review. *Crop Sci* 41:1659-1675
- Singh, P.S.; P. Gepts; D.G. Debouck. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Economic Botany* 45(3): 379-396.
- Smartt, J. 1988. Morphological, physiological and biochemical changes in *Phaseolus* bean under domestication. In: P. Gepts (ed.). *Genetic resources of Phaseolus bean*. Kluwer. Dordrecht, The Netherlands: 143-161 p.
- Solórzano, V., E. 1994. El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Universidad Autónoma Chapingo. México. 498 p.
- Villaseñor M., H. E. 1984. Factores genéticos que determinan el vigor en plántulas de maíz. Tesis de M. C. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 149 p.

### III. VARIABILIDAD DE LA MORFOLOGÍA SEMINAL Y DEL VIGOR INICIAL DE GERMOPLASMA MEJORADO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)

#### 3.1 RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar la variación en vigor seminal, con base en la morfología de la semilla y de las plántulas, del germoplasma mexicano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) mejorado, para siembra comercial en diferentes zonas de México. Se utilizó el análisis multivariable de componentes principales y agrupamiento de las características morfológicas de las semillas (peso de la semilla, color, brillo, tono e intensidad del color de la testa, y proporción de cotiledones, testa y eje embrionario) y de las plántulas (altura, biomasa de los cotiledones consumida en la germinación y emergencia, biomasa acumulada en folíolos, hipocótilo y raíz, diámetro y longitud del hipocótilo, y longitud de la raíz) de 48 cultivares mejorados, sembrados a 2.5, 5.0 y 10 cm de profundidad, en condiciones de invernadero. La característica principal de la semilla que condujo el agrupamiento de los cultivares fue el color de la testa, los de color claro formaron un conjunto y los de testa negra el otro. Un segundo nivel de agrupamiento se basó en la proporción de cotiledón de la semilla. La característica que contribuyó menos a explicar la variación morfológica de las semillas fue el contenido de eje embrionario. Respecto a la variabilidad del vigor inicial, el agrupamiento de los cultivares se basó en la capacidad de los 48 cultivares para emerger o no, en las tres profundidades de siembra, 28 de ellos no emergieron con la siembra a 10 cm. Las plántulas de las semillas significativamente más pesadas (38.88 g/100 semillas) fueron en promedio más vigorosas, con mayor altura (24.24 cm) y diámetro de hipocótilo (0.43 cm), acumularon más biomasa en su raíz y folíolos (0.20 y 0.80 g, respectivamente), respecto a las ligeras (20.92 a 33.56 g/100 semillas). Las semillas más ligeras y pequeñas generaron algunas de las plántulas más cortas (22.35 cm), con los folíolos, hipocótilo y raíz ligeros (0.17, 0.05 y 0.06 g, respectivamente) e hipocótilo angosto y corto (0.38 y 7.94 cm). El consumo de

reservas para la emergencia fue el mismo en las tres profundidades (90.3 %). La variación en la morfología seminal y vigor inicial de los 48 cultivares mejorados para cultivo en diferentes regiones agrícolas de México, es reducida.

**Palabras clave:** Morfología seminal, plántula, profundidad de siembra.

### 3.2 ABSTRACT

The Diversity of the initial vigor, based on seed and seedling morphology of Mexican germoplasm common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) improved for commercial sowing in different producing zones was the aim of this work. Multivariate analysis of principal components and cluster analysis were carried out including seed morphology (seed weight, color, brightness, tone and intensity of the color of seed coat, proportion of cotyledons, seed coat and embryonic axis) and seedling morphology (height, biomass of cotyledons consumed in the germination and emergency, accumulated biomass in leaflets, hypocotyl and root, diameter and length of hypocotyl, and root length) of 48 cultivars, sowed at 2.5, 5.0 and 10 cm of depth, under greenhouse conditions. Seed color was the main seed characteristic that lead grouping cultivars, those of clear colors formed the first group and those of black seed coat formed a second one. A second level of seed grouping was based on seed cotyledon proportion and embryonic axis content was the characteristic with the minor importance in seed morphological diversity. In relation to the variability of the initial vigor, grouping cultivars was based on the emergence capacity of the 48 cultivars; 28 cultivars did not emerge with 10 cm sow depth. Seeds significantly heavier (38.88 g/100 seeds) originated, in average, more vigorous and highest (24.24 cm) seedlings, with rough hypocotyl (0.43 cm in diameter), more biomass in root and leaflets (0.20 and 0.80 g, respectively), with respect to the light seedlings. The lightest and small seeds (20.92 to 33.56 g/100 seeds) originated some of shorter (22.35 cm) seedlings, with the lightest leaflets, hypocotyl and root (0.17, 0.05 and 0.06 g, respectively), and thin and

short hypocotyl (0.38 and 7.94 cm). The reserves utilization for seedling emergency was similar for all three depths (90.3%). The seminal morphology variation and the initial vigor in the 48 improved cultivars, for culture in different Mexican agricultural regions, are reduced.

**Keywords:** Deep sowing, seedling, seminal morphology.

### 3.3 INTRODUCCIÓN

Del género *Phaseolus* existen en México cerca de 65 especies, de las cuales sólo cinco fueron domesticadas en el periodo pre-colombino: *Phaseolus acutifolius*, *P. coccineus*, *P. lunatus*, *P. dumosus* y *P. vulgaris* L. (Kaplan *et al.*, 1999). Entre estas especies, *P. vulgaris* (frijol) es la más importante, pues su cultivo ocupa más del 85% de la superficie sembrada de todas las especies de *Phaseolus* en el mundo (Singh, 2001). Mundialmente se siembran 25 millones de hectáreas con frijol y México es uno de los principales productores de esta leguminosa, con 2.2 millones de hectáreas sembradas anualmente, producción de 1.2 millones de toneladas y rendimiento promedio de 643 kg ha<sup>-1</sup> (Cruz, 2006). Actualmente, se acepta la existencia de tres acervos genéticos en América, el mesoamericano, y el andino del norte y el andino del sur (Debouck *et al.*, 1993); a la vez, los acervos o centros de frijol domesticado mesoamericano y del sur de los andes fueron subdivididos en tres razas cada uno (*i.e.* Durango, Mesoamérica y Jalisco para el primero, y Chile, Nueva Granada, y Perú para el segundo), que incluyen variantes cultivadas diferentes y desarrolladas como consecuencia de la domesticación. Cada raza tiene características, adaptación ecológica, y respuesta agronómica propia (Beebe *et al.*, 2000).

En México, desde hace más de 50 años se ha mantenido un programa de mejoramiento genético de frijol que ha permitido la obtención de 120 cultivares

mejorados, para diferentes regiones productoras, y la base de este programa es el gran acervo de cultivares tradicionales (regionales o criollos) dispersos en todo el territorio (Voysesst, 2000; Vargas *et al.*, 2006). Sin embargo, se ha señalado que la aceptación de los cultivares mejorados por los productores es limitada y que, en cierta forma, continúan predominando los cultivares tradicionales, pues en su región de origen frecuentemente generan rendimientos altos y son preferidos por los consumidores locales (Rosales *et al.*, 2003). En contraste, en las áreas de mayor producción, se cultivan grandes extensiones con un número reducido de cultivares, los que dominan el mercado nacional y cubren la demanda de las poblaciones urbanas mayores; esta situación tiende a disminuir la diversidad genética (Peña-Valdivia y Aguirre R., 2007; Vargas *et al.*, 2006). El conocimiento de la diversidad genética puede ayudar a generar acciones para su conservación, uso eficiente y mejoramiento (Singh *et al.*, 1991). Este conocimiento incluye las características morfológicas, fenológicas, bioquímicas, genéticas y otras, en el nivel de la semilla y de la planta (Rosales *et al.*, 2003; Singh *et al.*, 1991; Voysesst, 2000).

El vigor de la plántula es cuantificado usualmente como el peso o tamaño de las plantas jóvenes que aún dependen de las reservas del endospermo (etapa heterótrofa). Luego, al ser consumidas las reservas del endospermo, las plántulas dependen de su capacidad para generar asimilados, formar un dosel y superar a las arvenses (Hamman *et al.*, 2002). La emergencia es dependiente de la calidad de la semilla y del ambiente de cultivo (humedad del suelo, patógenos, temperatura e impedancia, como los más importantes). Unas semanas después de la emergencia, las diferencias morfológicas entre las plántulas permitirán conocer el denominado vigor temprano. Si el vigor temprano es pobre, el cultivo no podrá competir con las arvenses (Hamman *et al.*, 2002; Revilla *et al.*, 1999). Por ello, resulta de interés conocer la variación en el vigor temprano del germoplasma mejorado de frijol, dada su importancia antropocéntrica.

Los métodos multivariantes se utilizan también en la caracterización de los recursos filogenéticos, pues permiten el análisis simultáneo de numerosos individuos,

cultivares, poblaciones, etc. y de un número amplio de características. Entre estos métodos, el análisis de componentes principales (ACP), el factorial de correspondencias (MCA) y el de conglomerados son herramientas adecuadas para analizar los datos que se generan de la caracterización y evaluación preliminar de germoplasma, pues permiten conocer la relación entre las características cuantitativas y muestran las semejanzas y contrastes entre las muestras estudiadas; además, permiten seleccionar las variables cuantitativas discriminantes entre las unidades de estudio (Hidalgo, 2003). En efecto, Núñez y Barrientos (2006) propusieron el uso de ACP como una herramienta para describir la variación interna de grupos o poblaciones en dos o tres combinaciones lineales de variables agrupadas, y observar la dispersión de los individuos en planos con dimensionalidad reducida. Así, Vidal-Barahona *et al.* (2006) establecieron el nivel de semejanza de 21 genotipos de frijol, con base en características morfológicas y moleculares mediante ACP. Beebe *et al.* (2000) determinaron las semejanzas genéticas en una muestra de 269 cultivares tradicionales de frijol de América Central, mediante MCA. Rosales *et al.* (2003) determinaron la diversidad genética de 120 cultivares de frijol mexicano mejorado para siembra comercial en diferentes zonas productoras, con base en 72 características morfológicas y cinco indicadores polimórficos para intersecuencias simples repetidas, mediante ACP y conglomerados; mientras, Otálora *et al.* (2006) evaluaron las características agronómicas, químicas y de cocción del grano de frijol, buscaron correlacionar y seleccionar las variables de mayor incidencia en la caracterización de 29 cultivares de frijol.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la variabilidad del vigor inicial, con base en la existente en la morfología de la semilla y de las plántulas, del germoplasma de frijol mejorado para las diferentes zonas productoras de México. Para lograr este objetivo, se realizaron análisis multivariantes de componentes principales y agrupamiento aglomerativo basados en las características morfológicas de las semillas y las plántulas de 42 cultivares mejorados, sembrados a 2.5, 5.0 y 10 cm de profundidad. La hipótesis planteada es que el mejoramiento de los cultivares ha incrementado a la

homogeneidad morfológica tanto de su semilla como de sus plántulas y por lo tanto de su vigor inicial.

### **3.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.4.1 Material Biológico**

En el estudio se incluyeron 48 cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) mejorado, desarrollados en el Programa de Frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), para su siembra comercial en los diferentes zonas productoras de México (Cuadro 3.1).

#### **3.4.2 Selección y siembra de las semillas**

Se tomaron 1000 semillas al azar, de lotes con cantidad variable de cada cultivar; luego, estas muestras se separaron en semilla chica, mediana y grande, con cribas del número 4.0, 4.65 o 5.0 en el caso de los cultivares con semillas chicas, y del número 6 y 6.5 para las demás. De cada cultivar se escogieron 20 semillas de tamaño mediano, por triplicado, se pesaron individualmente y se sembraron en macetas de 20 L de capacidad, con una mezcla de tierra de monte y arena (2:1) como sustrato, a tres profundidades 2.5, 5.0 y 10.0 cm. Se aplicó un riego a capacidad de campo al momento de la siembra y después, cada tercer día o según se requiriera para mantener el sustrato húmedo.

#### **3.4.3 Variables evaluadas**

Se determinó el peso de 10 grupos de 100 semillas de cada cultivar, en una balanza analítica (precisión de 0.0001 g). Se determinaron tres parámetros del color de la semilla (luminosidad o brillo, matiz o tono e índice de saturación o intensidad del color) con un colorímetro Hunter Lab (D25-PC2). El peso de las estructuras (cotiledón, testa y eje embrionario), de 25 semillas, separadas manual e individualmente, con ayuda de un bisturí, se cuantificó en una balanza analítica (precisión de 0.0001 g) y se calcularon las relaciones entre estas estructuras

(proporción cotiledón/eje embrionario y cotiledón/testa). Las estructuras seminales fueron deshidratadas a 75° C, por 4 días, antes de pesarse.

Cuadro 3.1. Cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizado en el presente estudio y su raza.

Núm.	Cultivar	Raza	Núm.	Cultivar	Raza
1	Amarillo 154	J	25	Negro 8025	M
2	Azufrado Higuera	NG	26	Negro Altiplano	D
3	Azufrado Namiquipa	D/J	27	Negro Chapingo	–
4	Azufrado Noroeste	NG	28	Negro Cotaxtla	M
5	Azufrado Pimono	NG	29	Negro Durango	D
6	Azufrado Regional	NG	30	Negro Huasteco 81	M
7	Azufrado Tapatío	D/J	31	Negro INIFAP	M
8	Bayo INIFAP	J	32	Negro Jamapa	M
9	Bayo Madero	D	33	Negro Medellín	M
10	Bayo Mecentral	J	34	Negro Nayarit	M
11	Bayo Victoria	D	35	Negro Otomí	J
12	Bayo Zacatecas	D	36	Negro Pacífico	M
13	Bayo Zacatecas 20	D	37	Negro Perla	M
14	Bayomex	NG	38	Negro Sahuatoba	M
15	Delicias 72	D	39	Negro Sinaloa	M
16	Flor de Durazno	NG	40	Negro Tacaná	M
17	Flor de Mayo Sol	J	41	Negro Tropical	–
18	Flor de Mayo 2000	J	42	Negro Vizcaya	–
19	FMC	J	43	Negro Zacatecas	J
20	Flor de Mayo M38-2002	J	44	Ojo de Cabra	D
21	Flor de Mayo M 38	J	45	Pinto Anzalduas	D/J
22	Garbancillo Supremo	J	46	Pinto Bayacora	D
23	Manzano	D/J	47	Pinto Mestizo	D
24	Negro 150	J	48	Pinto Villa	D

Razas: D=Durango, J=Jalisco, M=Mesoamericana y NG=Nueva Granada.

Cuando las plántulas expusieron la primera hoja trifoliolada se midió su altura (cm) y el diámetro (cm) del hipocótilo, enseguida fueron cosechadas y se midió la longitud de su raíz (cm), luego fueron disecadas y sus estructuras se mantuvieron en una estufa a 75° C durante 72 horas. Al final de este tiempo se determinó el peso (g) de la raíz, folíolos, hipocótilo y cotiledones. El porcentaje de reservas consumidas fue calculado a partir del promedio de la materia seca de los cotiledones de la semilla de cada cultivar y el peso deshidratado de los cotiledones en las plántulas.

#### **3.4.4 Diseño experimental y análisis estadístico de los resultados**

Se utilizó un modelo experimental completamente al azar con tres repeticiones; cada repetición estuvo constituida por 20 semillas, como unidad experimental. Los resultados fueron ordenados con el análisis multivariable de componentes principales (ACP) para establecer la dispersión de los cultivares en planos con dimensionalidad reducida y agrupados para clasificar los cultivares en dependencia de su homogeneidad (Franco e Hidalgo, 2003). En ambos casos, la variación entre los individuos, en  $m$  dimensiones (o  $m$  variables evaluadas), fueron representadas gráficamente, con la dimensionalidad reducida por agrupamiento de todas las variables en dos o tres combinaciones lineales con características óptimas para la representación subyacente (Núñez y Barrientos, 2006).

Con la finalidad de reconocer la variabilidad morfológica seminal entre los 48 cultivares, independiente del vigor, primero se realizó el análisis multivariable de ordenación y agrupación con las 10 variables de las semillas; luego, para evaluar la variabilidad del vigor inicial se realizó un segundo grupo de análisis multivariable que incluyó sólo cuatro características de la semilla (proporción de cotiledones, eje embrionario y testa en la semillas y tamaño de semilla o peso de 100 semillas) y las ocho de las plántulas (altura, diámetro del hipocótilo, longitud del hipocótilo, longitud de la raíz, peso de la raíz, folíolos, hipocótilo y cotiledones).

### 3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.5.1 Análisis de componentes principales de las características seminales de 48 cultivares de frijol

El ACP de las características de la semilla mostró que los tres primeros CP explicaron el 77.73% de la variación total observada, representada por 50.15, 15.20 y 12.38 %, de la variación total, en los CP1, CP2 y CP3, respectivamente. Las variables de mayor importancia en el CP1 fueron los tres parámetros del color de la semilla (luminosidad, matiz o tono e índice de saturación o intensidad del color), la proporción de cotiledón y testa y su relación (cotiledón/testa) y el peso de las semillas. En este CP1, sólo el índice cotiledón/eje embrionario, porcentaje de eje embrionario y peso del hectolitro carecieron de importancia relativa; sin embargo, en el CP2, las primeras dos variables fueron las que más contribuyeron a explicar la variabilidad total. La relación de las estructuras de la semilla cotiledón/testa y cotiledón/eje embrionario parecen ser, relativamente, importantes en la diversidad de estos cultivares pues explicaron una parte amplia de la variación en los tres primeros CP (Cuadro 3.2).

La disposición espacial de los cultivares en los CP 1 y 2 mostró dos grupos, el primero (A) ubicado a lo largo de los cuadrantes de la izquierda, incluyó los cultivares con testa clara (amarilla o castaña o azufrados) y brillante (luminosidad alta del color), proporción significativamente alta de cotiledón en sus semillas (90.01 a 92.5 %), como los Núm. 1 al 10, 14, 16, 20, 21 a 23, 31, 42, 44 y 46 entre otros, proporción baja de cotiledón en su semilla (88.57 a 89.43 %), como los cultivares Núm. 6, 11 a 13, 15, 45 y 47, o ambos caracteres. En contraste, los cultivares que conformaron el segundo grupo (B), localizados principalmente en los cuadrantes de la derecha, poseen proporción menor de cotiledón (84.77 a 88.98 %), respecto a la mayoría del grupo A, como los Núm. 25 a 28, 30, 34 a 38 y 40 a 43, o testa oscura y opaca, como los Núm. 29, 33 y 39, aunque con proporción alta de cotiledón (89.75 a 90.01 %) en la semilla (Figura 3.1 y Cuadro 3.3). La proporción de cotiledón de la semilla, se relaciona con el tamaño de la semilla y de las reservas que podrían ser

utilizadas durante la germinación y emergencia de la plántula (Duffus y Slaughter, 1992).

Cuadro 3.2. Valor de correlación de las variables en los primeros tres componentes principales.

Variable	Vectores propios		
	CP1	CP2	CP3
Índice cotiledón/testa	<b>-0.816</b>	0.249	<b>-0.483</b>
Índice cotiledón/eje embrionario	-0.354	<b>0.572</b>	<b>0.526</b>
Intensidad (del color)	<b>0.730</b>	0.494	-0.168
Luminosidad (del color)	<b>-0.861</b>	-0.381	0.17
Peso volumétrico	0.140	0.110	0.374
Peso de 100 semillas	<b>-0.714</b>	-0.206	0.322
Porcentaje de cotiledón	<b>-0.875</b>	0.367	-0.214
Porcentaje de testa	<b>0.831</b>	-0.257	0.435
Porcentaje de eje embrionario	0.528	<b>-0.534</b>	-0.428
Tono (del color)	<b>-0.828</b>	-0.449	0.101

Los cultivares con los contenidos significativamente mayores de cotiledón presentaron los contenidos menores de testa, y viceversa. En contraste, sobresalió la homogeneidad de la proporción del eje embrionario en las semillas; así, con excepción del cv. Negro Perla, con una proporción significativamente alta de eje embrionario (4.06 %) los cultivares estudiados son estadísticamente similares en la proporción de eje embrionario en sus semillas (1.23 a 2.00 %) (Cuadro 3.3). Estos resultados contrastan con la proporción y su variabilidad de las estructuras en las semillas de frijol silvestre. En efecto, Flores (2002) encontró en semillas de seis variantes de frijol silvestre, originarias de Chihuahua, Durango y Tlaxcala que el peso seco de la testa representó entre el 11.8 y el 20.4 %, y el del eje embrionario entre el

1.5 y 4.5 % del peso total de la semilla, pero en la variante silvestre originaria de Oaxaca, con semilla significativamente más grande que las otras cinco (14.9 g/100 semillas contra 6.34 a 13.68, respectivamente), tuvo proporciones de testa (9.9 %) y eje embrionario (1.5 %) semejantes a las semillas de variantes domesticadas (de 7.1 a 9.9 y de 0.69 a 1.7 %, respectivamente).

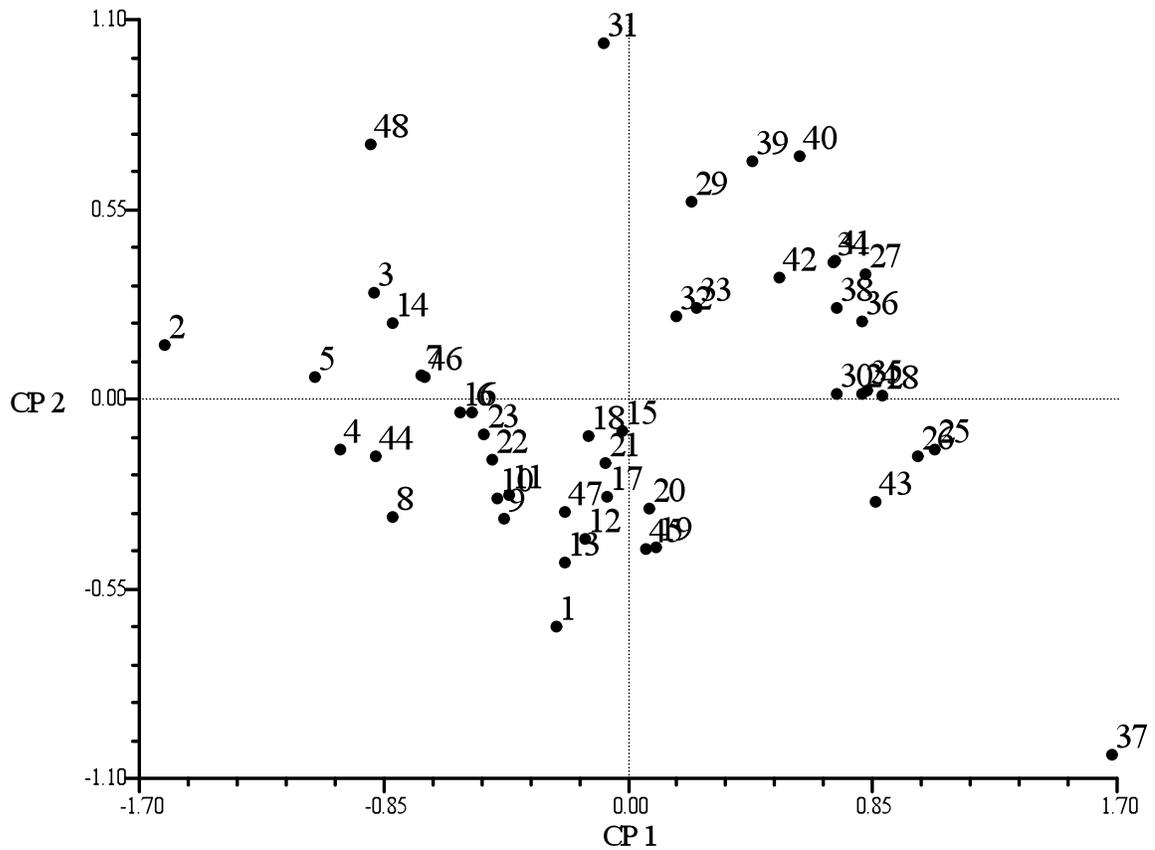


Figura 3.1. Ordenación de 48 cultivares de frijol basada en 10 atributos de sus semillas y referida a los componentes principales 1 y 2.

Cuadro 3.3. Características de la semilla de 48 cultivares de frijol.

Núm.	Cultivar	Color			Tono (°)	Volumétrico semillas (g)	Peso (g)	Cotiledón (%)	Testa (%)	E.E. (%)	Cotiledón/ Testa	Cotiledón/ E.E.
		Luminosidad (°)	Cromaticidad (°)									
1	Amarillo 154	47.99	46.52	67.96	83.77 t-k	24.65 pq	89.21 b-g	<b>9.18 a-h</b>	1.75 b	10.55 c-f	53.4 ab	
2	Azufrado Higuera	65.41	41.54	87.71	83.77 t-k	<b>51.57 a</b>	<b>92.49 a</b>	6.14 i	1.35 b	<b>15.45 a</b>	73.57 ab	
3	Azufrado Namiquipa	61.14	27.71	75.89	86.87 f-h	29.93 m	<b>91.22 a-d</b>	7.40 f-i	1.43 b	12.97 a-e	102.43 ab	
4	Azufrado Noroeste	65.06	32.91	84.16	82.13 j-n	46.27 b	<b>91.43 a-c</b>	7.28 g-i	1.60 b	<b>12.59 a-e</b>	66.5 ab	
5	Azufrado Pimono	65.40	29.10	82.95	79.62 o-q	37.05 h	<b>91.91 ab</b>	6.76 hi	1.53 b	<b>13.87 a-c</b>	67.04 ab	
6	Azufrado Regional	67.45	34.22	84.24	81.45 l-p	34.99 i	89.36 b-g	<b>9.45 a-g</b>	1.23 b	10.43 c-f	<b>107.69 a</b>	
7	Azufrado Tapatío	66.23	27.66	83.34	80.44 m-p	31.08 l	<b>90.62 a-f</b>	7.77 c-i	1.65 b	<b>12.11 a-f</b>	99.39 ab	
8	Bayo INIFAP	67.03	42.50	60.81	<b>89.9 a</b>	27.81 n	<b>90.98 a-f</b>	7.28 g-i	1.92 b	<b>12.99 a-d</b>	57.13 ab	
9	Bayo Madero	54.32	41.16	50.46	78.38 qr	37.00 h	<b>89.63 a-g</b>	<b>9.10 a-h</b>	1.36 b	9.93 c-f	69.27 ab	
10	Bayo Mecentral	64.21	26.96	73.04	86.33 f-h	27.22 n	<b>90.32 a-g</b>	8.03 b-i	1.75 b	<b>11.66 a-f</b>	56.16 ab	
11	Bayo Victoria	51.06	31.01	58.16	83.17 i-l	46.89 b	89.43 b-g	<b>9.14 a-h</b>	1.37 b	10.12 c-f	70.57 ab	
12	Bayo Zacatecas	54.96	30.82	62.20	81.65 k-o	39.07 g	88.56 c-g	<b>9.99 a-e</b>	1.43 b	9.44 c-f	71.41 ab	
13	Bayo Zacatecas 20	62.14	28.81	65.77	88.68 a-d	41.16 e	88.80 c-g	<b>9.62 a-g</b>	1.46 b	9.34 d-f	64.85 ab	
14	Bayomex	52.35	26.79	74.01	81.34 l-p	41.8 e	<b>90.66 a-f</b>	8.00 b-i	1.27 b	<b>12.31 a-e</b>	95.38 ab	
15	Delicias 72	44.45	23.78	56.08	87.53 b-f	18.28 v	88.85 c-g	<b>9.88 a-f</b>	1.25 b	9.35 d-f	90.60 ab	
16	Flor de Durazno	46.45	17.59	44.36	82.57 j-l	43.6 d	<b>90.62 a-f</b>	7.79 c-i	1.54 b	<b>11.89 a-f</b>	65.10 ab	
17	Flor de Mayo Sol pajizo	50.40	18.92	44.74	88.41 a-d	24.32 pq	89.36 b-g	<b>8.87 a-h</b>	1.66 b	10.77 b-f	56.29 ab	
	Rosado/fondo pajizo											

**Cuadro 3.3: Continuación**

Núm.	Cultivar	Color				Peso Volumétrico semillas (g)	Cotiledón (%)	Testa (%)	E.E. (%)	Cotiledón/ Testa	Cotiledón/ E.E.
		Luminosidad (°)	Cromaticidad (°)	Tono (°)							
18	Flor de Mayo 2000	50.89	14.97	39.71	89.03 a-c	24.71 p	89.38 b-g	<b>8.78 a-h</b>	1.44 b	10.73 c-f	65.35 ab
	pájizo										
19	FMC	46.14	19.85	43.65	86.5 f-h	29.48 m	88.66 c-g	<b>9.47 a-g</b>	1.72 b	9.74 c-f	57.13 ab
	pájizo										
20	Flor de Mayo M38- 2002	48.20	17.37	44.37	77.02 ts	33.11 j	88.57 c-g	<b>9.81 a-f</b>	1.52 b	9.115 d-f	68.96 ab
21	Flor de Mayo M 38	50.28	19.33	48.29	87.76 b-f	23.93 qr	89.30 b-g	<b>9.03 a-h</b>	1.51 b	10.27 c-f	65.89 ab
	pájizo										
22	Garbancillo	61.87	29.66	78.77	86.01 f-h	21.51 s	<b>89.95 a-g</b>	7.76 c-i	1.60 b	<b>12.28 a-f</b>	58.83 ab
	Supremo										
23	Manzano	51.19	25.31	59.78	76.97 s	33.13 j	<b>90.01 a-g</b>	8.10 b-i	1.48 b	<b>12.16 a-f</b>	62.81 ab
24	Negro 150	23.16	0.36	267.80	87.16 e-f	23.52 r	88.33 d-g	9.74 a-g	1.78 b	9.26 d-f	51.00 ab
25	Negro 8025	21.76	0.82	265.20	83.72 i-k	17.32 w	87.69 g	<b>10.08 a-d</b>	2.00 b	8.00 d-f	<b>46.72 ab</b>
26	Negro Altiplano	21.49	0.34	267.97	89.06 a-c	24.14 p-r	87.71 g	<b>10.22 a-c</b>	1.99 b	8.88 d-f	<b>46.23 ab</b>
27	Negro Chapingo	17.85	0.42	310.63	89.06 a-c	18.19 v	88.39 d-g	<b>9.81 a-f</b>	1.64 b	9.47 c-f	75.86 ab
28	Negro Cotaxta	19.72	0.92	261.33	89.27 a-c	15.01 y	88.50 d-g	<b>9.44 a-g</b>	1.95 b	9.69 c-f	<b>46.13 ab</b>
29	Negro Durango	27.78	0.76	326.20	79.03 p-r	32.90 jk	<b>89.79 a-g</b>	<b>8.60 a-i</b>	1.41 b	<b>11.08 a-f</b>	75.14 ab
	sembrillante										
30	Negro Huasteco 81	20.76	0.55	134.45	85.29 g-i	<b>17.00 w</b>	88.35 d-g	<b>9.93 a-e</b>	1.61 b	9.14 d-f	59.24 ab
31	Negro INIFAP	18.31	0.62	272.73	86.13 f-h	21.48 s	<b>91.10 a-e</b>	7.61 d-i	1.13 b	<b>12.54a-e</b>	89.3 ab

Cuadro 3.3: Continuación

Núm.	Cultivar	Color		Cromaticidad		Tono (°)	Volumétrico semillas (kg/hL <sup>-1</sup> )	Peso (g)	Cotiledón (%)	Testa (%)	E.E. (%)	Cotiledón/ Testa	Cotiledón/ E.E.
		Luminosidad (°)	Cromaticidad (°)										
32	Negro Jamapa	21.49	0.37	130.66	80.1 n-p	19.35 u	90.05 a-g	7.69 d-i	1.88 b	12.13 a-f	56.41 ab		
33	Negro Medellín	19.87	0.33	199.43	80.07 n-p	18.11 v	90.01 a-g	7.71 c-i	2.00 b	13.06a-d	47.70 ab		
34	Negro Nayarit	18.38	1.03	275.60	83.72 i-k	14.93 y	88.92 c-g	9.52 a-g	1.47 b	9.81 c-f	65.15 ab		
35	Negro Otomí	19.80	13.16	329.80	82.33 j-m	24.90 op	88.17 fg	10.09 a-d	1.69 b	8.80 d-f	55.37 ab		
36	Negro Pacífico	20.50	0.84	277.33	83.8 i-k	16.11 x	88.66 c-g	9.644 a-g	1.59 b	9.25 d-f	58.07 ab		
37	Negro Perla	21.34	0.77	255.17	82.58 j-i	24.22p-r	84.77 h	10.86 a	4.06 a	7.863 f	33.28 b		
38	Negro Sahuatoba	47.99	46.52	67.96	88.74 a-d	21.41 st	88.63 c-g	9.66 a-g	1.56 b	9.58 c-f	60.92 ab		
39	Negro Sinaloa	65.41	41.54	87.71	85.62 g-h	14.60 y	89.75 a-g	8.83 a-h	1.35 b	10.80 b-f	79.69 ab		
40	Negro Tacaná	61.14	27.71	75.89	85.56 g-h	18.70 uv	88.42 d-g	9.90 a-f	1.49 b	9.54 c-f	61.68 ab		
41	Negro Tropical	23.96	0.68	301.20	82.51 j-i	18.18 v	88.29 e-g	10.13 a-d	1.52 b	9.17 d-f	97.81 ab		
42	Negro Vizcaya	20.62	0.59	287.13	76.88 s	34.47 i	88.98 c-g	9.34 a-g	1.45 b	10.27 c-f	64.45 ab		
43	Negro Zacatecas	20.77	0.54	265.90	89.63 ab	20.64 t	87.66 gh	10.46 ab	1.82 b	8.53 ef	51.18 ab		
44	Ojo de Cabra castaño	22.01	0.51	242.87	84.78 h-j	32.32 k	90.21 a-g	7.77 c-i	1.57 b	15.19 ab	61.06 ab		
45	Pinto Anzalduas Gris variegado castaño	21.15	1.11	322.50	86.11 f-h	25.55 o	88.92 c-g	9.19 a-h	1.761 b	10.06 c-f	52.68 ab		
46	Pinto Bayacora Pajizo variegado castaño	22.96	0.67	91.17	75.01 t	39.86 f	90.55 a-g	7.50 e-i	1.44 b	12.65 a-e	71.05 ab		
47	Pinto Mestizo Pajizo variegado castaño	47.52	34.58	50.82	84.94 h-j	44.74 c	89.04 b-g	8.92 a-h	1.97 b	10.28 c-f	69.48 ab		
48	Pinto Villa Pajizo variegado castaño	46.99	24.93	56.40	87.85 b-f	39.84 fg	90.63 a-f	7.84 c-i	1.40b	12.10 a-f	66.07 ab		

Valores seguidos por la misma letra dentro de columnas son estadísticamente similares ( $P \leq 0.05$ ).

Peña-Valdivia *et al.* (1998) demostraron la existencia de correlaciones positivas y altamente significativas entre el peso de los cotiledones, el peso del eje embrionario y el de la testa de las semillas de frijol; con base en sus resultados, estos autores señalaron que con el tamaño de la semilla se modifica proporcionalmente cada una de sus estructuras anatómicas pero no altera su papel en la viabilidad ni en la germinación. Así mismo, con base en evidencias experimentales, Peña-Valdivia *et al.* (1998) postularon que con el incremento del tamaño de la semilla, resultado de la domesticación, aumentó el peso absoluto de la testa, pero a la vez su peso relativo en relación al peso total de la semilla disminuyó alrededor del 50 %.

El peso volumétrico es una característica de calidad de la semilla. Cultivares con valores iguales o superiores a  $75 \text{ kg/hL}^{-1}$ , según la norma del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (Moreno, 1996), son semillas que germinarán y desarrollarán una plántula sana. Los resultados del Cuadro 3.3 muestran que de los 48 cultivares solo Manzano (Núm. 23), Negro Vizcaya (Núm. 42) y Pinto Bayacora (Núm. 46) poseen semilla con peso ligeramente superior al de la norma, el resto de los cultivares se encuentra dentro del rango de  $77.02$  a  $89.9 \text{ kg/hL}^{-1}$ , siendo las semillas con mayor peso volumétrico aquellas con menor peso de 100 semillas.

La ordenación con respecto a los CP 1 y 3 mostró una distribución relativamente homogénea de los cultivares en los cuatro cuadrantes, es decir sin una tendencia o patrón identificable claramente a simple vista. Este resultado contrastó con la ordenación sobre los CP 1 y 2 (Figuras 3.1 y 3.2).

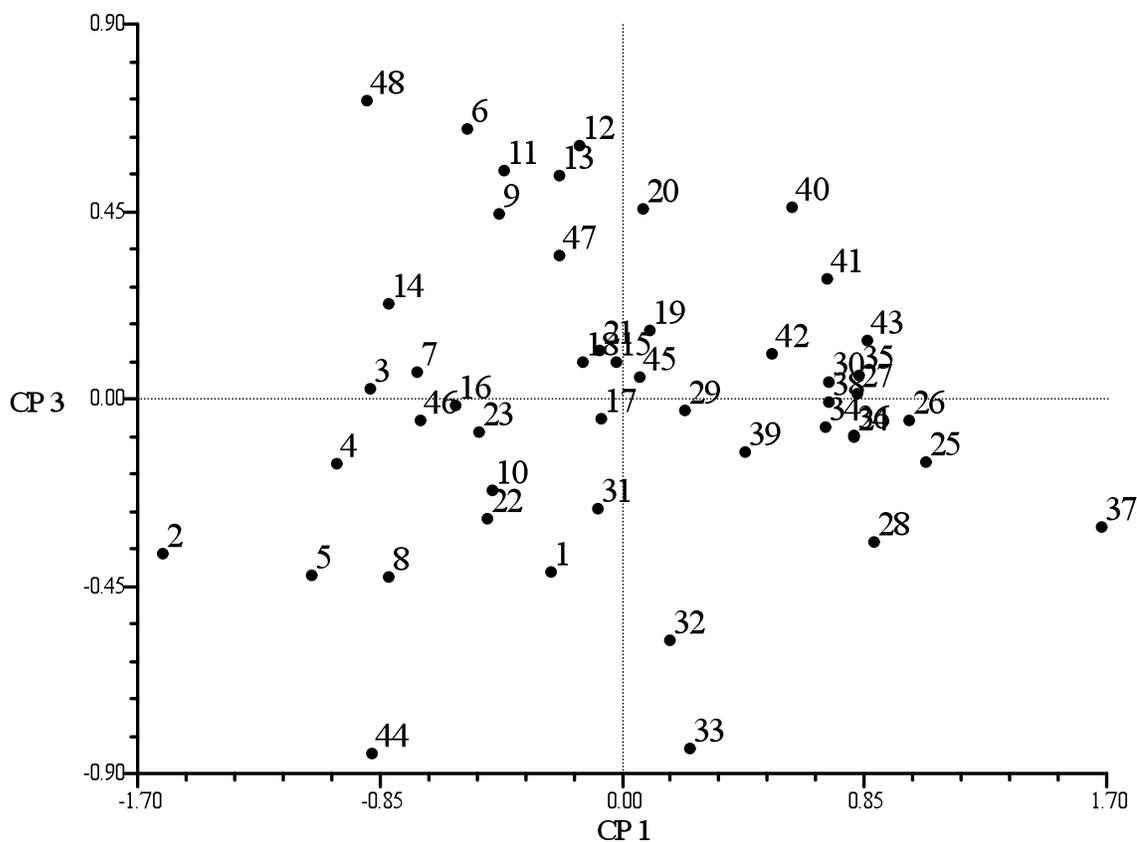


Figura 3.2. Ordenación de 48 cultivares de frijol basada en 10 atributos de sus semillas y referida a los componentes principales 1 y 3.

### 3.5.2. Clasificación de los 48 cultivares con base en las características de sus semillas

El dendrograma de la Figura 3.3, con un coeficiente de correlación cofenética de 0.85, muestra dos conjuntos principales de grupos, separados por el color de la testa; el conjunto **A** está conformado por 28 cultivares, exclusivamente aquellos cuyas semillas tiene testa con colores claros (amarillo, pajizo, rosado, un lila e inclusive un gris), esto es, los cultivares Núm. 1 a 23 y 44 a 48 (Cuadro 3.3). El conjunto **B** está conformado por 20 cultivares, los Núm. el 24 a 43 (Cuadro 3.3), todos con testa negra. Ambos conjuntos, A y B, incluyen cultivares con semillas pesadas y ligeras, diferentes proporciones de cotiledones, testa y eje embrionario, distinto nivel de brillo

u opacidad de la testa y resultaron pertenecientes a cualquiera de las cuatro razas (Durango, Jalisco, Mesoamérica y Nueva Granada).

El conjunto A claramente se dividió en dos subconjuntos, **A1** y **A2**, el primero de ellos se caracterizó por contener los 17 cultivares con los pesos volumétricos menores (entre 265 y 692 kg hL<sup>-1</sup>) y, con excepción de tres cultivares (Núm. 1, 6 y 15 con 88.85 a 89.36 % de cotiledón), presentar las proporciones significativamente más elevadas de cotiledón (89.95 a 92.49 %) de los 48 cultivares estudiados. De hecho, el subconjunto A1 estuvo conformado por dos grupos **A1a** y **A2b**, el primero formado por sólo tres cultivares, Amarillo 154, Delicias 72 y Ojo de Cabra (Núm. 1, 15 y 44, con 77.9, 69.2 y 74.0 kg hL<sup>-1</sup>, respectivamente), con los pesos volumétricos menores del total de cultivares evaluados. Mientras que, el subconjunto A2 estuvo integrado por un solo grupo con los cultivares cuyas semillas poseen un porcentaje elevado de testa (8.92 a 9.99 %).

El conjunto B también estuvo formado por dos subconjuntos, el **B1** fue el más numerosos, incluyó 18 cultivares, todo ellos con semillas pequeñas (peso de 100 semillas entre los menores, de 14.93 a 24.90 g), pero con proporción elevada de testa (8.60 a 10.46 %), con excepción del Núm. 31 (7.61 % de testa). El subconjunto **B2** se conformó con sólo dos cultivares (Núm. 32 y 33), con semilla pequeña (18.11 y 19.35 g/100 semillas) y proporción baja de testa (7.69 y 7.71 %) pero contenido de cotiledón (90.01 y 90.05 %) elevado, como la mayoría de los cultivares del subconjunto A1 (Cuadro 3.3).

Sobresalió el hecho de que el eje embrionario fuera la característica de la semilla más homogénea entre los 48 cultivares, por lo cual careció de importancia en la ordenación y en la clasificación de dichos cultivares.

Los resultados de la presente investigación muestran en general una variabilidad reducida en las características de las semillas de los 48 cultivares estudiados. Esto coincide parcialmente con los resultados de Rosales *et al.* (2003), quienes evaluaron

la variabilidad de 120 cultivares mejorados, para siembra comercial en diferentes zonas productoras de México, y señalaron que sólo en algunas clases comerciales de frijol la variabilidad se incrementó con el mejoramiento; además, que la variabilidad coincidió parcialmente con las razas previamente asignadas a los cultivares, lo cual está relacionado principalmente con el tamaño de semilla.

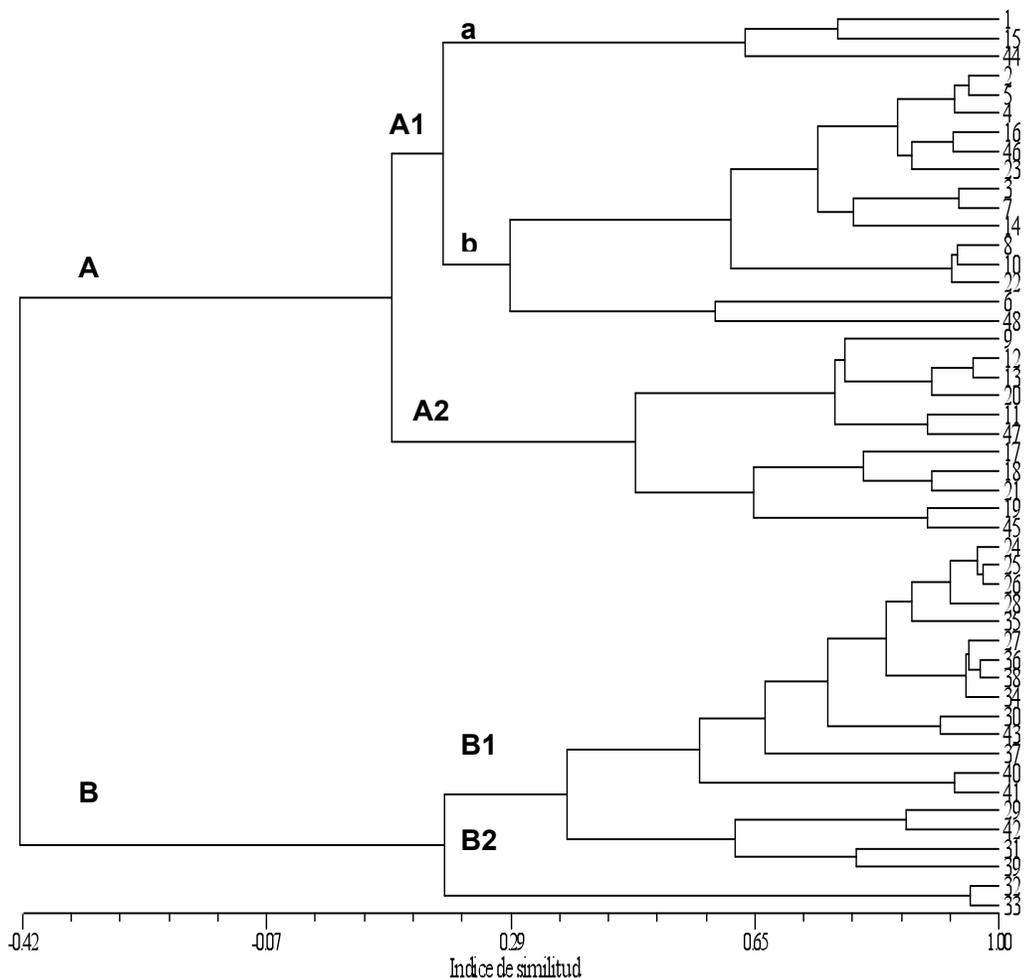


Figura 3.3. Clasificación de 48 cultivares mejorados de frijol, basado en el método de agrupamiento UPGMA.

La clasificación parcial de los cultivares de frijol negro coincide con la región de origen, pues los de testa negra opaca, provienen de regiones tropicales húmedas y

de baja altitud (raza Mesoamericana), mientras que las de tipo negro brillante y de tamaño mediano se siembran en el Altiplano y por sus características se agrupan dentro de las razas Jalisco y Durango (Singh *et al.*, 1991).

### **3.5.3 Análisis de componentes principales de las características morfológicas seminales y de las plántulas**

Para este análisis se consideró conveniente incluir únicamente cuatro características de las semillas (peso de 100 semillas, proporción de cotiledones, testa y eje embrionario) y ocho de las plántulas (biomasa del hipocótilo, folíolos, raíz y la biomasa consumida durante la germinación y emergencia, diámetro del hipocótilo, longitud del hipocótilo y la raíz, y altura de la plántula) emergidas después de la siembra a 2.5, 5 y 10 cm de profundidad. Cabe destacar que aunque el eje embrionario fue la característica con menor variabilidad, se incluyó en esta segunda parte del estudio debido a su importancia durante la germinación y la emergencia (Desai *et al.*, 1997).

Los tres primeros componentes explicaron el 83.13 % de la variabilidad total observada, con 55.03, 21.74 y 6.36 % en el primero, segundo y tercer CP, respectivamente. Las variables de mayor contribución al CP1 fueron las ocho que describen a las plántulas; en contraste, las de mayor contribución al CP2 fueron las cuatro que describen a la semilla, y en el CP3 sólo el porcentaje de eje embrionario tuvo peso relativo elevado. La proporción de eje embrionario fue la única variable de las 12 incluidas en el análisis, más destacada en dos CP (Cuadro 3.4). Este resultado confirma la importancia del eje embrionario en la variabilidad del proceso de germinación y emergencia en el germoplasma evaluado.

La ordenación con respecto al CP1 y CP2 mostró la polarización de dos grandes conjuntos de cultivares y la disposición marginal de los cultivares Núm. 2 ('Azufrado Higuera') y 37 ('Negro Perla') fuera del resto de la dispersión provocada por el CP2 (Figura 3.4). La ordenación sobre los CP1 y CP3 confirmó el patrón de concentraciones extremas sobre el CP1 de las entidades biológicas relacionadas con

la siembra a 2.5 y 5.0 cm de profundidad, y la separación del cultivar Núm. 37, provocada por el CP3.

Cuadro 3.4. Vectores propios de las 12 variables en los primeros tres componentes principales (CP), del análisis de 48 cultivares de frijol.

Variable original	Vectores propios		
	CP1	CP2	CP3
Altura de la plántula (cm)	<b>0.9534</b>	-0.0421	-0.0668
Biomasa de la raíz (g)	<b>0.8786</b>	0.0510	0.2090
Biomasa del hipocótilo (g)	<b>0.9026</b>	0.0757	-0.0198
Biomasa de los folíolos (g)	<b>0.8795</b>	0.0229	0.0737
Biomasa consumida (%)	<b>0.9484</b>	-0.0911	-0.1283
Cotiledón (porcentaje de la semilla)	-0.0134	<b>0.9607</b>	-0.0051
Diámetro del hipocótilo (cm)	<b>0.9557</b>	0.0072	-0.0776
Eje embrionario (porcentaje de la semilla)	0.0316	<b>-0.6572</b>	<b>0.7116</b>
Longitud de hipocótilo (cm)	<b>0.8642</b>	-0.0732	-0.1136
Longitud de raíz (cm)	<b>0.8727</b>	-0.0230	0.0727
Peso de 100 semillas (g)	0.1064	<b>0.6770</b>	0.2966
Testa (porcentaje de la semilla)	-0.0346	<b>-0.8784</b>	-0.2737

El conjunto más numeroso, de los dos separados por el CP1, en ambas ordenaciones (Figura 3.4 y 3.5) está conformado principalmente por entidades biológicas relacionadas con la siembra a 2.5 y 5.0 cm de profundidad (número de cultivar seguido por las letra a o b, respectivamente), aunque, también contiene algunas relacionadas con la siembra a 10 cm de profundidad. En contraste, el conjunto compacto en los cuadrantes del lado izquierdo, está conformado casi exclusivamente por entidades biológicas relacionadas con 28 cultivares cuyas plántulas no emergieron cuando fueron sembrados a 10 cm de profundidad (Figuras 3.4 y 3.5).

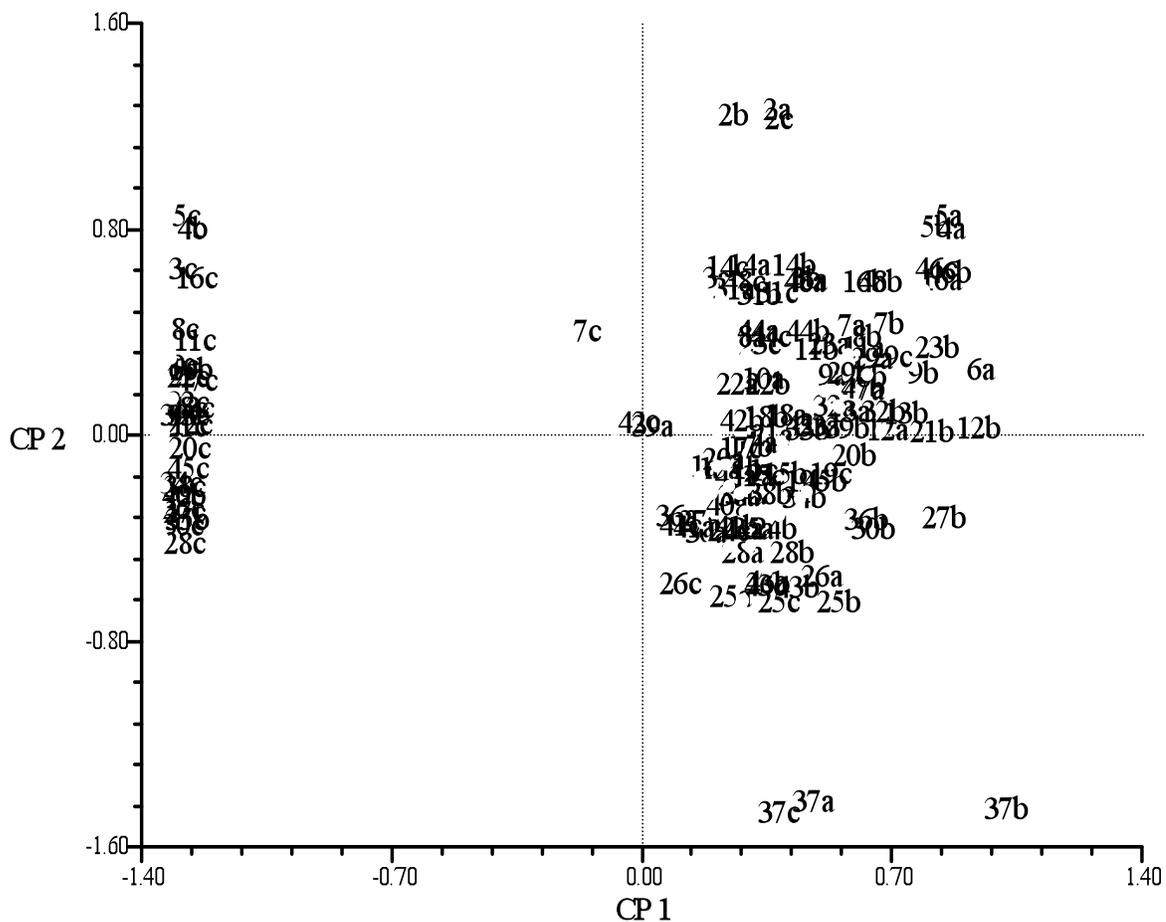


Figura 3.4. Ordenación mediante el análisis de componentes principales (CP1 y CP2), basada en 12 características morfológicas de la semilla y las plántulas, de 48 cultivares de frijol, sembrados en tres profundidades (a: 2.5 cm, b: 5.0 cm y c: 10 cm).

Estos resultados son una muestra de la variabilidad en un atributo vital, la emergencia, de los cultivares mejorados, en dependencia de la profundidad de siembra. De acuerdo con los resultados del ACP, para el 99 % de los cultivares fue indistinto que se sembrara a 2.5 o 5.0 cm, y también para cerca del 60 % cuando se

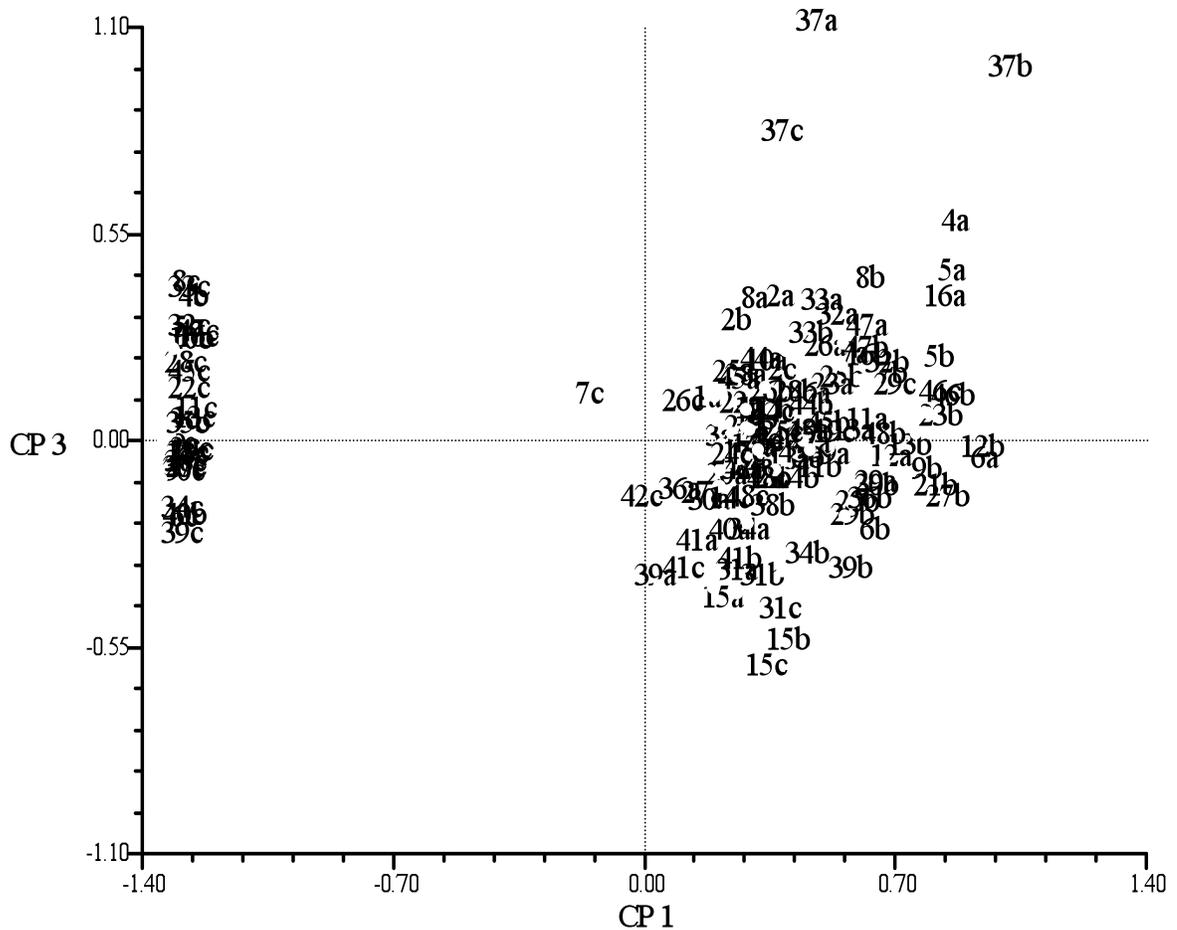


Figura 3.5. Ordenación mediante el análisis de componentes principales (CP1 y CP3), basada en 12 características morfológicas de la semilla y las plántulas, de 48 cultivares de frijol, sembrados en tres profundidades (a: 2.5 cm, b: 5.0 cm y c: 10 cm).

sembraron a 10 cm de profundidad. Estos resultados también muestran que la expresión del vigor de la semilla en la germinación y emergencia es dependiente de la profundidad de siembra. Además, puede decirse que los resultados evidencian la variabilidad reducida en el vigor seminal entre los cultivares mejorados.

Sin embargo, el análisis de varianza y la comparación múltiple de medias mostró diferencias estadísticas significativas en siete de las ocho características de las

plántulas generadas con las tres profundidades de siembra (Cuadro 3.5). Lo anterior indica que el efecto de la profundidad de siembra no presenta un patrón único entre las variantes de frijol. Al respecto, la altura de la plántula, la biomasa acumulada en los folíolos e hipocótilo, y el diámetro de este último en las plántulas de la siembra a 5 cm de profundidad, en promedio para los 48 cultivares corresponden a plántulas más robustas que cuando se sembraron a 2.5 y 10 cm. En contraste, la altura significativamente menor de las plántulas, el crecimiento limitado de la raíz y acumulación reducida de biomasa en los folíolos, incipientemente desarrollados, de las plántulas de la siembra a 10 cm de profundidad, indican que estas plántulas fueron las menos vigorosas de los tres grupos con profundidad de siembra distinta (Cuadro 3.5). Los cultivares ordenados a lo largo del CP1, entre los valores -0.14 y 1.0, se ordenaron con base en un gradiente de vigor de las plántulas. Así, los localizados entre los valores -0.14 y 0.2, como los Núm. 7, 26, 31 y 42 generaron plántulas pequeñas (con 12 a 19 cm de altura), con raíces cortas (entre 3 y 7.9 cm) y acumulación de biomasa reducida en la raíz (entre 0.03 y 0.05 g) y en las hojas (entre 0.05 y 0.15 g) con la siembra a 10 cm de profundidad; mientras que, en el extremo derecho del CP1, entre los valores 0.70 y 0.85, como los cultivares Núm. 4, 5, 6, 9, 12, 16, 21, 23, 27 y 37 generaron las plántulas más vigorosas y altas (entre 24 y 32 cm), con las raíces más extensas (de 9 a 17 cm) y acumulación mayor de biomasa en la raíz (de 0.07 a 0.17 g) y las hojas (de 0.20 a 0.36 g) con la siembra a 2.5 y 5.0 cm de profundidad (Figuras 3.4 y 3.5).

Cabe destacar que el promedio de la biomasa residual de los cotiledones (o al contrario, el porcentaje de biomasa consumida), después de la emergencia fue significativamente igual para todos los cultivares con las tres profundidades de siembra. Esto indica que la mayor proporción de las reservas de la semilla, localizadas en los cotiledones, en promedio fueron consumidas en proporciones similares durante la germinación y emergencia de las plántulas, independientemente de su asignación heterogénea a las estructuras de las plántulas, como reacción a las diferencias en la profundidad de siembra.

Cuadro 3.5. Características de las plántulas de 48 cultivares mejorados, sembrados a tres profundidades.

Profundidad de siembra (cm)	Altura de la plántula (cm)	Biomasa				Hipocótilo (cm)		Longitud de raíz (cm)
		Folíolos	Hipocótilo	Raíz	Consumida	Diámetro	Longitud	
		(g)	(g)	(g)	(%)			
2.5	22.34 b	<b>0.196 a</b>	0.052 b	<b>0.075 a</b>	<b>90.85 a</b>	0.363 c	6.00 c	<b>12.14 a</b>
5.0	<b>23.91 a</b>	<b>0.195 a</b>	<b>0.062 a</b>	0.070 b	<b>90.40 a</b>	<b>0.435 a</b>	9.38 b	10.37 b
10.0	20.76 c	0.139 b	<b>0.064 a</b>	0.055 c	<b>90.89 a</b>	0.413 b	<b>9.81 a</b>	7.74 c

Valores seguidos por la misma letra dentro de columnas son estadísticamente similares ( $P \leq 0.05$ ).

Los resultados de este estudio coinciden con los obtenidos en trigo (*Triticum turgidum* L.) por Mahdi *et al.* (1998); estos autores observaron que a 12 cm de profundidad de siembra se generaron brotes delgados y más largos que con la siembra a 3 y 6 cm. Kirby (1993) señaló que al incrementar la profundidad de siembra se reduce la tasa de crecimiento del primordio, por lo tanto la tasa de emergencia, el número total de hojas en el tallo principal, la elongación del tallo y la longitud de los entrenudos. 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 10 cm de profundidad se redujo significativamente (resultados no mostrados).

La mayoría de los cultivares ordenados en el cuadrante superior derecho, como los Núm. 2, 4, 5, 7 a 10, 14, 22, 23, 31, 32, 44, y 46 de la Figura 3.4, se caracterizan por su proporción significativamente alta de cotiledón, proporción de testa significativamente menor, o ambas (Cuadro 3.3). En contraste los cultivares Núm. 1,

15, 19, 20, 24 a 28, 36, 40 y 41, ubicados en el cuadrante inferior derecho de la misma Figura 3.4 son parte del grupo que posee las proporciones mayores de testa del grupo evaluado y tiene semillas pequeñas o ligeras (Cuadro 3.3).

El tamaño de la semilla también puede ser una característica relevante para asegurar el éxito de la emergencia. Leishman *et al.* (2000) señalaron que las reservas de la semilla son translocadas a las diferentes estructuras de la plántula en forma progresiva, y en algún periodo durante este proceso de translocación el tamaño de semilla debe tener ventajas, pues una semilla grande permitirá incrementar o asegurar la cantidad suficiente de reservas que la plántula requiera para concluir su desarrollo, inclusive en condiciones adversas.

#### **3.5.4 Análisis de agrupamiento de 48 cultivares, basado en las características seminales y de las plántulas**

La clasificación de los cultivares con base en cuatro características de las semillas (*i.e.* peso de 100 semillas, y proporción de cotiledones, eje embrionario y testa) y ocho de las plántulas (biomasa del hipocótilo, folíolos, raíz y consumida durante la germinación y emergencia, diámetro del hipocótilo, longitud del hipocótilo y la raíz, y altura de la plántula), con coeficiente de correlación cofenética de 0.8, parte de la conformación de dos conjuntos principales, A y B. La diferencia entre estos conjuntos es que el primero incluyó a los cultivares que originaron plántulas emergidas con la siembra a 2.5, 5.0 y 10 cm, mientras que el conjunto B conformó un solo grupo con los que no emergieron (Figura 3.6).

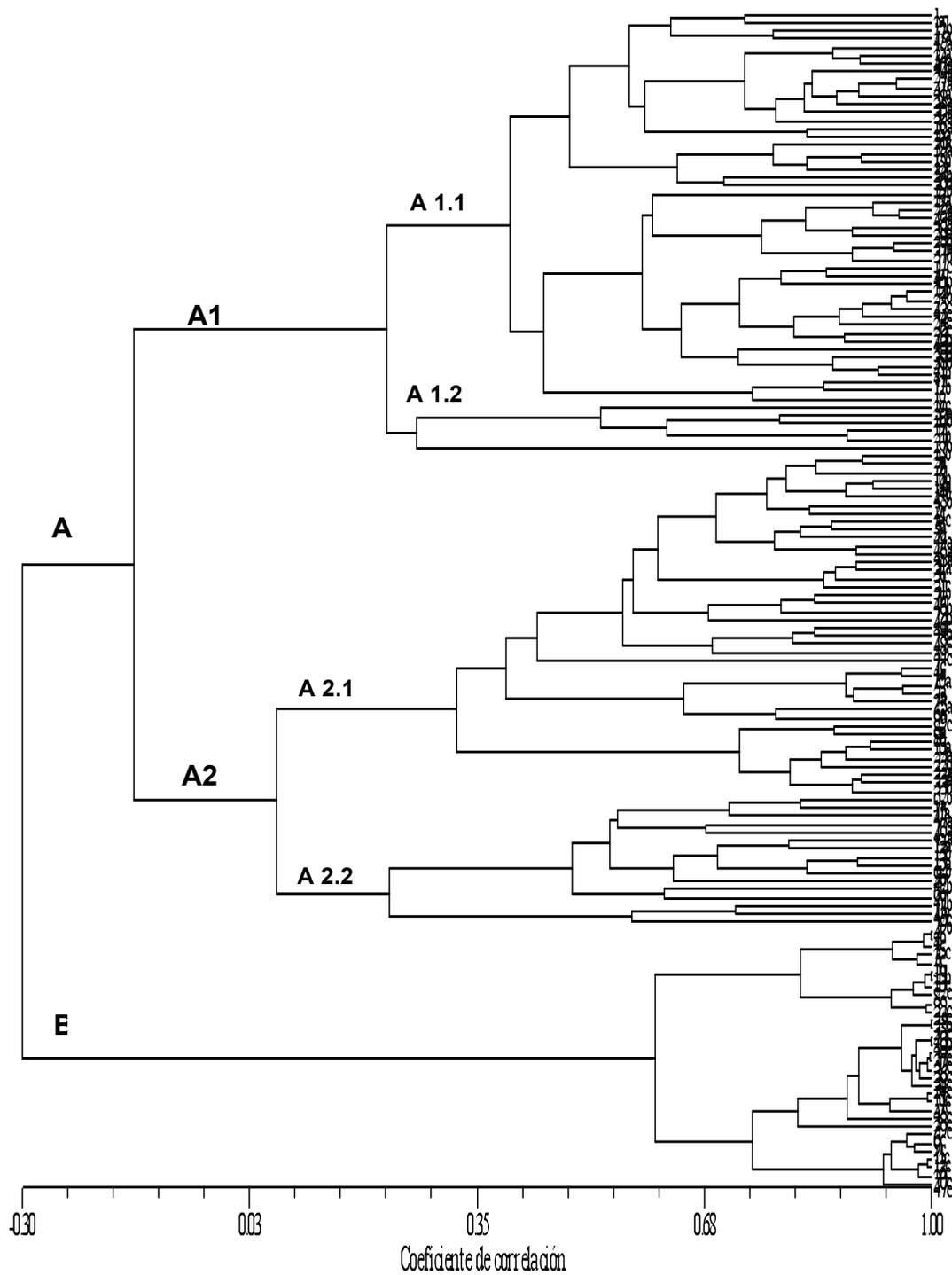


Figura 3.6. Clasificación de 48 cultivares mejorados de frijol sembrados a tres profundidades (2.5, 5.0 y 10.0 cm), con base en 12 atributos de sus semillas y plántulas.

El conjunto A se dividió en dos subconjuntos (A.1 y A.2); a la vez, cada uno de ellos se dividió en dos grupos. El grupo A1.1 presentó consumo de reservas estadísticamente similar al conjunto A1.2 (90.10 y 90.31 %), a pesar de la diferencia significativa, de 6.15 g, en el peso de 100 semillas entre ambos (Cuadros 3.6 y 3.7; Figura 3.7).

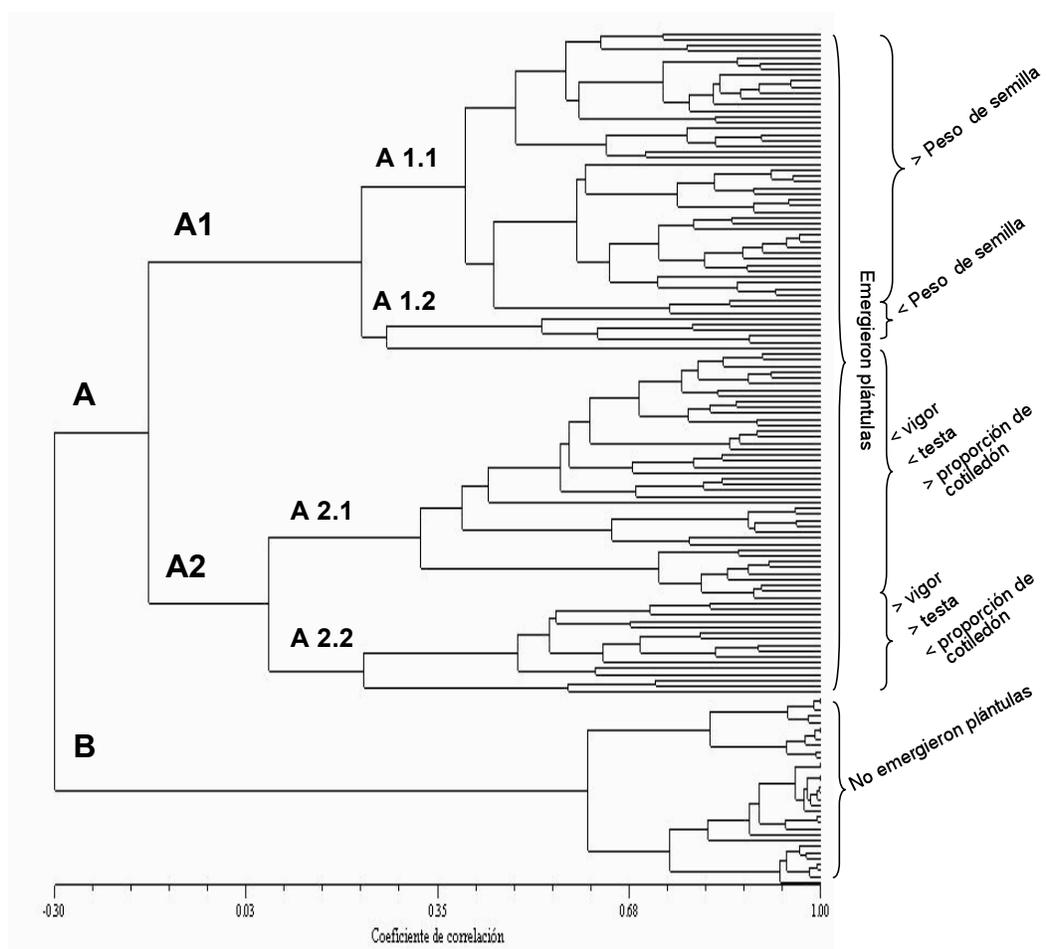


Figura 3.7. Clasificación de cultivares mejorados de frijol sembrados a tres profundidades (2.5, 5.0 y 10.0 cm), con base en atributos de sus semillas y vigor inicial.

Cuadro 3.6. Características de los cinco grupos de cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) formados por el análisis de conglomerados basado en 12 atributos de su semilla y plántulas.

Grupo	Peso de 100			
	semillas (g)	Cotiledón (%)	Testa (%)	Eje embrionario (%)
A1.1	20.92 e	88.33 d	<b>9.73 a</b>	<b>1.81 a</b>
A1.2	27.05 d	89.01 c	9.24 b	1.53 b
A2.1	33.56 b	<b>90.69 a</b>	7.62 d	1.51 b
A2.2	<b>38.88 a</b>	89.10 c	9.33 b	1.47 b
B	28.12 c	89.49 b	8.83 c	<b>1.59 a</b>

Valores seguidos por la misma letra dentro de columnas son estadísticamente similares ( $P \leq 0.05$ ).

Cuadro 3.7. Características de los cinco grupos de cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) formados por el análisis de conglomerados basado en 12 atributos de su semilla y plántulas.

Grupo	Altura de la plántula (cm)	Biomasa				Hipocótilo (cm)		Longitud de raíz (cm)
		Folículos	Hipocótilo	Raíz	Consumida	Diámetro	Longitud	
		(g)	(g)	(g)	(%)			
A1.1	22.35 b	0.169 b	0.048 c	0.062 b	90.10 c	0.38 c	7.94 c	10.02 c
A1.2	21.46 c	0.192 a	0.092 a	0.059 b	90.31 bc	0.42 b	9.00 a	12.92 a
A2.1	22.62 b	0.198 a	0.062 b	0.076 a	91.27 a	0.41 b	7.82 c	11.17 b
A2.2	24.24 a	0.200 a	0.062 b	0.076 a	91.04 ab	0.43 a	8.33 b	10.41 c
B	0.00 d	0.000 c	0.000 d	0.000 c	-	0.00 d	0.0 d	0.00 d

Valores seguidos por la misma letra dentro de columnas son estadísticamente similares ( $P \leq 0.05$ ).

En contraste con el subconjunto A1, ambos grupos de subconjuntos A2 incluyeron semillas significativamente más pesadas, pero de estos dos, el grupo A2.1 presentó proporción mayor de cotiledón y menor de testa (Cuadro 3.6). Aunque, el consumo de reservas del grupo A2.1 fue estadísticamente igual al grupo A2.2 (Cuadro 3.7), las

plántulas desarrolladas de semillas pesadas (A2.2) fueron en promedio más vigorosas, pues tuvieron mayor altura y diámetro de hipocótilo, y acumularon más biomasa en su raíz y folíolos (Cuadro 3.7). En contraste, las semillas más ligeras o pequeñas, las incluidas en el grupo A1.1, generaron algunas de las plántulas más cortas, con los folíolos, hipocótilo y raíz más ligeros, e hipocótilo angosto y corto (Cuadros 3.6 y 3.7).

El grupo B incluyó los 28 cultivares cuyas plántulas no emergieron cuando su semilla fue sembrada a 10 cm de profundidad, más otros cuatro que tampoco lo lograron con la siembra a 5 cm (Figura 3.6). Debido a que las condiciones de siembra, emergencia y desarrollo de la plántula fueron similares para todos los cultivares, es posible suponer que la emergencia fue dependiente del cultivar y la profundidad de siembra. Los cultivares cuyas plántulas no emergieron, tienen, en promedio, semillas con tamaño intermedio, con proporciones también intermedias de cotiledón, testa y eje embrionario en la semilla, respecto a las que sí generaron plántula emergidas (Cuadros 3.6); es decir, entre las características seminales ninguna sobresalió o pudo ser relacionada con la incapacidad de los cultivares para emerger. Es muy probable que las semillas de estos cultivares hayan germinado, pero que a la vez hayan sido incapaces de emerger, al agotar sus reservas por su metabolismo menos eficiente. Allende-Arrarás *et al.* (2006) señalaron la existencia de una asociación positiva entre el tamaño de la semilla, la capacidad de absorción de agua y el rendimiento, e indicaron que las semillas grandes absorben más agua que las pequeñas. Así, también es posible que este grupo de semillas pudieran no tener una buena capacidad de absorción de agua que influyera en el inicio de los procesos metabólicos. Gontia y Awasthi (1999) señalan que la emergencia y desarrollo de las plántulas de semillas grandes son más vigorosas, y que estas plántulas luego tienen mejor desarrollo vegetativo y reproductivo.

### **3.6 CONCLUSIONES**

La variabilidad de la morfología seminal y el vigor inicial de 48 cultivares mejorados de frijol, destinados a diferentes regiones agrícolas, es reducida. La característica principal de la semilla que condujo el agrupamiento de los cultivares fue el color de la testa; los de testa con colores claros formaron un conjunto y los de testa negra el otro. Se demostró la utilidad de los análisis multivariantes, tanto de ordenación como de agrupamiento, para identificar características morfológicas de las semillas y las plántulas de germoplasma mejorado.

### 3.7 LITERATURA CITADA

- Allende-Arrarás, G.; G.M. Acero G.; R.J. Padilla; P.N. Mayek. 2006. Comportamiento agronómico y características físico-químicas del grano del frijol en Aguascalientes, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(1): 89-93.
- Beebe, S.; P.W. Skroch; J. Tohme; M.C. Duque; F. Pedraza; J. Nienhuis. 2000. Structure of genetic diversity among common bean landraces of Middle American origin based on correspondence analysis of RAPD. *Crop Science* 40: 264-273.
- Brigitte, H.; D.B. Egli; G. Koning. 2002. Seed physiology, production & technology. Seed vigor, soilborne pathogens, preemergent growth, and soybean seedling emergente. *Crop Science* 42: 451–457.
- Cruz, R. 2006. Crean súper frijol: produce su fertilizante y resiste tres semanas sin agua. *Boletín semanal Núm. 31: Granos Básicos* 3 p.
- Debouck, D.G.; O. Toro; O.M. Paredes; W.C. Jonson; P. Gepts. 1993. Genetic diversity and ecological distribution of *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) in northwestern South America. *Economic Botany* 47: 408-423.
- Desai, B.B.; P.M. Kotecha; D.K. Salunkhe. 1997. *Seeds Handbook*. Marcel Dekker, New Cork, U.S.A. 627 p.
- Duffus, C.M.; J.C. Slaughter. 1992. *Seeds and their Uses*. Wiley. New York, NY, USA. 154 p.
- Flores D., A. 2002. Potencial agroindustrial del frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* L.): Composición química. Tesis de licenciatura, Departamento de Agroindustrias, Universidad Autónoma Chapingo. 75 p.
- Franco, T.L.; R. Hidalgo. 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. *Boletín técnico Núm. 8*. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia. 89 p.
- Gontia, S.A.; M.K. Awasthi. 1999. Effect of seed grading by size on various seed vigour attributes, morpho-physiological characters and seed yield in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) genotypes. *Seed Research* 27(1): 25-30.

- Hidalgo, R. 2003. Variabilidad Genética y Caracterización de Especies Vegetales in Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico Núm. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Cali, Colombia. 89 p.
- Kaplan, L.; T.F. Lynch. 1999. *Phaseolus* (*Fabaceae*) in archaeology: AMS radiocarbon dates and their significance for pre-Colombian agriculture. *Economic Botany* 53(3): 261-272.
- Kirby E., J.M. 1993. Effect of sowing depth on seedling emergence, growth and development in barley and wheat. *Field Crop Research* 35: 101-111.
- Leishman, M.R.; I.J. Wright; A.T. Moles; M. Westoby. 2000. The evolutionary ecology of seed size. In: *Seeds: The ecology of regeneration in plant communities*. Fenner, M. (ed.). 2nd edition. CAB International.
- Mahdi, L.; C.J. Bell; J. Ryan. 1998. Establishment and yield of wheat (*Triticum turgidum* L.) after early sowing at various depths in a semi-arid Mediterranean environment. *Field Crop Research* 58:187-196.
- Moreno, M.E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Programa Universitario de Alimentos. UNAM. México. 393 p.
- Núñez C., C.; P.A. Barrientos F. 2006. Estimación de la variabilidad interna de muestras poblacionales, mediante análisis de componentes principales. *Interciencia* 31(11): 802-806.
- Otálora, J. M.; G.A. Ligarreto; A. Romero. 2006. Comportamiento de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo reventón por características agronómicas y de calidad de grano. *Agronomía Colombiana* 24(1): 7-16.
- Peña-Valdivia, C.B.; J.R. Aguirre R. 2007. El frijol silvestre mexicano (*Phaseolus vulgaris* L.): Riqueza renovable desaprovechada. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 150 p. En prensa.
- Peña-Valdivia, C.B.; J.R. Aguirre R.; E. del R. García H.; J.S. Muruaga M. 1998. Componentes del rendimiento de una semilla de una población silvestre y un cultivar de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Quaderni di Botanica Ambientale e Applicata* 6: 181-187.

- Revilla, P.; A. Butrón; R.A. Malvar; A. Ordás. 1999. Relationships among kernel weight, early vigor, and growth in maize. *Crop Science* 39: 654-658.
- Rosales R.S.; J.A. Acosta-Gallegos; R.P. Durán D.; H. Guillén A.; P. Pérez H.; G. Esquivel E., J.S. Muruaga M. 2003. Diversidad genética del germoplasma mejorado de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. *Agricultura Técnica en México* 29(1): 11-24.
- Singh, S. P.; P. Gepts; D.G. Debouck. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Economic Botany* 45 (3): 379-396.
- Singh, S.P. 2001. Broadening the genetic base of common bean cultivars. *Crop Science* 41: 1659-1675.
- Soltani, A.; M.J. Robertson; B. Torabi; M. Yousefi-Daz; R. Sarparast. 2006. Modelling seedling emergence in chickpea as influences by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology* 138: 156-167.
- Vargas V., M.L.; J.S. Muruaga M.; J. Acosta G.; R. Navarrete M.; P. Pérez H.; G. Esquivel E.; M.B.G. Irizar G.; J.M. Hernández C. 2006. Colección Núcleo de *Phaseolus vulgaris* L. del INIFAP. Libro técnico Núm. 10. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 461 p.
- Vidal-Barahona, A.; L.C. Lagunes-Espinoza; E. Valadez M.; C.F. Ortiz-García. 2006. Variabilidad morfológica y molecular de cultivares criollos y mejorados de frijol común en Tabasco, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(4): 273-281.
- Voysest, V.O. 2000. Mejoramiento genético del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): legado de variedades de América Latina 1930-1999. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. 195 p.

#### **IV. EFECTO DE LA PROFUNDIDAD DE SIEMBRA EN EL CONSUMO DE LAS RESERVAS SEMINALES DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)**

##### **EFFECT OF THE SOWING DEPTH IN THE CONSUMPTION OF THE SEMINAL RESERVATIONS OF BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.)**

#### **4.1 RESUMEN**

La emergencia de una plántula depende de las características fisiológicas y bioquímicas de la semilla, su reacción al ambiente y su eficiencia en el uso de reservas durante la germinación. 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 de frijol y seis mejorados, de las razas Durango y Jalisco, y se sembraron a tres profundidades (3, 6 y 9 cm). La 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 a los 10, 15 y 22 días después de la siembra (DDS). En los cultivares mejorados las diferencias en el consumo de reservas fueron más conspicuas, entre 50 y 89 % en la siembra a 3 cm. Entre los cultivares tradicionales el consumo de reservas seminales en las tres profundidades fue notablemente homogéneo, con diferencias significativas apenas detectables, pues el consumo mínimo y máximo fluctuó entre 83 y 92 %. Los resultados indican que en frijol las reservas de la semilla son destinadas principalmente al crecimiento del hipocótilo, expresado como acumulación de biomasa, y al crecimiento longitudinal de la plántula, con independencia de la profundidad de siembra, cultivar, raza, tamaño de semilla o tamaño de la reserva seminal

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

## 4.2 ABSTRACT

Plant emergence depends on the seed physiological and biochemical characteristics, seed reaction to environment and efficiency on reserves use during germination. The aim of the present work was to know the efficiency on the use of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed reserves during seedling emergence and initial development. For this, six landrace and six improved, Durango and Jalisco race, common bean cultivars were used, and they were sowed in three depths (3, 6 and 9 cm). The physiological parameters: emergence rate, dry matter leaf and hypocotil accumulation, diameter of hypocotil, leaf area, seedling height and cotyledon reserves used during the seedling growth were evaluated to those 10, 15 and 22 days after sowing (DDS). Difference in the reserves use among improved cultivars were more conspicuous, they fluctuated between 50 and 89% in 3 cm deep sowing. Between landraces cultivars the consumption of seminal reserves in the three sowing depth was remarkably homogenous, the significant differences scarcely detectable, because the minimum and maximum consumption fluctuated between 83 and 92%. The results indicate that in bean the seed reserves are destined mainly to the growth of hypocotil, expressed like biomass accumulation, and to the seedling longitudinal growth, with independence of the depth of sowing, cultivar, race, seed size or seminal size of seed reserve.

**Key words:** Cotyledon, hypocotil, leaf area, leaves, dry mater.

## 4.3 INTRODUCCIÓN

Los fotoasimilados son distribuidos desde las zonas de almacenamiento (tejido de parénquima) a todos los órganos de la planta, donde son necesarios para el metabolismo y crecimiento (Guardiola *et al.*, 1993). Cuando las reservas del endospermo son consumidas, la plántula solo puede depender 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, color y apariencia del área foliar, y, en general, en la fisiología de la plántula (Revilla *et al.*, 1999). El éxito en el establecimiento de la semilla es determinado en gran parte por sus características fisiológicas y bioquímicas, sus reacciones al ambiente y la rapidez con la que utiliza sus reservas para iniciar y sostener el crecimiento de la plántula en las primeras etapas del desarrollo, antes de que sea un organismo autótrofo, capaz de utilizar la energía solar (Soltani *et al.*, 2006). La identificación de cultivares que después de la siembra se establezcan y desarrollen rápidamente, puede contribuir a que el cultivo compita exitosamente contra arvenses y supere algunos factores climáticos adversos como falta de humedad (Lamour y Lotz, 2007; Revilla *et al.*, 1999).

Después de la emergencia el frijol tarda varias semanas en desarrollar un dosel suficiente para evitar el establecimiento de las arvenses, las cuales en contraste, regularmente son más eficientes en el desarrollo de área foliar. Se ha señalado que la lentitud y debilidad de emergencia y establecimiento 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 plántula en dependencia de la profundidad de siembra podría revelar si existe variabilidad entre cultivares de frijol en caracteres como velocidad de crecimiento de la plántula, exposición y desarrollo del follaje, etc.

La literatura que documenta los cambios fisiológicos del frijol durante la emergencia es escasa, aunque existe información del efecto de la temperatura (Peña-Valdivia *et al.*, 2002) y del potencial de agua en la germinación y crecimiento inicial de la plántula (Sánchez-Urdaneta *et al.*, 2003) obtenida *in vitro*. Dada la ausencia de información detallada del efecto de la profundidad de siembra en los procesos fisiológicos de la plántula del frijol, el objetivo del presente estudio fue conocer la eficiencia de uso de las reservas de la semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) de cultivares mejorados, para su cultivo en diferentes zonas de México, y cultivares tradicionales o criollos; en la emergencia y el desarrollo inicial de la planta.

#### 4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en un invernadero del Área de Botánica del Colegio de Posgraduados en Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México. Se utilizaron 12 cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), seis tradicionales o criollos y seis mejorados específicamente para ciertas zonas o condiciones de cultivo (SAGAR, 1998). Cada grupo incluyó tres cultivares 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 4.1). Se obtuvo el peso de 100 semillas; luego, se disecaron y se determinó el peso seco del par de cotiledones de las 100 semillas de cada cultivar. Las semillas se sembraron a 3, 6 y 9 centímetros de profundidad y en dos semilleros de madera de 1.0 x 2.5 m, con arena esterilizada como sustrato. Se generaron 36 tratamientos. La parcela útil por semillero estuvo formada por 10 hileras de 0.90 m de longitud, con una distancia de 3.5 cm entre hileras y 0.5 cm entre semillas. Se aplicó un riego a capacidad de campo antes de la siembra y después se aplicó riego cada tercer día. Se cuantificaron los días para la emergencia. Diez, 15 y 22 días después de la siembra (DDS) se muestrearon 25 plántulas por tratamiento. A estas, se les determinó el peso de los cotiledones (hojas cotiledonares), las hojas simples y trifolioladas (en caso de que estuvieran presentes) y el e hipocótilo; también, se determinó el diámetro y longitud del hipocótilo, el área foliar y la altura de las plántulas. Las estructuras de las plántulas se secaron en un horno eléctrico, 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 hipocótilo se midió a 0.5 cm por encima de la raíz. El área foliar se calculó con la metodología descrita por Navarro (1996).

Cuadro 4.1. Peso y tiempo para la emergencia de doce cultivares de frijol sembrados a tres profundidades.

Cultivar	Peso de 100 semillas (g)	Emergencia (días)		
		3 cm	6 cm	9 cm
Mejorados <sup>1</sup>				
Bayo Zacatecas (D)	48.31 a <sup>z</sup>	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
Tradicionales				
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 <sup>2</sup> (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

<sup>1</sup> Los seis cultivares mejorados fueron derivados por hibridación y selección. <sup>2</sup> Fue liberada como variedad mejorada derivada de una variedad tradicional. Valores seguidos por la(s) misma(s) letra(s) son estadísticamente similares, según la prueba de Tukey (P=0.05). D, raza Durango; J, raza Jalisco.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con 36 tratamientos (12 cultivares por tres profundidades) y seis repeticiones o unidades experimentales por tratamiento, cada una constituida por 25 semillas. Se aplicó un análisis de varianza a los datos y se hizo la comparación múltiple de medias, mediante la prueba de Tukey.

## 4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.5.1 Emergencia

Con la siembra a 3.0 cm de profundidad las mayores diferencias en el tiempo para la emergencia ocurrió en el grupo de los cultivares mejorados. En general, los cultivares más tardíos para la emergencia fueron también los cultivares mejorados; de ellos Bayo Zacatecas, Flor de Mayo M38 y Flor de Junio Marcela emplearon de 12 a 13 d. A esta misma profundidad, en cambio, los cultivares tradicionales fueron los más precoces para la emergencia; de ellos, el cv. Durango 222 destacó con sólo 8 d. Los cultivares mejorados 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 d); similarmente, los cultivares tradicionales de ambas razas con peso entre 24.45 y 42.21 emergieron en 8 o 9 d. Así, sembrados a 3 cm, la mayor diferencia en el tiempo de emergencia entre los cultivares alcanzó cinco días y fue independiente del tamaño de semilla o raza del cultivar (Cuadro 4.1).

Salvo alguna excepción, el tiempo para la emergencia se incrementó con la profundidad de siembra; así, el tiempo medio para la emergencia fue mayor (13 y 14 d) a los 9 cm en ambos grupos, tendió a ser similar entre los cultivares mejorados, al igual que entre los tradicionales. En promedio, en las tres profundidades evaluadas el grupo de cultivares tradicionales emergió uno o dos días antes que el grupo de cultivares mejorados, pero en ningún caso existió relación del tiempo para la emergencia con el tamaño de la semilla, ni con la raza del cultivar (Cuadro 4.1).

Peña-Valdivia y Aguirre (2007) y Kaplan (1981) señalaron que los cultivares mejorados poseen características deseables, como homogeneidad en el tamaño de la semilla y en la velocidad de la emergencia, que determinan la calidad requerida por los agricultores y consumidores; en tanto que los cultivares tradicionales pueden mostrar todavía variabilidad importante en sus características fenotípicas, morfológicas y agronómicas debido a que aún pueden presentar rasgos de sus

ancestros. Sin embargo en el presente estudio los cultivares tradicionales mostraron mayor homogeneidad en la emergencia que los mejorados (Cuadro 4.1).

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); además, otros factores, como la temperatura, humedad y formación de la costra del suelo también pueden alterarla (Dorsainvil *et al.*, 2005).

#### **4.5.2 Diámetro del hipocótilo**

Salvo en tres cultivares mejorados que alcanzaron el mayor diámetro del hipocótilo 10 DDS, ésta variable alcanzó su máximo a los 15 DDS y, en general, después disminuyó ligera pero significativamente, en todos los cultivares sembrados a las tres profundidades. Esta disminución fue más notable en las plántulas provenientes de la siembra a 9 cm. A mayor profundidad de siembra se incrementó significativamente el diámetro medio del hipocótilo; así, en las plantas de los cultivares mejorados provenientes de la siembra a 3 cm fue de 3.64 mm, y de 4.42 mm en las sembradas a 9 cm. Esta tendencia fue similar, en los cultivares tradicionales, donde el incremento medio registrado fue de 3.49 a 4.27 mm. Así, puede decirse que el crecimiento radial del hipocótilo fue estadísticamente similar entre los dos grupos de cultivares, y que el efecto de la profundidad de siembra fue igual en ambos e independiente de la raza (Figura 4.1).

Rodríguez *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 incrementarse la profundidad de siembra del trigo y la cebada, el coleoptilo se perjudica, debido a que le es imposible emerger, con lo cual se reduce el desarrollo de la planta completa y su rendimiento. Diversos autores (Dhillon y Kler, 1976; Suguna *et al.*, 1985; Harlan, 1992; Jha *et al.*, 1985; Gan y Stobbe, 1996; Gontia y

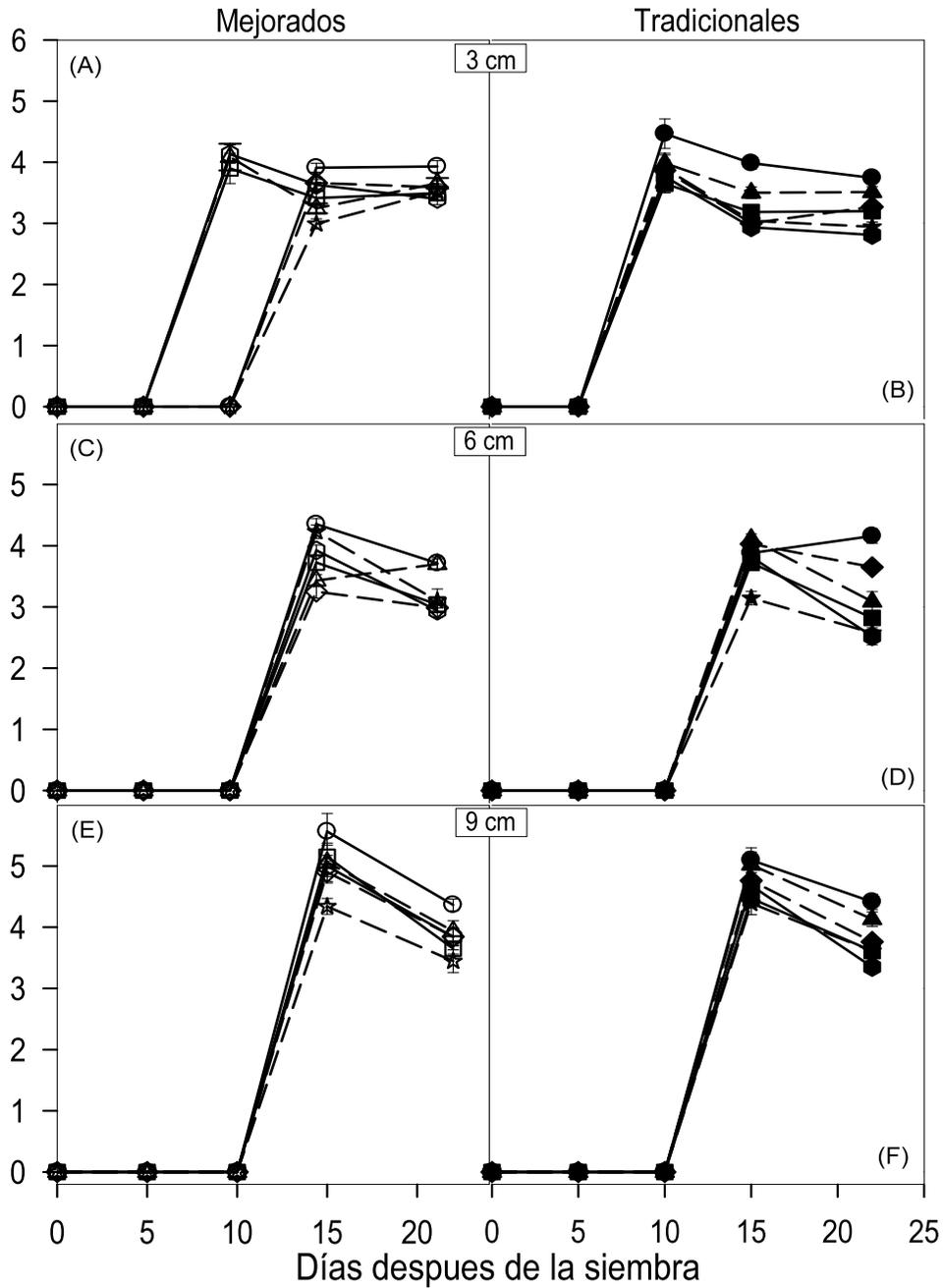


Fig. 4.1. Grosor del hipocótilo de plántulas de cultivares mejorados y tradicionales de frijol (○ Bayo Zacatecas, △ Pinto Mestizo, □ Pinto Villa, ⬠ Flor de Mayo Sol, ◇ Flor de Junio Marcela, ☆ Flor de Mayo M38, ● Durango 222, ▲ Ojo de Cabra Santa Rita, ■ Tlaxcala 62; ◆ Zacatecas 96168, ● Negro 150 e ★ Hidalgo 84) sembrados a tres profundidades (3,6 y 9 cm).

Awasthi, 1999) han señalado que las semillas de tamaño mayor tienen ventaja en la emergencia, desde mayor profundidad sobre las semillas pequeñas.

A la vez Soltani *et al.* (2006) señaló que las semillas grandes generan más biomasa al comienzo del ciclo de crecimiento, aunque este efecto puede perderse después en la etapa reproductiva. Ross y Lembi (1999) señalaron que durante los primeros estados de desarrollo los cultivos son más dañados por la presencia de arvenses, al competir con ellas por agua, nutrientes y luz; por ello, un cultivo con una tasa de crecimiento alta y formación pronta de un dosel vegetal denso, puede ayudar a suprimir las arvenses, durante varias semanas después de la siembra, y favorecer el rendimiento.

#### **4.5.3 Biomasa del hypocótilo**

La acumulación de biomasa en el hypocótilo mostró diferencias significativas entre y dentro de los grupos de frijol y en relación con a la profundidad de siembra. Dicha acumulación de biomasa fue heterogénea entre cultivares, ya que en algunos se incrementó continuamente después de los cinco y hasta los 22 DDS, y en otros se presentó entre los 10 y 15 DDS, luego se mantuvo sin cambio o decayó. Esa tendencia fue independiente del cultivar, tipo de frijol (mejorado o tradicional) o profundidad de siembra (Figura 4.2).

Sin embargo, sobresalió el hecho de que la acumulación media de biomasa total, a los 22 DDS, en el grupo de los cultivares mejorados tendió a incrementarse con la profundidad de siembra; así, fue de 78.3 mg en la siembra a 3 cm de profundidad, y de 86.4 y 83.4 mg en las plántulas de la siembra a 6 y 9 cm, respectivamente (Figura 4.2 A, C y E). En contraste, en los cultivares tradicionales la biomasa media total acumulada (a los 22 DDS) fue significativamente similar (77 y 79 mg) en las plántulas generadas con la siembra a 3 cm y 9 cm (79 mg) y sólo se incrementó (96 mg) en las plántulas de la siembra a 6 cm de profundidad (Figura 4.2 B, D y F).

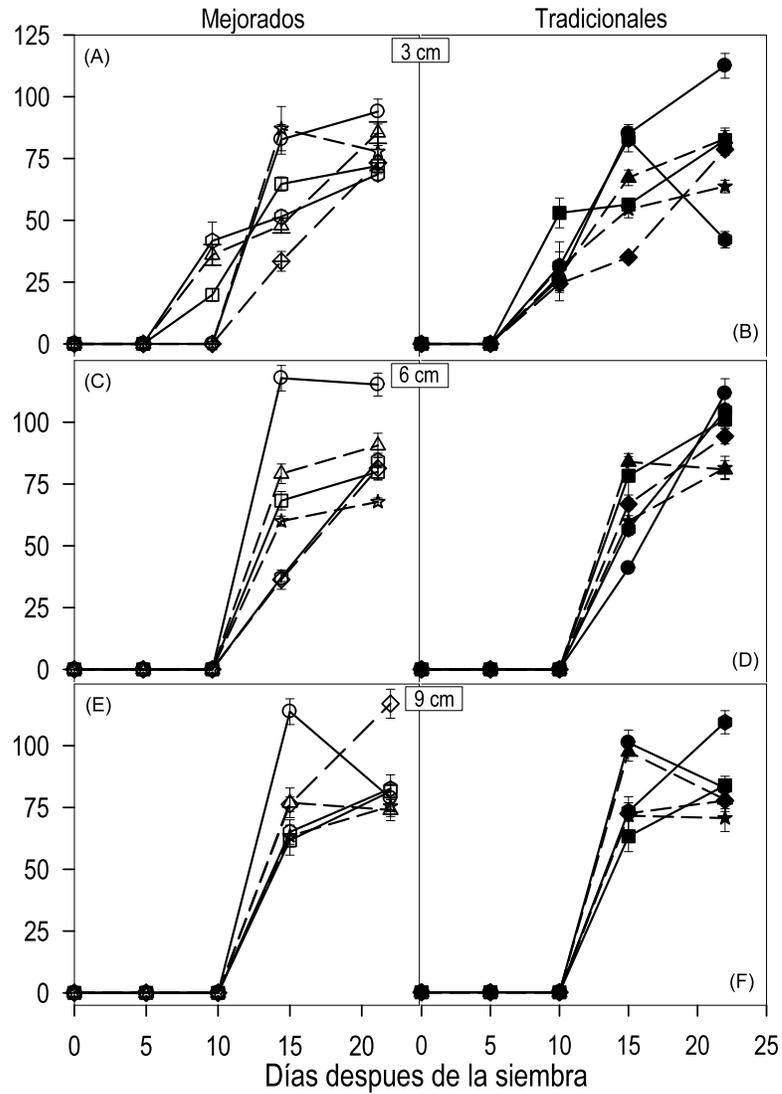


Fig. 4.2. Biomasa seca del hipocótilo de plántulas de cultivares mejorados y tradicionales de frijol (○ Bayo Zacatecas, △ Pinto Mestizo, □ Pinto Villa, ⬠ Flor de Mayo Sol, ◇ Flor de Junio Marcela, ☆ Flor de Mayo M38, ● Durango 222, ▲ Ojo de Cabra Santa Rita, ■ Tlaxcala 62; ◆ Zacatecas 96168, ● Negro 150 e ★ Hidalgo 84) sembrados a tres profundidades (3,6 y 9 cm).

También es destacable que los cambios en la biomasa acumulada muestran patrones diferentes a los del crecimiento radial del hipocótilo, con excepción de algunos cultivares en alguna de las profundidades (Figuras 4.1 y 4.2). Lo anterior podría indicar que, recién formado (10-15 DDS), el hipocótilo es un tejido “suculento”, y que alcanza su máximo diámetro por estar totalmente hidratado; después se inicia la síntesis y acumulación de lignina y celulosa de sus paredes celulares, con lo cual el tejido adquiere firmeza, rigidez y resistencia mecánica, y se deshidrata, y aunque entonces el diámetro se reduce, la acumulación de materia seca continúa (García y Peña, 1995).

#### **4.5.4 Área foliar**

La exposición de los folíolos estuvo regulada por 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, pero hasta cerca de los 15 DDS cuando la siembra se realizó a 6 y 9 cm. Existieron diferencias significativas en el área foliar máxima alcanzada (22 DDS) entre 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 la mayor área foliar (43.3, 35.6 y 19.3 cm<sup>2</sup>) en las tres profundidades de siembra (3, 6 y 9 cm, respectivamente), mientras que Flor de Mayo M38 (raza Jalisco), con semilla pequeña (28.93 g/100 semillas), tuvo alguna de la menor área foliar (30.4, 25.1 y 10.0 cm<sup>2</sup>). Esta tendencia fue similar en el grupo de los cultivares tradicionales; en efecto, el cv. Durango 222 con las semillas de mayor peso (40.10 g/100 semillas), desarrolló la mayor área foliar por planta (45.2, 38.8 y 24.2 cm<sup>2</sup>) y en contraste, el cultivar Negro 150, de la raza Jalisco, con semillas ligeras (27.80 g/100 semillas), alcanzó una de las menores áreas foliares (34.1, 30.0 y 13.6 cm<sup>2</sup>) en el período de los 20 DDS en las tres profundidades (Figura 4.3).

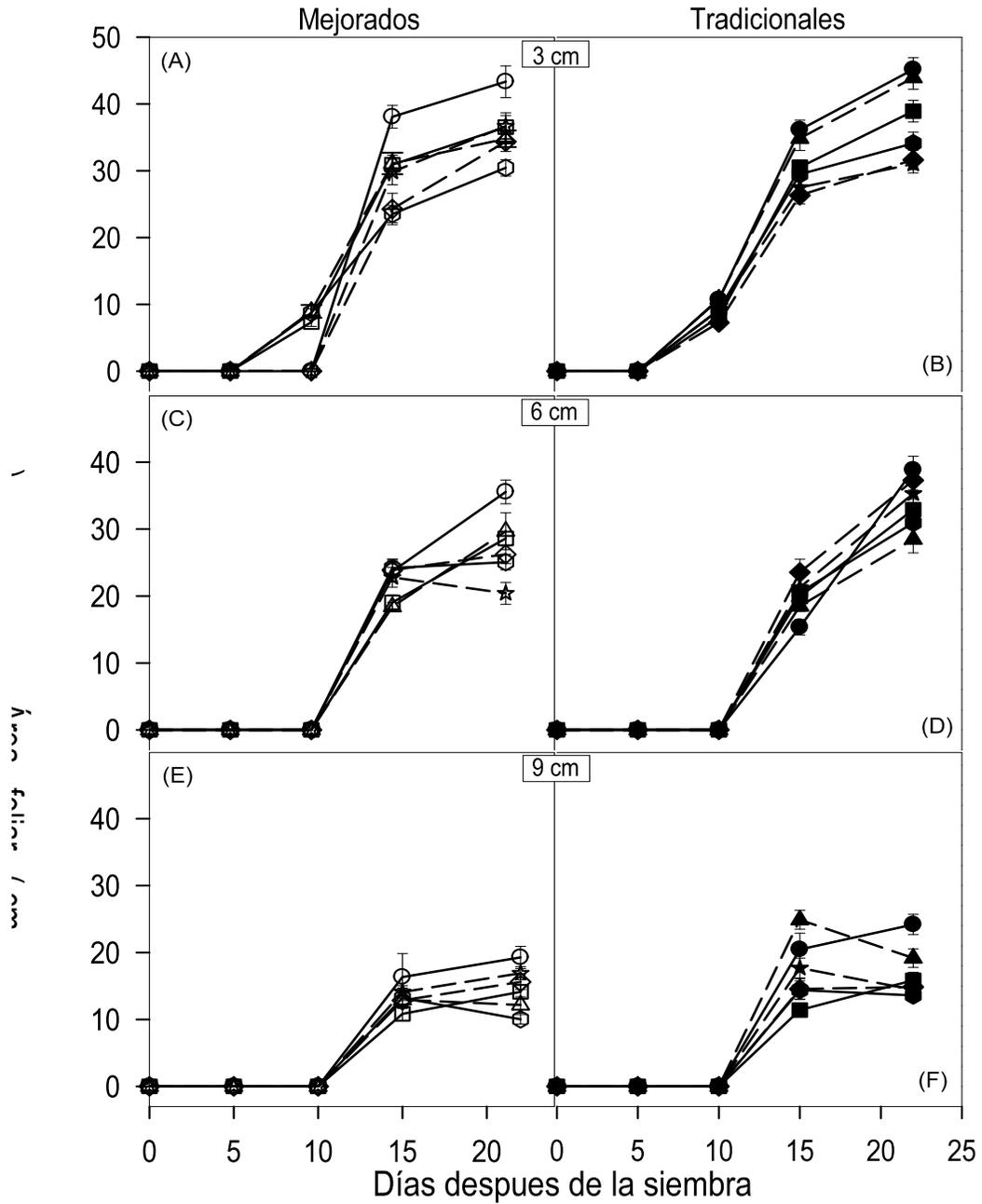


Fig. 4.3. Área foliar de plántulas de cultivares mejorados y tradicionales de frijol (○ Bayo Zacatecas, △ Pinto Mestizo, □ Pinto Villa, ◇ Flor de Mayo Sol, ◊ Flor de Junio Marcela, ☆ Flor de Mayo M38, ● Durango 222, ▲ Ojo de Cabra Santa Rita, ■ Tlaxcala 62; ◆ Zacatecas 96168, ● Negro 150 e ★ Hidalgo 84), sembrados a tres profundidades (3,6 y 9 cm).

Estos resultados demuestran que el tamaño de la semilla y la profundidad de siembra son factores involucrados en el desarrollo del área foliar, al menos durante las primeras tres semanas de vida de la planta, y que esta relación es directa e inversa, respectivamente. En un estudio sobre los efectos del tamaño de la semilla en la siembra, crecimiento y rendimiento de frijol, Rodríguez *et al.* (2005) observaron que las semillas grandes generaron más área foliar, raíces más grandes y mayor biomasa a los 19 y 47 d después de la emergencia; los mismos autores también observaron en las plantas provenientes de semillas pequeñas una mayor tasa relativa de crecimiento y asimilación neta de CO<sub>2</sub>, explicada por una mayor actividad fotosintética asociada a sombreado escaso, debido a su vez, al reducido índice de área foliar, y por la menor respiración consecuente de una biomasa más reducida.

#### **4.5.5 Biomasa foliar**

La biomasa acumulada en las hojas se incrementó casi linealmente desde los primeros días de emergencia en las plántulas originadas de la siembra a 3 cm de profundidad, independientemente del grupo de cultivares o de la raza (Figura 4.4 A y B). Esta acumulación de biomasa mostró diferencias significativas entre cultivares, las cuales fueron ampliándose con el crecimiento de las plántulas. Tanto el incremento de la biomasa foliar como las diferencias entre cultivares se redujeron con la siembra a 6 y 9 cm (Figura 4.4 C, D, E y F). Con respecto a la siembra a 3 cm, la acumulación de biomasa foliar se redujo 46 y 75 % en el grupo de los cultivares mejorados, y 37 y 73 % en los cultivares tradicionales al sembrarse a 6 y 9 cm de profundidad, respectivamente (Figura 4.4).

#### **4.5.6 Altura de la plántula**

La altura de las plántulas se incrementó exponencialmente a partir de la emergencia, en todos los cultivares, hasta alcanzar el valor máximo registrado a los 22 DDS, con independencia del tipo de cultivar, raza y profundidad de siembra. La altura media de las plántulas del grupo de cultivares mejorados, con las tres profundidades de siembra fluctuó entre 15.29 y 17.26 cm, y la del grupo de cultivares tradicionales entre 16.59 y 18.01 cm, pero en todos fue notablemente homogénea la altura

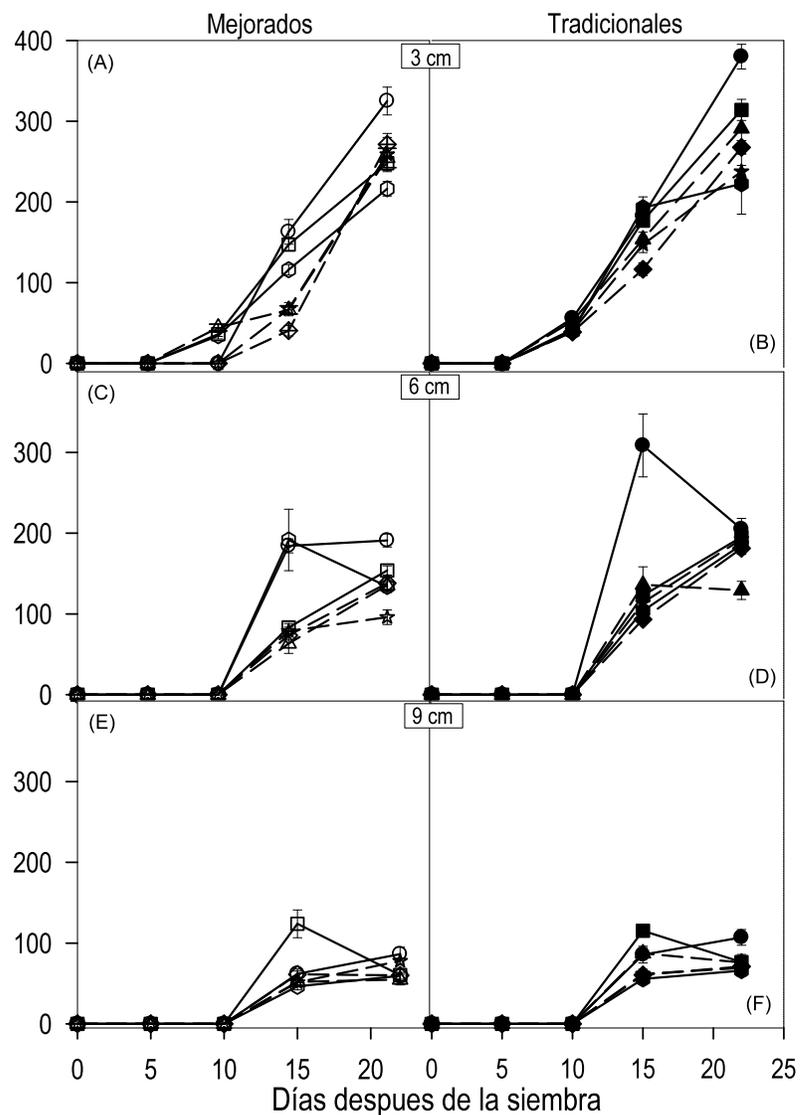


Fig. 4.4. Biomasa foliar en plántulas de cultivares mejorados y tradicionales de frijol (○ Bayo Zacatecas, △ Pinto Mestizo, □ Pinto Villa, ⊕ Flor de Mayo Sol, ◇ Flor de Junio Marcela, ☆ Flor de Mayo M38, ● Durango 222, ▲ Ojo de Cabra Santa Rita, ■ Tlaxcala 62; ◆ Zacatecas 96168, ● Negro 150 e ★ Hidalgo 84), sembrados a tres profundidades (3,6 y 9 cm).

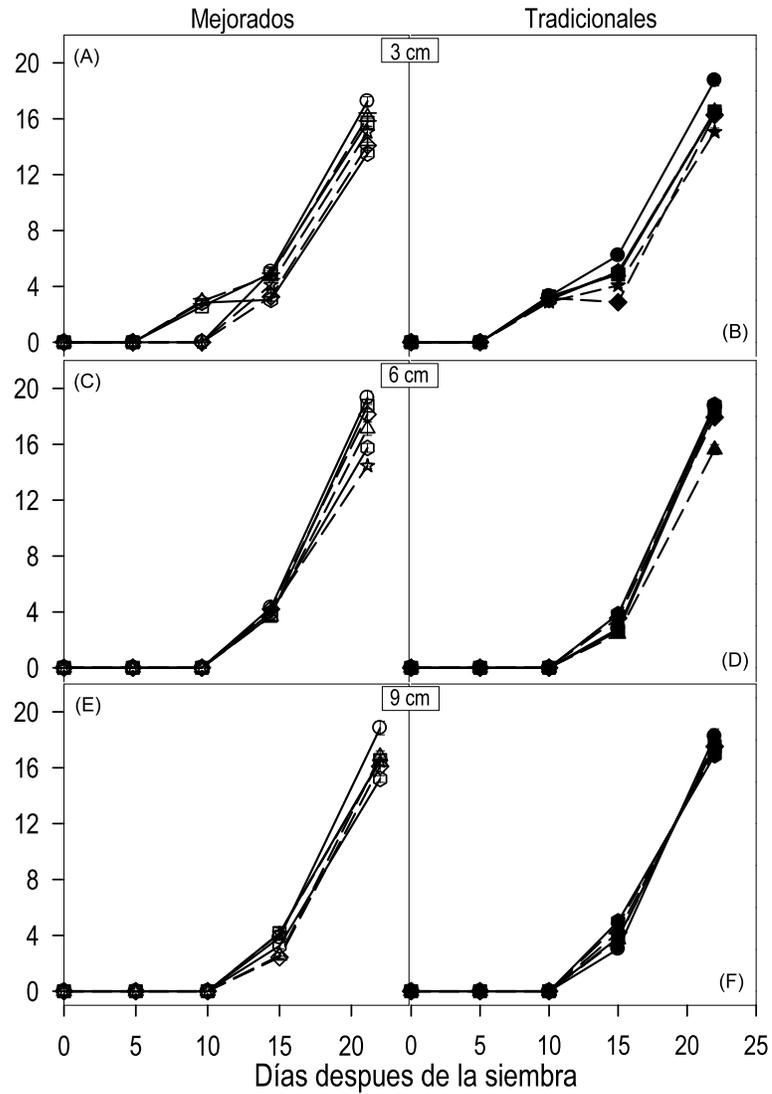


Fig. 4.5. Altura de plántulas en cultivares mejorados y tradicionales de frijol (○ Bayo Zacatecas, △ Pinto Mestizo, □ Pinto Villa, ⬠ Flor de Mayo Sol, ◇ Flor de Junio Marcela, ☆ Flor de Mayo M38, ● Durango 222, ▲ Ojo de Cabra Santa Rita, ■ Tlaxcala 62; ◆ Zacatecas 96168, ● Negro 150 e ★ Hidalgo 84), sembrados a tres profundidades (3,6 y 9cm).

máxima alcanzada (Figura 4.5). 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 plántulas que emergen disponen de más agua, nutrientes y luz.

Si estas primeras plántulas tienen ventaja en el uso y disponibilidad de los recursos para su crecimiento, también podrían interferir negativamente en el crecimiento de las plántulas que emergieran después de ellas. Sin embargo, en los cultivares de frijol evaluados la altura de las plántulas fue notablemente homogénea, y parece que sin ninguna relación directa con el crecimiento de las hojas (Figuras 4.3, 4.4 y 4.5).

Los resultados del presente estudio discrepan de los obtenidos por Cordazzo (2002), quien encontró que las semillas de mayor tamaño generaron plantas más grandes.

#### **4.5.7 Consumo de reservas**

La proporción de reservas seminales consumidas durante la emergencia y crecimiento de la plántula se determinó al sustraer del peso original del par de cotiledones, el peso de los cotiledones separados de la planta. Debe señalarse que a 10 DDS sólo habían emergido algunos cultivares, por lo que para entonces no se tuvo el peso de los cotiledones de todos los tratamientos; similarmente, a los 22 DDS los cotiledones ya se habían caído de muchas plántulas, debido al proceso natural de abscisión de estas estructuras, por lo que para la mayoría de los tratamientos no pudieron retirarse directamente. Por lo anterior, a continuación se presentan sólo los resultados registrados a los 15 DDS, en todos los cultivares y a las tres profundidades de siembra (Figura 4.6).

Los cultivares mejorados mostraron diferencias significativas en el consumo de reservas seminales en las tres profundidades (Figura 4.6 A); en contraste, el consumo de reservas en los cultivares tradicionales mostró una notable homogeneidad, entre ellos y entre las profundidades de siembra (Figura 4.6 B).

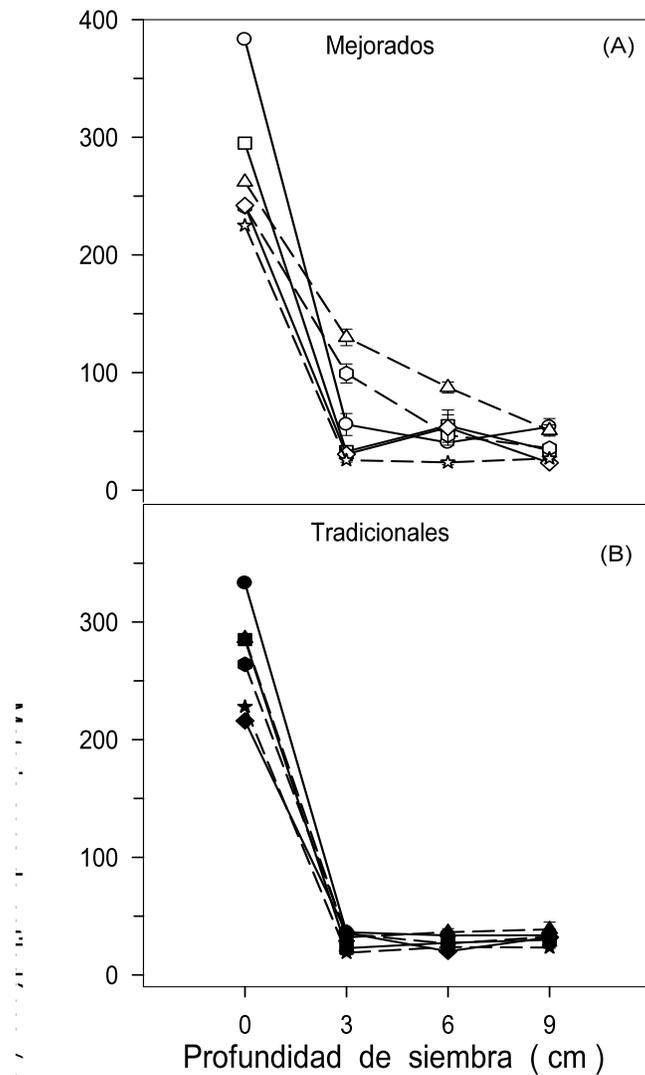


Fig. 4.6. Peso de los cotiledones en la semilla (0 cm) y en plántulas de cultivares mejorados y tradicionales de frijol (○ Bayo Zacatecas, △ Pinto Mestizo, □ Pinto Villa, ⊠ Flor de Mayo Sol, ◇ Flor de Junio Marcela, ☆ Flor de Mayo M38, ● Durango 222, ▲ Ojo de Cabra Santa Rita, ■ Tlaxcala 62; ◆ Zacatecas 96168, ● Negro 150 e ★ Hidalgo 84), sembrados a tres profundidades (3,6 y 9 cm).

En los cultivares mejorados, las diferencias en consumo de reservas fueron más conspicuas en la siembra a 3 cm de profundidad, y se redujeron a mayor profundidad de siembra. Así, la proporción de reservas consumidas por estos cultivares varió de entre 50 a 89 % con la siembra a 3 cm, 67 a 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 su grupo (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 reservas, de su grupo y en proporciones estadísticamente similares, en las tres profundidades. Dicho consumo alcanzó el 89.44, 90.23 y 88.02 % del peso original de los cotiledones, con la siembra a 3, 6 y 9 cm, respectivamente (Figura 4.6 A).

Respecto al grupo de los cultivares tradicionales, aunque el peso de sus cotiledones, o cantidad de reservas, presentó diferencias estadísticas, 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 en las plántulas a las tres profundidades fue notablemente homogéneo, con diferencias significativas apenas detectables (Figura 6 B), ya que el consumo mínimo y máximo varió de 83 a 92 % en la siembra a 3 cm de profundidad, de 87 a 91 a 6 cm y de 85 a 90 % a 9 cm.

Estos resultados indican que, independientemente de la profundidad de siembra, cultivar, raza, tamaño de semilla o tamaño de la reserva seminal, en frijol las reservas de la semilla son destinadas principalmente al crecimiento del hipocótilo, expresado como acumulación de biomasa, y al crecimiento longitudinal de la plántula. Kirby (1993) señala que la profundidad de siembra reduce la tasa de crecimiento del primordio, la tasa de emergencia foliar, el número final de hojas del tallo principal, la elongación del tallo y la longitud de entrenudos en trigo y cebada.

Bayuelo-Jiménez *et al.* (2002) indican 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 lo cual se inicia la hidrólisis del almidón rápidamente y comienza la emergencia.

## **5. CONCLUSIONES**

En los cultivares mejorados se incrementó el consumo de reservas de la semilla (desde 50 hasta 90 %), para el desarrollo de las plántulas, de acuerdo con la profundidad de siembra. En contraste, en los cultivares tradicionales se consumieron cantidades similares de reservas (en promedio 88 %), independientemente de la profundidad de siembra. Los seis cultivares tradicionales emergieron sincrónicamente, con independencia de la profundidad de siembra; en contraste, entre los mejorados hubo cultivares precoces y tardíos para la emergencia, con una diferencia máxima fue de 5 d. 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 hipocótilo, expresado como acumulación de biomasa, y al crecimiento longitudinal de la plántula, independientemente de la profundidad de siembra, cultivar, raza, y tamaño de la semilla.

## 6. LITERATURA CITADA

- Bayuelo-Jiménez, J. S.; Craig, R.; Lynch, J. P. 2002. Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. *Crop Sci*, 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.
- Dhillon, G. S. y D. S. Kler. 1976. Crop Production in relation to seed size. *Seed Science Research* 4(2): 142-155
- 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.
- Gan, Y. y E. H. Stobbe 1996. Seedling vigor and grain yield of “Roblin” wheat affected by seed size. *Agronomy Journal* 88: 406-460
- García H., E.; Peña-Valdivia, C. B. 1995. La pared celular. Componente fundamental de las células vegetales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 96 p.
- Gontia, A. S. y M. K. Awasthi 1999 Effect of seed grading by size on various seed vigor attributes, morphophysiological characters and seed yield in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) genotypes. *Seed Research* 21(1): 25-30
- Guardiola, J. L.; Amparo, L. G. 1993. Transporte de azúcares y otros asimilados. *In: Fisiología y Bioquímica Vegetal*. AZCON-BIETON, J.; TALON, M. (ed.). McGraw-Hill-Interamericana. España. 522 p.
- Harlan, J. R. 1992. Crops and Man. Foundations for modern crop science series american society of agronomy. Madison, Wisconsin.
- Jha, B.N., S.K. Sinha y J.N. Singh 1985. Effect of seed size on yield in wheat (*Triticum aestivum*). *Seed Research* 13 (1): 24-27
- Kaplan, L. 1981. What is the origin of the common bean? *Economic Botanic*, 35(2): 240-254
- Kirby E., J. M. 1993. Effect of sowing depth on seedling emergence, growth and development in barley and wheat. *Field Crops Research* 35: 101-111.

- Lamour, A.; Lotz, L. A. P. 2007. The importance of tillage depth in relation to seedling emergence in stale seedbeds. *Ecological Modelling* 201: 536–546.
- Lima, R. E., Silva A. S., Paulo A. A., Grande M. T. 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
- Mahadi, L.; Bell, C. J.; 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.
- Nabi, G.; Mullins, C. E.; Montemayor, M. B.; Akhtar, M. S. 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 N. A. 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, C. B.; Aguirre R., J. R. 2007. El frijol silvestre mexicano (*Phaseolus vulgaris* L.): Riqueza renovable desaprovechada. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 150 p. En prensa.
- Peña-Valdivia, C. B.; 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, P. A.; Butrón, R.; Malvar, A.; Ordás, A. 1999. Relationships among Kernel weight, early vigor and growth in maize. *Crop Science* 39: 654-658.
- Ross A. M., Lembi A. C. 1999. Applied weed science. In: Characteristics, biology and importance of weeds. Prentice Hall (ed.). Second Edition. U. S. A.
- Sánchez-Urdaneta, A. B.; Peña-Valdivia, C. B.; Trejo, C.; Aguirre R., J. R.; Cárdenas, E.; 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.
- SAS. 1986. SAS/STAT. User's Guide. Release 6.03. SAS Institute. Cary, North Caroline. USA.

- Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR). 1998. Catalogo de Variedades Vegetales Factibles de Certificación. Variedades INIFAP. SAGAR-SNICS. México.1-15 p.
- Soltani, A.; Robertson, M. J.; 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.
- Suguna, C. A., S. Gopal, y V. M. R. Jagan. 1985. Study of root characters in relation to seed weight in rice and sorghum. *Seed Research* 13(2): 148-150.

## V. EFECTO DE LA PROFUNDIDADES DE SIEMBRA EN LA EMERGENCIA DEL FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) CON DISTINTO NIVEL DE DOMESTICACIÓN

### 5.1 RESUMEN

El objetivo de este estudio fue determinar la relación de la emergencia de las semillas de frijol domesticado y silvestre con la profundidad de siembra. El estudio se realizó en condiciones de invernadero con un diseño completamente al azar y arreglo factorial (15x4) de tratamientos con cuatro repeticiones. Los factores y niveles fueron a) domesticación con 15 niveles o variantes de frijol (seis cultivares mejorados: Amarillo 154, Bayomex, Delicias 71, Flor de Mayo Sol, Negro 150 y Ojo de Cabra; tres cultivares tradicionales: Gto. 113A, Mich. 12A3 y Pue. 40; y seis variantes silvestres: Chihuahua, Durango, de semilla chica y grande, Oaxaca y Tlaxcala de semilla chica y grande); y b) profundidad de siembra, con cuatro niveles de siembra (2.5, 5.0, 7.5 y 10.0 cm). La unidad experimental estuvo representada por una maceta con 25 kg de suelo con 20 semillas. Se evaluó el tiempo para la emergencia inicial (días), proporción de emergencia inicial (%), tiempo para la emergencia final (días) y emergencia final (%). La emergencia acumulada de las 15 variantes mostró una tendencia logística ( $y = k/l + (k-n/n)e^{-x}$ ). La emergencia inicial se incrementó, en forma no significativa ( $P > 0.05$ ), entre 1.8 días, en el cv. Negro 150, hasta 4.2 días en Ojo de Cabra en los cultivares; en los frijoles silvestres la respuesta fue similar a los cultivares. El porcentaje de emergencia inicial fue estadísticamente similar entre los cultivares y entre ellos y las variantes silvestres, en la siembra a 2.5 y 5.0 cm de profundidad; sin embargo, con la siembra a 7.5 y 10 cm de profundidad sí hubo diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ) entre los cultivares y entre éstos y las variantes silvestres. Los cultivares Negro 150 y Guanajuato 113A y las variantes silvestres Durango Típico y Tlaxcala Atípico fueron los más sincrónicos en la emergencia inicial (33 y 37 %) a 7.5 cm de profundidad, y la variante silvestre de Chihuahua (66 %) en la siembra a 10 cm; mientras que Bayomex y Flor de Mayo Sol

y la variante silvestre Chihuahua (entre 7 y 10 %) fueron los más asincrónicos para emerger en la siembra a 7.5 cm y el cv. Ojo de Cabra (9 %) a 10 cm. Después de la fase inicial de emergencia, tanto en los cultivares como las variantes silvestres se incrementó aceleradamente la emergencia. Las tasas de emergencia mayores, en los tres grupos, se observaron en los tratamientos sembrados a 2.5 cm de profundidad; en algunos casos, como el de los cv. Gto. 113A y Mich. 12A3 y las variantes silvestres Chih. y Dur. Atípico, la siembra a 10 cm de profundidad favoreció la tasa de emergencia respecto a la generada con 7.5 cm de profundidad. Así, el tiempo empleado para alcanzar la emergencia final con la siembra a 2.5 y 5.0 cm de profundidad fue estadísticamente similar ( $P > 0.05$ ) entre las 15 variantes, con valores promedio de 14.2 y 14.9 días en las dos profundidades. A 7.5 y 10 cm de profundidad se afectó negativamente la emergencia y, por tanto, la tasa de emergencia de las 15 variantes. Se concluye que la emergencia de las variantes silvestres fue independiente de la profundidad de siembra, y con respecto a los cultivares, que fue independiente del tamaño de semilla y del lugar de origen.

Palabras clave: Cultivares, frijol silvestre, plántula, tamaño de semilla.

## 5.2 ABSTRACT

The objective of this study was to determine the relation of emergence of domesticated and wild common bean seeds. The study was carried out under greenhouse conditions with a randomized statistical design and a factorial arrangement (15x4) of treatments and four repetitions. The factors and levels were a) domestication with 15 levels or variants of frijol (six improved cultivars: Amarillo 154, Bayomex, Delicias 71, Flor de Mayo Sol, Negro 150 and Ojo de Cabra; three regional cultivars: Gto. 113A, Mich. 12A3 and Pue. 40; and six wild variants: Chihuahua, Durango, of small and big seed, Oaxaca and Tlaxcala of small and big seed), and b) depths of sowing with four (2.5, 5.0, 7.5 and 10.0 cm). The experimental unit was a

pot with 25 kg of soil with 20 seeds. The time for initial emergency (days), proportion of initial emergency (%), time for final emergency (days) and final emergency (%) were evaluated. The accumulated emergency of the 15 variants showed a logistic tendency ( $y = k/l + (k-n/n) e^{-rx}$ ). The initial emergency was not significant among the cultivars ( $P > 0.05$ ) between 1.8 days, in the cv. Negro 150, up to 4.2 days in Ojo de Cabra and the same response was observed in wild common bean. The percentage of initial emergency was statistically similar between cultivars and wild variants at 2.5 and 5.0 cm of depth; nevertheless, with 7.5 and 10 cm of sowing depth there were significant statistical differences ( $P > 0.05$ ) among cultivars and between these and the wild variants. 'Negro 150' and 'Guanajuato 113A' and Typical and Atypical Durango and Atypical Tlaxcala were most synchronous for initial emergency (33 and 37 %) at 7.5 cm and the wild Chihuahua (66%) at 10 cm; whereas Bayomex and Flor de Mayo Sol and the wild Chihuahua (between 7 and 10 %) were most asynchronous for seedling emergence at 7.5 cm and the cv. Ojo de Cabra (9%) at 10 cm. After the initial phase of emergency, cultivars and wild variants increased the emergency rapidly. The greater rates of emergency, in the three groups, were observed with 2.5 cm of depth; in some cases, as in cv. Gto. 113A and Mich. 12A3 and the wild variants Chih. and Dur. Atypical, 10 cm of depth favored the rate of emergency respect to 7.5 cm of depth. Thus, the time to reach the final emergency with 2.5 and 5.0 cm of depth was statistically similar ( $P > 0.05$ ) among the 15 variants, with mean values of 14.2 and 14.9 days in both depths. To 7.5 and 10 cm of sowing depth emergency was negatively affected and the rate of emergency of the all 15 variants. It was concluded that emergency of wild variants respond similar to sowing depth than cultivars, independent of seed size and place of origin.

Keywords: Cultivar, wild common bean, seedling, seed size.

### 5.3 INTRODUCCIÓN

México es reconocido como el centro de origen y domesticación más importante de varias especies del género *Phaseolus*, entre las cuales la que más destaca por su valor comercial, es el frijol común (*P. vulgaris*) (Singh *et al.*, 1991). Existe evidencia de que esta planta se ha cultivando desde hace aproximadamente 8 mil años (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2001). La gran diversidad de climas y nichos ecológicos y culturales de nuestro país, favoreció durante este gran periodo, el desarrollo de una gran diversidad de variantes de frijol, con un mercado diverso en cuanto a preferencias y precios (Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2001).

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es cultivado en seis continentes, en mayor parte por su grano seco o por su vaina verde (Gepts, 1994). Singh (2001) señaló que el frijol común ocupa más del 85% de la superficie sembrada de todas las especies de *Phaseolus* en el mundo. Los principales productores de semilla de frijol en 2001 fueron Brasil, México y Estados Unidos, con más de la tercera parte de la producción mundial (FAO, 2003). En México se siembran 2.2 millones de hectáreas, de las cuales se cosechan 1.86 millones, que producen 1.2 millones de toneladas del grano, con un rendimiento promedio de 643 kg ha<sup>-1</sup>; esto representa el 7 % de la producción mundial de frijol (Cruz, 2006).

Actualmente se cuenta con numerosos cultivares tradicionales y mejorados, producto de la domesticación de ancestros silvestres, de los que aún existen poblaciones naturales en diversas regiones de América Latina (Mesoamérica, (México y Centroamérica) y Sudamérica) (Brücher, 1988; Kaplan y Lynch, 1999; Miranda, 1967; Smartt, 1988). En México, las poblaciones silvestres se localizan desde Chihuahua hasta Chiapas, entre los 15° y 32° latitud Norte y en altitudes que van desde los 500 hasta los 3000 m de altitud (Brücher, 1988; Delgado *et al.*, 1988; Miranda, 1967; Toro *et al.*, 1990). 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, pues poseen diversas características relacionadas con la adaptación a condiciones desfavorables, como el ataque de insectos, temperaturas extremas y sequía en diferentes etapas del desarrollo y en la semilla (Arroyo-Peña *et*

*al.*, 2005; López-Herrera *et al.*, 1999 y 2001; Peña-Valdivia *et al.*, 1999 y 2002; Sánchez-Urdaneta *et al.*, 2003; White e Izquierdo, 1991); además, se ha reconocido su potencial para el mejoramiento de la calidad nutricional de las variantes domesticadas (Singh, 1999).

Peña-Valdivia y Aguirre-Rivera (2007) señalan los beneficios potenciales del aprovechamiento de las poblaciones silvestres de frijol, pues además se cuenta con una gran cantidad de ellas en México; sin embargo, aseguran que antes de incorporarlas efectivamente al fitomejoramiento deben ser estudiadas con detalle, desde enfoques científicos diversos, para fundamentar su aprovechamiento. Al respecto, dichos autores destacan el potencial de los progenitores silvestres como fuente de tolerancia a factores de estrés biótico o abiótico, pero remarcan que es necesario entender y conocer antes 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 nutrimental. Además, conviene precisar que en los 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.

Al respecto, el vigor de la semilla se ha descrito como un conjunto de propiedades que determinan el nivel y patrón de funcionamiento 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 las variantes cultivadas y silvestres, pues en forma puede describir sintética las diferencias entre los procesos y reacciones bioquímicas durante la germinación. Una ventaja de la evaluación del 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 y variadas, pueden evaluarse numerosas poblaciones en poco tiempo (Moreno, 1996). El vigor de las semillas silvestres de frijol ha sido evaluado escasamente y se conoce muy poco de su relación con la germinación y emergencia de estas semillas al ser sembradas.

La información que se obtenga de cada evento del desarrollo del frijol silvestre enriquecerá la descripción y caracterización morfológica y agronómica de sus variantes, y facilitará la selección de las variantes y la planificación y aplicación oportuna de las labores de cultivo como la siembra, fertilización, riego, etc. Así, la identificación de las variantes que muestren ventaja en la emergencia y crecimiento de sus plántulas en una gama de condiciones bióticas y abióticas, ayudaría a descartar las menos aptas e identificar y seleccionar las mejores; esto reduciría tiempos y costos, pues no tendría que esperarse a que las plantas cubran su ciclo completo de desarrollo. Además, los genetistas tendrían germoplasma disponible para incorporar en sus programas de mejoramiento, seleccionado por sus características fisiológicas y morfológicas, más estables que los criterios de calidad de la semilla frecuentemente utilizados.

Con base en lo precedente, se consideró de interés realizar un ensayo con cultivares mejorados y tradicionales y variantes silvestres de frijol común, con la finalidad de describir las fases de la emergencia en relación a la profundidad de siembra.

#### **5.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

La presente investigación se desarrolló en un invernadero del Área de Botánica del Colegio de Posgraduados en Montecillo, Municipio de Texcoco, Estado de México. Se utilizaron seis cultivares mejorados y tres tradicionales, criollos o regionales, además de seis variantes silvestres de frijol común (Cuadro 5.1). De cada tipo de frijol se seleccionaron cinco grupos de 100 semillas y se pesaron. Debido a que las semillas de frijol silvestre frecuentemente son latentes, se escarificaron con un corte en la testa de algunos milímetros de profundidad.

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 de emergencia inicial (días para la emergencia de una o más plántulas) y el tiempo de emergencia final (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 germinación final (plántulas emergidas en el tiempo de emergencia total respecto al total de semillas sembradas) y la tasa de emergencia (núm. total de plántulas emergidas d<sup>-1</sup>).

Los datos se ordenaron y se analizaron bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos (15x4). El factor domesticación incluyó 15 niveles (seis cultivares mejorados, tres tradicionales y seis variantes silvestres), 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 tipos de frijol utilizados se presentan en el cuadro 5.1.

Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación múltiple de medias con la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) e interacciones con la prueba LSMEANS, todo con el paquete estadístico SAS (versión 8.1). La representación gráfica de los datos se realizó con el programa SigmaPlot de Jandel Scientific (versión 9) para computadora personal.

Cuadro 5.1. Cultivares y variantes silvestres de frijol incluidas en este estudio.

Variante	Coordenadas del sitio de recolección o cultivo	Clave en CIAT
----------	--	---------------

<b>Cultivares mejorados</b>		
Amarillo 154	19°31' 98°53' 2353 msnm	-
Bayomex	19°31' 98°53' 2353 msnm	-
Delicias		
Flor de Mayo Sol	-	-
Negro 150	19°31' 98°53' 2353 msnm	-
Ojo de Cabra		
<b>Cultivares tradicionales</b>		
Guanajuato 113-A	-	-
Michoacán 12-A3	-	-
Puebla 40	-	-
<b>Variantes Silvestres</b>		
Chihuahua	26° 56' N 106° 25' E 1750 msnm	G22837
Durango Atípico y Típico	23°58' N 104°18' E 1820 msnm	G11033
Oaxaca	17°40' N 96°39' W 1620 msnm	G12876
Tlaxcala Atípico y Típico	19°25' N 98°8' E 2404 msnm	

## 5.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La emergencia acumulada de las 15 variantes mostró una tendencia logística ( $y = k / (1 + (k-n/n)e^{-rx})$ ) (Figuras 5.1, 5.2 y 5.3). En este caso  $n$  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 asintótica, y  $r$  puede tomarse como el valor que representa la media de la velocidad de emergencia (SAS, 1991). Sin embargo, como la emergencia es un proceso complejo, aun más que la germinación, el parámetro  $r$  debería interpretarse como la variación del tiempo en el que las plántulas individuales completan la emergencia (Welbaum *et al.*, 1998). Tendencias similares a la emergencia del presente estudio han sido descritas por López-Herrera *et al.* (1999) y Peña-Valdivia *et al.* (2002) para la germinación de cultivares y variantes silvestres de frijol, en ensayos de laboratorio, con temperaturas entre 25 y 40 °C.

El tiempo para iniciar la emergencia fue estadísticamente similar ( $P > 0.05$ ) entre los cultivares, independientemente del nivel de mejoramiento o profundidad de siembra (Cuadro 5.2). Sin embargo, sí hubo una tendencia a incrementarse entre 2 y 3 días el tiempo medio para la emergencia inicial en el grupo de cultivares tradicionales y mejorados, respectivamente, con la siembra a 10 cm y con respecto a la siembra a 2.5 cm. Entre los cultivares mejorados, la emergencia inicial se incrementó, sin serlo en forma significativa ( $P > 0.05$ ), entre 1.8 días, en el cv. Negro 150, hasta 4.2 días en Ojo de Cabra. Mientras que en los cultivares tradicionales el período para iniciar la emergencia fue menos variable (entre 1.5 y 2.6 días). La relación de la emergencia inicial con la profundidad de siembra en los frijoles silvestres fue similar a los cultivares (Figuras 5.1, 5.2 y 5.3); así, el incremento no significativo ( $P > 0.05$ ) del tiempo para la emergencia entre la siembra a 2.5 y 10 cm fue de 2 días (Cuadro 5.2).

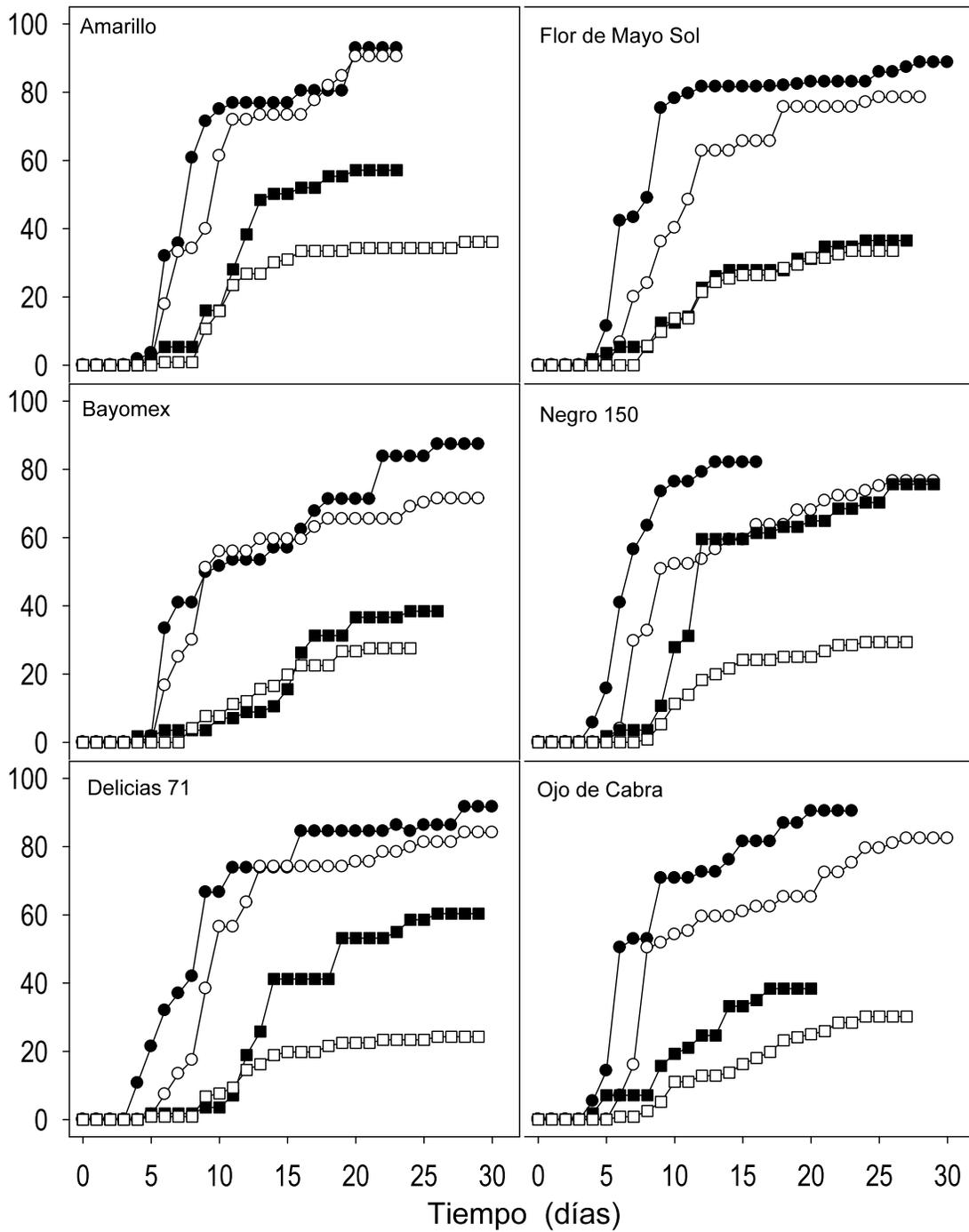


Figura 5.1. Emergencia acumulada de cultivares mejorados de frijol sembrados a 2.5 ( ● ), 5.0 ( ○ ), 7.5 ( ■ ) y 10 ( □ ) cm de profundidad, en condiciones de invernadero.

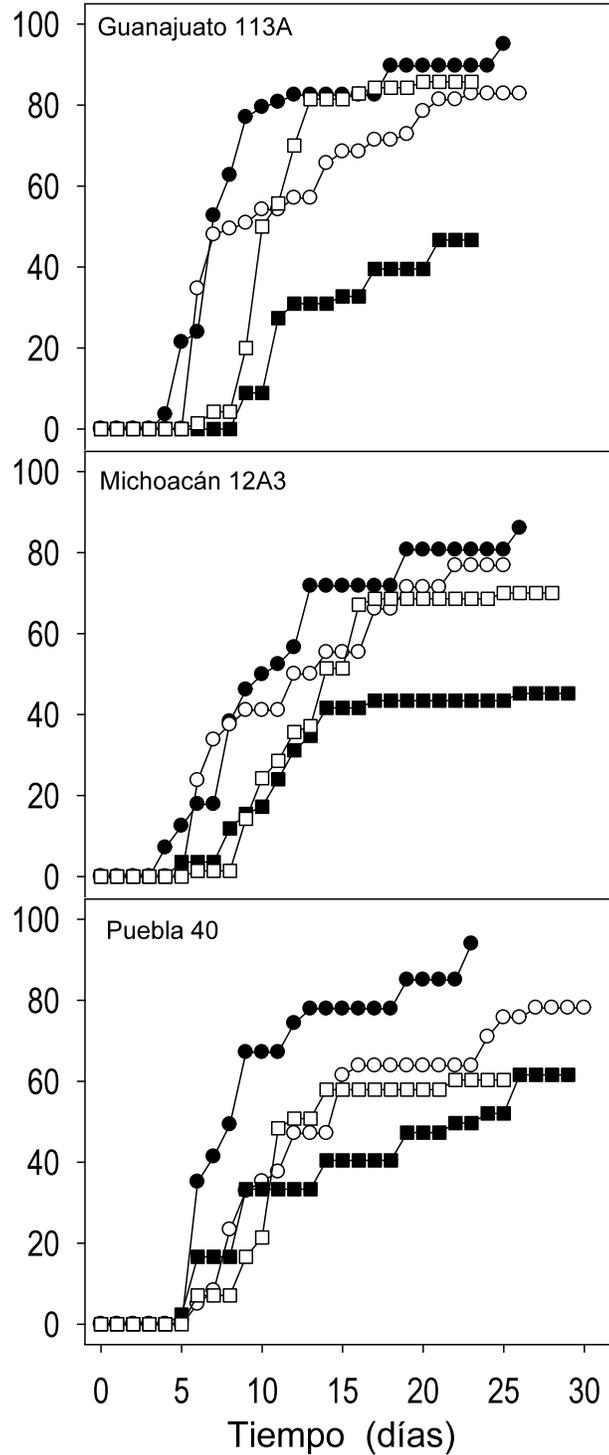


Figura 5.2. Emergencia acumulada de cultivares tradicionales de frijol sembrados a 2.5 ( ● ), 5.0 ( ○ ), 7.5 ( ■ ) y 10 ( □ ) cm de profundidad, en condiciones de invernadero.

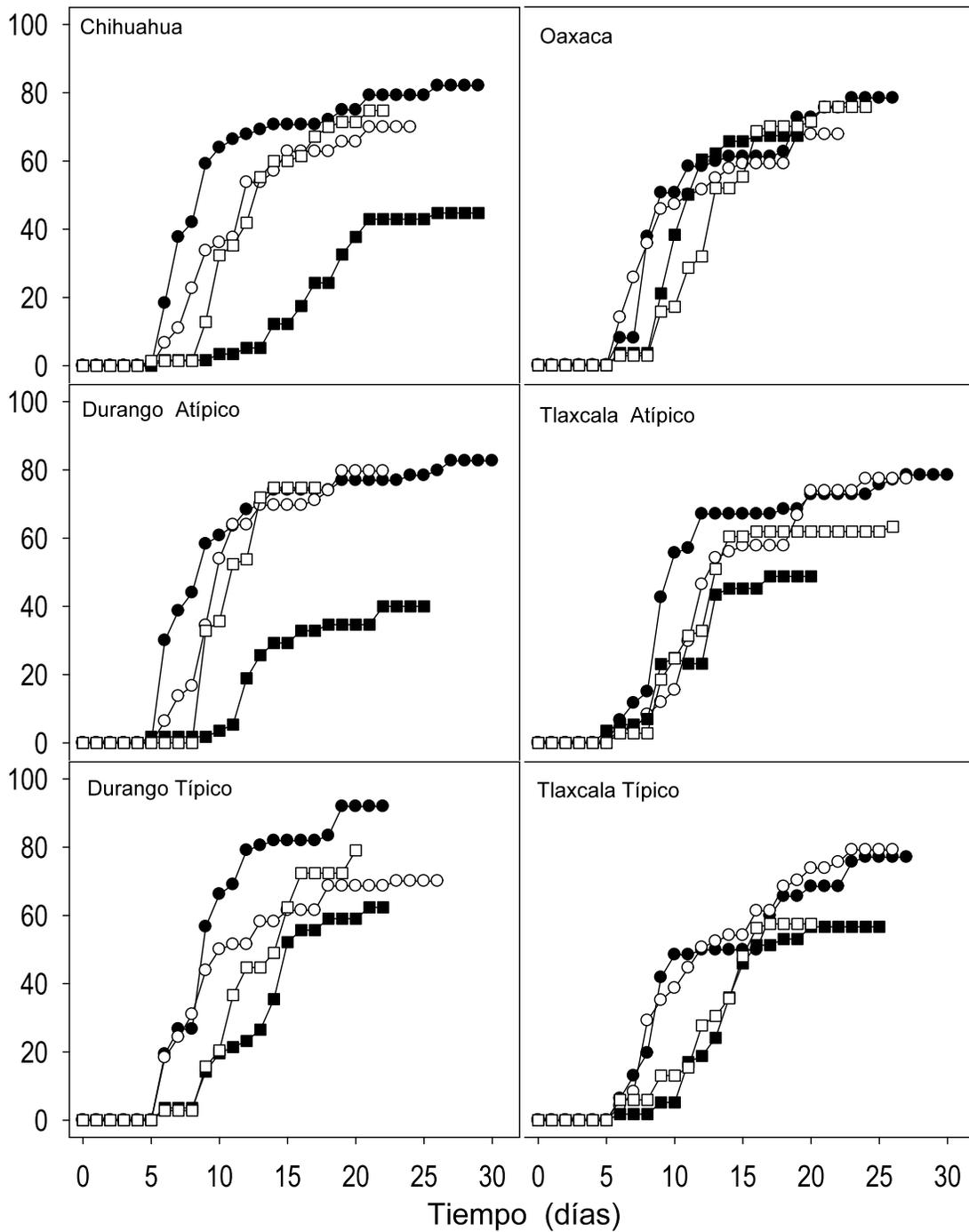


Figura 5.3. Emergencia acumulada de variantes silvestres de frijol sembrados a 2.5 ( ● ), 5.0 ( ○ ), 7.5 ( ■ ) y 10 ( □ ) cm de profundidad, en condiciones de invernadero.

Cuadro 5.2. Tiempo (días para la emergencia de una o más plántulas) y porcentaje de emergencia inicial de plántulas de frijol domesticado (cultivares mejorados y tradicionales) y silvestre, sembrado a 2.5, 5.0, 7.5 y 10 cm de profundidad. Se consideraron como atípicos las variantes silvestres con semilla casi tan grande como la domesticada.

Variante	Profundidad de siembra (cm)				Emergencia inicial	Porcentaje		
	2.5	5.0	7.5	10.0			2.5	5.0
	Días				Porcentaje			
<b>Cultivares mejorados</b>								
Amarillo 154	6.25 a	7.40 a	8.50 a	10.00 a	51.61 a	54.62 a	13.57 b	26.29 ab
Bayomex	7.20 a	8.20 a	10.25 a	9.00 a	19.86 a	47.43 a	10.24 c	19.01 ab
Delicias 71	6.25 a	7.60 a	10.00 a	7.67 a	39.10 a	34.37 a	15.24 b	18.09 ab
For de Mayo Sol	5.60 a	8.40 a	9.25 a	9.75 a	34.86 a	25.81 a	10-07 c	20.60 ab
Negro 150	5.60 a	8.00 a	8.25 a	9.80 a	28.00 a	27.52 a	<b>35.24 a</b>	16.67 ab
Ojo de Cabra	6.20 a	8.20 a	6.00 a	8.00 a	36.29 a	32.52 a	16.19 b	8.69 b
<b>Cultivares tradicionales</b>								
Guanajuato 113A	6.67 a	7.20 a	10.33 a	8.80 a	20.43 a	39.19 a	<b>36.51 a</b>	48.57 ab
Michoacán 12 <sup>a</sup> 3	7.40 a	7.83 a	7.33 a	10.00 a	27.91 a	35.19 a	18.25 b	34.29 ab
Puebla 40	6.75 a	8.60 a	11.75 a	8.20 a	45.83 a	25.38 a	17.26 b	47.62 ab
<b>Variantes Silvestres</b>								
Chihuahua	7.40 a	7.40 a	9.33 a	9.40 a	48.81 a	17.67 a	6.98 c	44.29 ab
Durango Atípico	7.20 a	7.80 a	9.00 a	10.20 a	44.29 a	22.05 a	18.09 b	<b>66.17 a</b>
Durango Típico	8.00 a	7.20 a	10.75 a	9.60 a	46.00 a	31.19 a	<b>32.50 a</b>	31.91 ab
Oaxaca	8.00 a	7.40 a	8.50 a	10.80 a	47.52 a	18.81 a	25.72 ab	33.81 ab
Tlaxcala Atípico	8.00 a	7.60 a	9.00 a	9.80 a	35.95 a	10.52 a	<b>34.13 a</b>	38.10 ab
Tlaxcala Típico	7.40 a	8.25 a	9.50 a	9.80 a	16.81 a	11.91 a	15.24 b	23.81 ab

Valores seguidos por diferente letra, dentro de las columnas, indican diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

El tiempo para iniciar la emergencia dependió de la interacción, estadísticamente significativa ( $P < 0.05$ ), entre la variante de frijol y la profundidad de siembra. Con la representación gráfica de esta interacción se evidenció la relación heterogénea de la emergencia con la profundidad de siembra en algunos cultivares, tanto mejorados como regionales, y la tendencia general de incremento del tiempo para iniciarse la emergencia de todas las variantes (Figura 5.4).

Aguirre R. *et al.* (2003) observaron similitud en la velocidad de emergencia de frijol silvestre y domesticado. Los citados autores evaluaron la fenología de frijol silvestre sembrado en el campo, durante el ciclo de cultivo primavera-verano, y observaron que las plántulas de las tres submuestras de frijol silvestre evaluadas, originarias de Durango y Tlaxcala, emplearon entre 10 y 11 días para emerger, y que este tiempo fue estadísticamente igual que el empleado por los cultivares Amarillo y Bayo Mecentral (entre 9.8 y 10.8 d).

El porcentaje de emergencia inicial indica la sincronía de cada variante para emerger. Dicho porcentaje fue estadísticamente similar entre los cultivares y entre ellos y las variantes silvestres en la siembra a 2.5 y 5.0 cm de profundidad; sin embargo, los valores promedio en algunos de los grupos fueron contrastantes. Las diferencias, no significativas ( $P > 0.05$ ), más amplias del porcentaje de emergencia inicial se observaron entre los cultivares mejorados Bayomex (20 %) y Amarillo 154 (52 %), entre los cultivares tradicionales Guanajuato 113A (20 %) y Puebla 40 (46 %), y entre las variantes silvestres Tlaxcala Típico (17 %) y Chihuahua (49 %), con la siembra a 2.5 cm de profundidad (Cuadro 5.2).

Con la siembra a 7.5 y 10 cm de profundidad sí hubo diferencias estadísticas significativas ( $P > 0.05$ ) en el porcentaje de emergencia inicial entre los cultivares y entre éstos y las variantes silvestres. Los cultivares Negro 150 y Guanajuato 113A

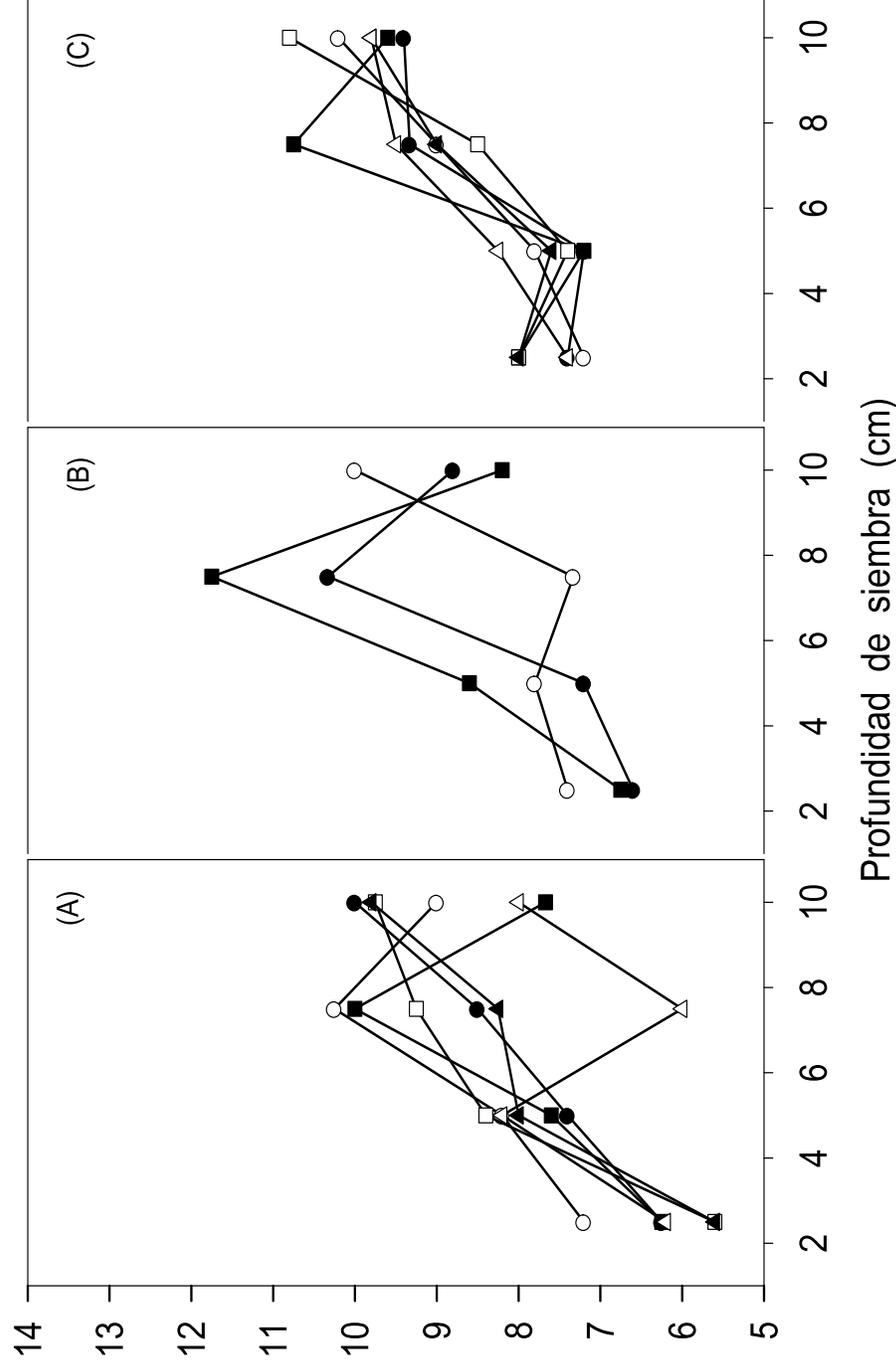


Figura 5.4. Efecto de la profundidad de siembra en el tiempo para iniciar la emergencia de (A) cultivares mejorados de frijol (●: Amarillo 154, ○: Bayomex, ■: Delicias 71, □: Flor de Mayo Sol, ▲: Negro 150 y △: Ojo de Cabra), (B) cultivares tradicionales (●: Guanajuato 113A, ○: Michoacán 12A3, ■: Puebla 40) y (C) variantes silvestres (●: Chihuahua, ○: Durango Atípico, ■: Durango Típico, □: Oaxaca, ▲: Tlaxcala Atípico y △: Tlaxcala Típico). Cada punto representa el promedio de cuatro repeticiones (n=60).

y las variantes silvestres Durango Típico y Tlaxcala Atípico fueron los más sincrónicos, con emergencia inicial entre 33 y 37 % cuando la siembra se realizó a 7.5 cm de profundidad, y la variante silvestre de Chihuahua (66 %) en la siembra a 10 cm. En contraste, los cultivares Bayomex y Flor de Mayo Sol y la variante silvestre Chihuahua (entre 7 y 10 %) fueron los más asincrónicos para emerger cuando la siembra se realizó a 7.5 cm de profundidad, y el cv. Ojo de Cabra (9 %) a 10 cm (Cuadro 5.2).

La interacción entre la variante de frijol y la profundidad de siembra sobre el porcentaje de emergencia inicial mostró significación estadística ( $P < 0.05$ ). La representación gráfica de esta interacción mostró la tendencia decreciente del porcentaje de emergencia inicial entre los cultivares mejorados, fluctuaciones amplias de esta variable principalmente entre los cultivares y, en general, mayor estabilidad en la emergencia inicial de las variantes silvestres en relación con la profundidad de siembra (Figura 5.5).

Se ha señalado que el tamaño de semilla puede tener efecto en la emergencia, pues se ha observado que durante la germinación, las especies con semilla grande tienen ventaja sobre las de semilla chica, por tener mayor soporte metabólico para el crecimiento temprano y originar plántulas de mayor tamaño, lo que conduce a su mejor establecimiento (Parker *et al.*, 2004). Las especies con semillas grandes también exhiben establecimiento superior con recursos limitados en ambientes con competencia alta, y emergencia mayor desde capas más profundas de suelo (Leishman, 2001). En contraste, 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 (Grime, 2001). También se ha señalado que el peso 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).

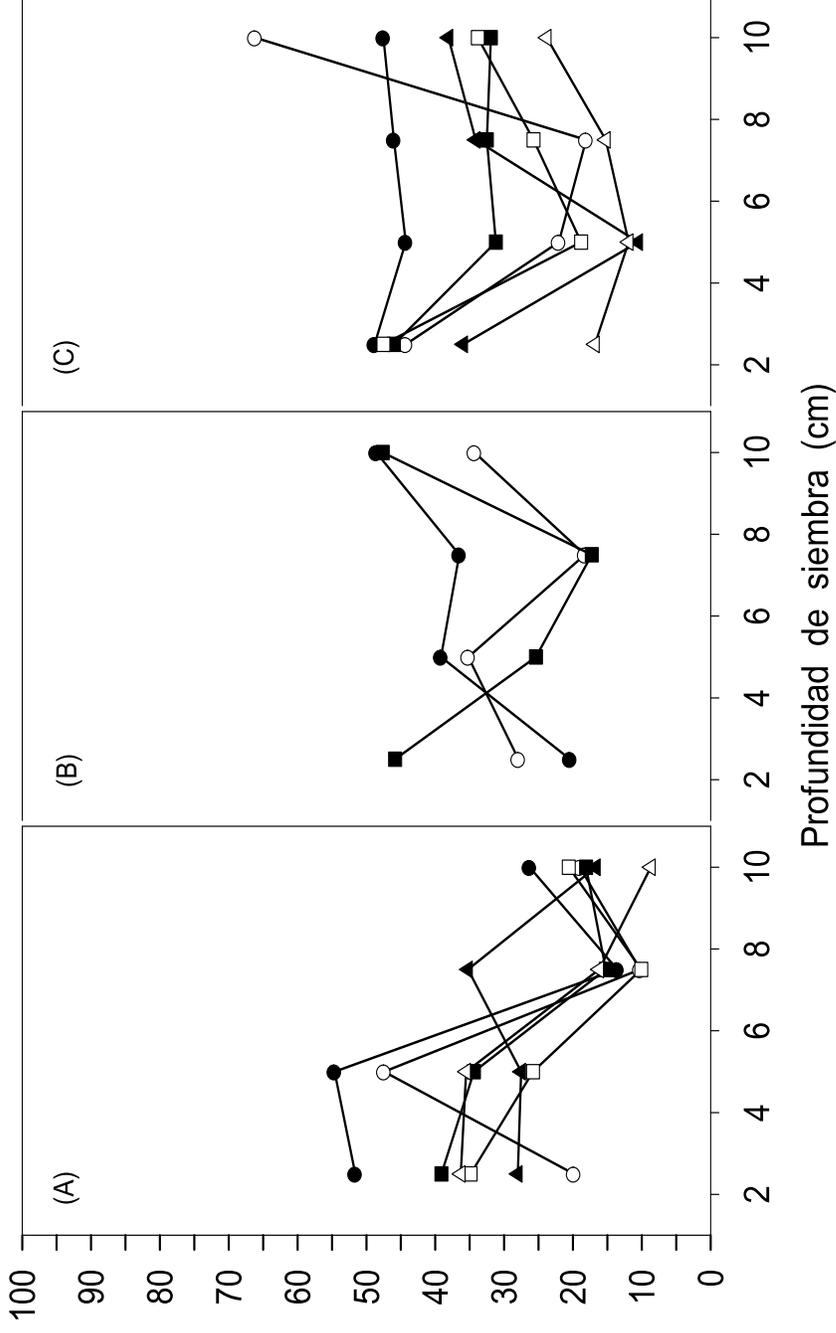


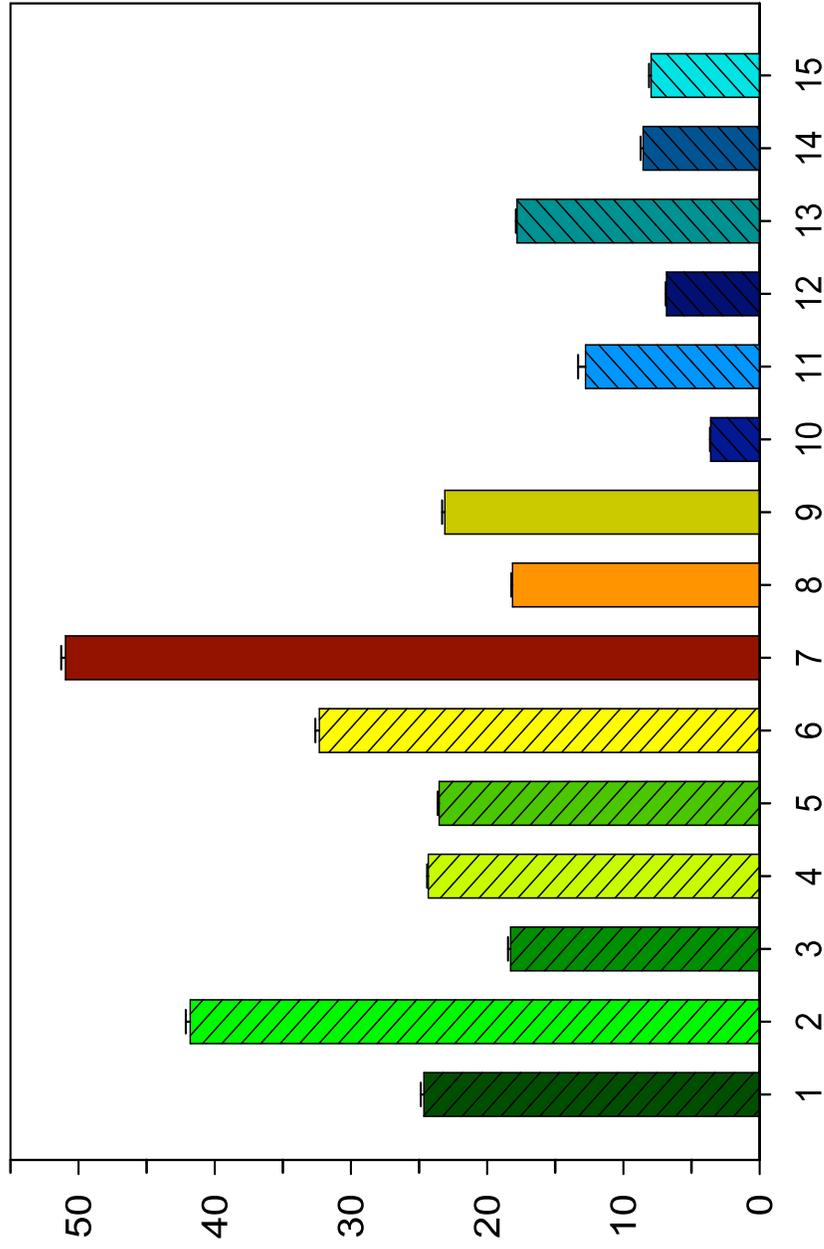
Figura 5.5. Efecto de la profundidad de siembra en el porcentaje de emergencia inicial de (A) cultivares mejorados de frijol (●: Amarillo 154, ○: Bayomex, ■: Delicias 71, □: Flor de Mayo Sol, ▲: Negro 150 y △: Ojo de Cabra), (B) cultivares tradicionales (●: Guanajuato 113A, ○: Michoacán 12A3, ■: Puebla 40) y (C) variantes silvestres (●: Durango Atípico, ■: Durango Típico, □: Oaxaca, ▲: Tlaxcala Atípico y △: Tlaxcala Típico). Cada punto representa el promedio de cuatro repeticiones (n=60).

El tamaño de semilla fue significativamente diferente entre y dentro de los cultivares y las variantes silvestres del presente estudio. Las semillas de tamaño mayor fueron las de los cultivares, con peso entre 18.28 y 41.80 g/100 semillas entre los mejorados, y 18.14 y 50.96 g/100 semillas, entre los tradicionales. Estos tamaños resultaron hasta 14 veces mayores que los de las semillas silvestres (entre 3.60 y 17.81 g/100 semillas) (Figura 5.6). Sin embargo, a pesar de las diferencias en el tamaño y origen de la semilla no se encontró alguna relación directa entre de estos factores y la emergencia.

La reacción adecuada de los cultivares a la profundidad de siembra asegura la permanencia y éxito del cultivo. Por ejemplo, el maíz se siembra normalmente a una profundidad de 5 a 8 cm si las condiciones de humedad son adecuadas. Esto da lugar a una emergencia de las plántulas rápida y uniforme, en cuatro o cinco días después de la siembra; pero, en algunos ambientes, como las tierras altas de México, la semilla se coloca normalmente a una profundidad de 12 a 15 cm a fin de encontrar niveles adecuados de humedad para la germinación. En estos ambientes los genotipos de maíz con un mesocótilo de elongación fuerte y rápida representan una ventaja (Cervantes O. *et al.*, 2007).

Después de la fase inicial de emergencia, tanto en los cultivares como en las variantes silvestres se incrementó aceleradamente la emergencia (Figuras 5.1, 5.2 y 5.3). Las tasas de emergencia mayores, en los tres tipos de frijoles, se observaron en los tratamientos sembrados a 2.5 cm de profundidad (Figura 5.7).

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 las variantes silvestres; sin embargo, el efecto fue menos pronunciado en estos últimos (Figura 5.7) y en algunos casos, como en los cultivares Gto. 113A y Mich. 12A3 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



### Cultivares y variantes silvestres

Figura 5.6. Tamaño de semilla (g/100 semillas) de cultivares mejorados de frijol (1: Amarillo 154, 2: Bayomex, 3: Delicias 71, 4: Flor de Mayo Sol, 5: Negro 150 y 6: Ojo de Cabra), cultivares tradicionales (7: Guanajuato 113A, 8: Michoacán 12A3, 9: Puebla 40) y variantes silvestres (10: Chihuahua, 11: Durango Atípico, 12: Durango Típico, 13: Oaxaca, 14: Tlaxcala Atípico y 15: Tlaxcala Típico). Cada barra representa el promedio de cinco repeticiones (n=500) y sobre ella se indica el error estándar.

con 7.5 cm de profundidad (Figuras 5.2 y 5.3). Así, el tiempo empleado para alcanzar la emergencia final con la siembra a 2.5 y 5.0 cm de profundidad fue estadísticamente similar ( $P > 0.05$ ) entre las 15 variantes, con valores promedio de 14.2 y 14.9 días, respectivamente (Cuadro 5.3).

El porcentaje de emergencia final fue significativamente similar ( $P > 0.05$ ) entre las 15 variantes con la siembra a 2.5 y 5.0 cm de profundidad; en general, con estas profundidades además se alcanzaron los mayores porcentajes de emergencia (Cuadro 5.3). La siembra a 7.5 y 10 cm de profundidad afectó negativamente la emergencia y por tanto la tasa de emergencia de las 15 variantes (Figura 5.7), aunque, solo se reconocieron diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) entre variantes a 7.5 cm (Cuadro 5.3). Los cultivares regionales Puebla 40 y Guanajuato 113A, destacaron por sus porcentajes de emergencia altos con la siembra a 7.5 y 10 cm de profundidad, respectivamente; además, las variantes silvestres mostraron un incremento significativo de la tasa de emergencia con la siembra a 10 cm, respecto a la de 7.5 cm (Figura 5.7). La tasa promedio de emergencia de los cultivares regionales y las variantes silvestres decayó linealmente con el incremento de la profundidad de siembra, pero con una pendiente menos pronunciada con respecto al grupo de cultivares mejorados (Figura 5.7).

Al igual que en el tamaño de la semilla, característica comúnmente contrastante entre las variantes domesticadas y silvestres de frijol (Peña-Valdivia *et al.*, 1998), también, se han registrado diferencias significativas en las proporciones de testa, eje embrionario y cotiledón entre las semillas de los frijoles domesticados y silvestres (Flores *et al.*, 2002; Peña-Valdivia *et al.*, 1998). Sin embargo, fue evidente que ni el tamaño de la semilla ni la proporción de sus regiones anatómicas, parecen tener relación probable con la emergencia al variar la profundidad de siembra del frijol.

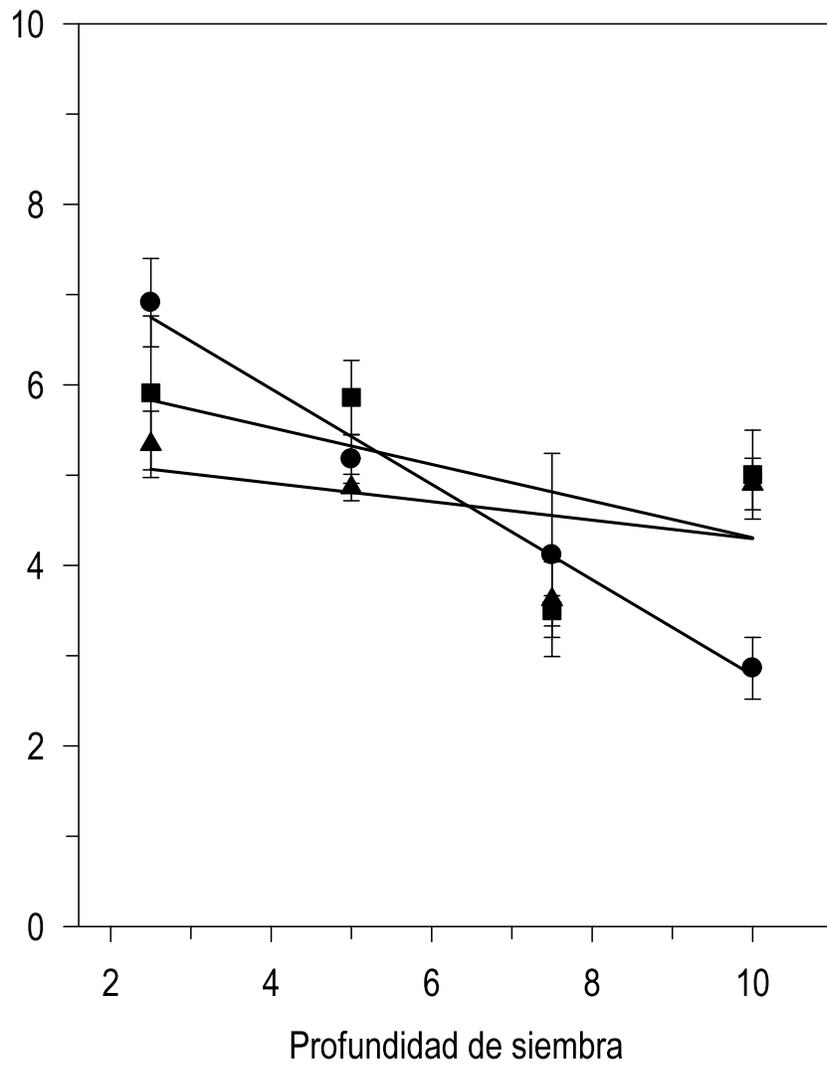


Figura 5.7. Efecto de la profundidad de siembra de frijol en la tasa de emergencia de cultivares mejorados (●), cultivares tradicionales (■) y variantes silvestres (▲).

Cuadro 5.3. Tiempo (días para la emergencia del número máximo de plántulas) y porcentaje de emergencia final de plántulas de frijol domesticado (cultivares mejorados y tradicionales) y silvestre, sembrado a 2.5, 5.0, 7.5 y 10 cm de profundidad. Se consideran como atípicos las variantes silvestres con semilla casi tan grande como los domesticados.

Tipo	Profundidad de siembra (cm)				Emergencia inicial	Porcentaje		
	2.5	5.0	7.5	10.0			2.5	5.0
	Días				Porcentaje			
<b>Cultivares mejorados</b>								
Amarillo 154	11.50 a	14.20 a	6.00 bc	18.00 ab	92.86 a	90.43 a	57.15 b-d	64.28 a
Bayomex	15.60 a	14.40 a	19.67 a-c	18.00 ab	78.86 a	69.00 a	44.60 cd	50.00 a
Delicias 71	13.25 a	15.80 a	22.67 ab	19.00 ab	91.61 a	80.76 a	71.59 ab	24.28 b
Flor de Mayo Sol	13.40 a	15.80 a	17.50 a-c	17.50 ab	81.57 a	69.81 a	36.55 d	57.14 a
Negro 150	10.00 a	15.00 a	18.50 a-c	<b>22.60 a</b>	82.00 a	76.48 a	75.60 ab	64.28 a
Ojo de Cabra	11.40 a	15.60 a	14.33 c	18.73 ab	81.28 a	82.33 a	51.17 b-d	64.28 a
<b>Cultivares tradicionales</b>								
Guanajuato 113A	13.00 a	13.00 a	16.67 a-c	14.60 ab	95.00 a	82.76 a	62.23 a-d	85.71 a
Michoacán 12A3	17.00 a	13.20 a	19.00 a-c	16.80 ab	74.21 a	81.43 a	60.32 a-d	69.99 a
Puebla 40	15.50 a	17.20 a	<b>24.00 a</b>	13.00 b	93.93 a	86.86 a	<b>86.03 a</b>	64.76 a
<b>Variantes Silvestres</b>								
Chihuahua	17.20 a	14.40 a	22.00 ab	16.00 ab	82.05 a	69.91 a	44.13 cd	74.76 a
Durango Atípico	18.20 a	14.40 a	17.00 a-c	12.20 b	82.62 a	79.62 a	53.34 b-d	74.76 a
Durango Típico	13.00 a	14.20 a	16.00 bc	15.00 ab	91.90 a	70.05 a	62.38 a-d	79.05 a
Oaxaca	14.40 a	13.00 a	14.00 c	16.80ab	78.28 a	61.29 a	67.26 a-c	75.71 a
Tlaxcala Atípico	15.40 a	17.00 a	14.33 c	15.20 ab	78.47 a	77.38 a	65.08 a-c	63.33 a
Tlaxcala Típico	15.00 a	17.25 a	17.00 c	14.80 ab	77.05 a	79.17 a	56.67 b-d	69.05 a

Valores seguidos por diferente letra, dentro de las columnas, indican diferencias estadísticamente significativas, según la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

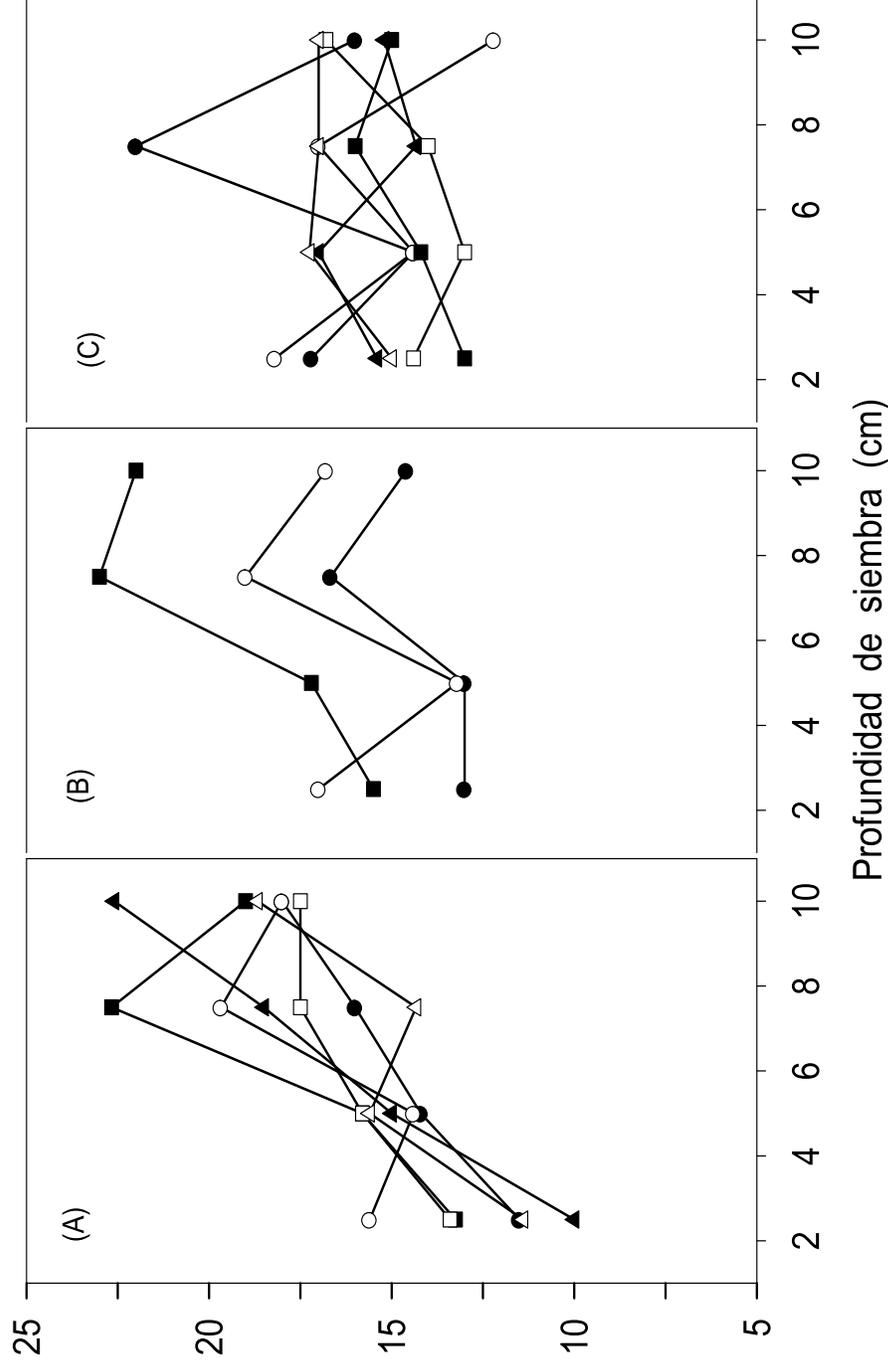


Figura 5.8. Efecto de la profundidad de siembra en el tiempo para la emergencia final de (A) cultivares mejorados de frijol (●: Amarillo 154, ○: Bayomex, ■: Delicias 71, □: Flor de Mayo Sol, ▲: Negro 150 y △: Ojo de Cabra), (B) cultivares tradicionales (●: Guanajuato 113A, ○: Michoacán 12A3, ■: Puebla 40) y (C) variantes silvestres (●: Chihuahua, ○: Durango Atípico, ■: Durango Típico, □: Oaxaca, ▲: Tlaxcala Atípico y △: Tlaxcala Típico). Cada punto representa el promedio de cuatro repeticiones (n=60).

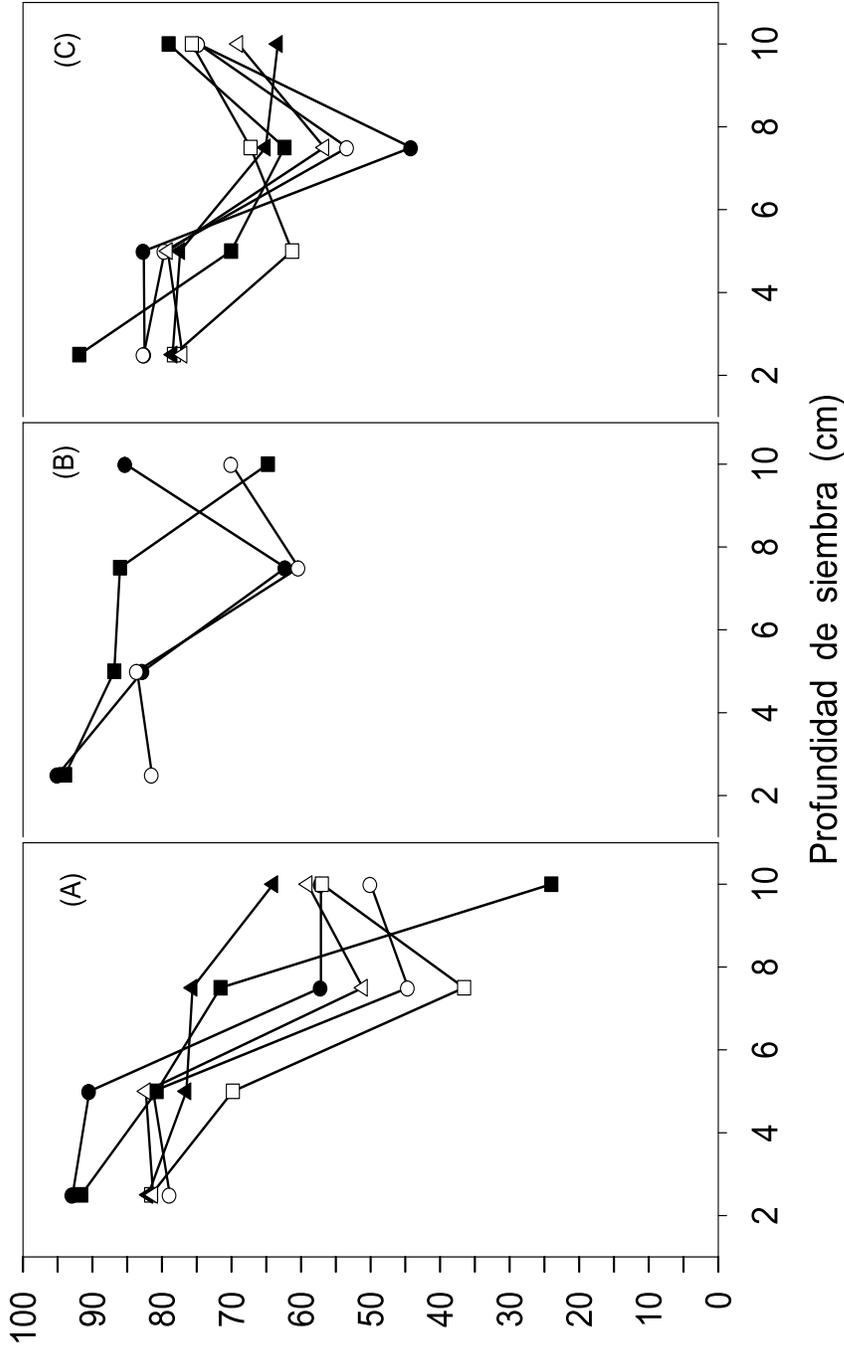


Figura 5.9. Efecto de la profundidad de siembra en el porcentaje de emergencia final de (A) cultivares mejorados de frijol (●: Amarillo 154, ○: Bayomex, ■: Delicias 71, □: Flor de Mayo Sol, ▲: Negro 150 y △: Ojo de Cabra), (B) cultivares tradicionales (●: Guanajuato 113A, ○: Michoacán 12A3, ■: Puebla 40) y (C) variantes silvestres (●: Chihuahua, ○: Durango Atípico, ■: Durango Típico, □: Oaxaca, ▲: Tlaxcala Atípico y △: Tlaxcala Típico). Cada punto representa el promedio de cuatro repeticiones + el error estándar (n=60).

## **CONCLUSIONES**

Se concluye que la emergencia de las variantes silvestres fue similar al variar la profundidad de siembra. Respecto a los cultivares, la emergencia varió independientemente del tamaño de semilla o lugar de origen. Así, la emergencia parece no significar un problema para el uso de las poblaciones silvestres en el fitomejoramiento del frijol domesticado.

## LITERATURA CITADA

- Aguirre R., J. R.; C. B. Peña-Valdivia; J. S. Bayuelo-Jiménez. 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.
- AOSA. 1993. Rules for testing seeds. Journal of Seed Technology 16(3):1-113.
- Arroyo-Peña, B.; C.B. Peña-Valdivia; A.B. Sánchez-U. 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 Vol. 17: 237-239.
- Cervantes O., F.; G. García de los S.; A. Carballo C.; D. Bergvinson; J. Crossa; M. Mendoza E.; E. Moreno M. 2007. Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. Colegio de Postgraduados
- Cruz, R. 2006. Crean súper frijol: produce su fertilizante y resiste tres semanas sin agua in BOLETIN SEMANAL No. 31: Granos Básicos 3p.
- Brücher H., 1988. The wild ancestor of *Phaseolus vulgaris* in South America. In: Gepts, P. (ed.), Genetic Resources of *Phaseolus* Beans. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. pp: 185-214.
- Debain, S.; T. Curt; J. Lepart. 2003. Seed mass, seed dispersal capacity, and seedling performance in *Pinus sylvestris* population. Ecoscience 10: 168-175.
- Delgado S., A.; A. Bonet; P. Gepts. 1988. The wild relative of *Phaseolus vulgaris* in Middle America. In: Gepts P. (ed.), Genetic Resources of *Phaseolus* Beans. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. pp: 143-161.
- FAO, 2003. <http://apps.fao.org/faostat>
- Flores D., A.; M. del C. Ybarra; Castillo M., J.; R. García N.; C. B. Peña-Valdivia; J. R. Aguirre R. 2002. Potencial agroindustrial del frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* L.): dureza de semilla y composición química. Memorias del Primer Foro Internacional de Mecanización y Agroindustrial. Chapingo, México, pp.1-15, 'CD'.

- Gepts, P. 1994. Análisis moleculares del proceso de domesticación en plantas: El ejemplo del frijol común (*Phaseolus vulgaris*). 11° Congreso Latinoamericano de genética (Area vegetal) y XV Congreso de Fitogenetica. Nuevo León, Monterrey. 25-30 p.
- Grime, J.P. 2001. *Plant Strategies and Vegetation Processes, and ecosystem properties*. 2nd edn. Wiley & Sons, Chichester
- Kaplan, L.; T. F. Lynch. 1999. *Phaseolus* (Fabaceae) in archeology: AMS radiocarbon dates and their significance for pre-Colombian agriculture. *Economic Botany* 53: 261-272.
- 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-Herrera, M; C. B. Peña-Valdivia; J. R. Aguirre R.; C. Trejo L.; J. Muruaga M. 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; C. B. Peña-Valdivia; J. R. Aguirre R.; C. Trejo L. 2001. Differences in seed germination of wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in response to storage. *South African Journal of Botany* 67: 620-628.
- Miranda C., S. 1967. Origen de *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común). *Agrociencia* 1:99-109.
- Moreno, M. E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Programa universitario de alimentos. Universidad Autónoma de México, México. 393 p.
- Parker, W.C.; T.L. Noland; A.E. Morneault. 2004. Effect of seed mass of five eastern white pine (*Pinus strobus* L.) families under contrasting light environments. *Canadian Journal of Botany* 82: 1645-1654.
- Peña-Valdivia, C. B.; J. R. Aguirre R.; E. R. García H.; J. Muruaga M. 1998. Componentes del rendimiento de semilla de una población silvestre y un cultivar de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Quaderni di Botanica Ambientale e Applicata* 6: 181-187.

- Peña-Valdivia, C. B.; E. del R. García H.; I. Bernal-Lugo; J. R. Aguirre 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.; 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.
- Peña-Valdivia; C.B.; R.J. Aguirre R. 2007. El frijol silvestre mexicano (*Phaseolus vulgaris* L.): Riqueza renovable desaprovechada. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 150 p. En prensa.
- Sánchez-Rodríguez, G., J. A. Manríquez-Nuñez, F. A. Martínez-Mendoza y L. A. López-Ibarra. 2001. El frijol en México competitividad y oportunidades de desarrollo. Boletín informativo FIRA, Número 36, Volumen XXXIII, México. 85p.
- Sánchez-Urdaneta, A.B.; C. B. Peña-Valdivia; C. Trejo; J. Rogelio Aguirre R.; E. Cárdenas; A. Galicia J. 2003. Permeabilidad de las membranas radicales de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado bajo déficit de humedad. *Interciencia* 28(10): 597-603.
- SAS, 1991
- Simons, A.M.; M.O. Johnston. 2000. Variation in seed traits of *Lobelia inflata* (Campanulaceae): sources and fitness consequences. *American Journal of Botany* 87: 124-132.
- Singh, P.S.; P. Gepts; D.G. Debouck. 1991. Races of common bean (*Phaseolus vulgaris*, *Fabaceae*). *Economic Botany* 45(3): 379-396.
- Singh, S.P. 1999. Production and utilization. In: *Common Bean Improvement in the Twenty-First Century*, Singh, S. P. (ed). Kluwer Academic Publisher, Netherlands. pp. 1-24.
- Singh, P.S. 2001. Broadening the genetic base of common bean cultivars: A review. *Crop Sci* 41:1659-1675
- Smartt, J. 1988. Morphological, physiological and biochemical changes in *Phaseolus* bean under domestication. In: *Genetic resources of Phaseolus*. Gepts, P. ed. pp. 143-161. Kluwer Academic Publisher, The Netherlands.
- Toro, O.; J. Thome; G. Debouck D. 1990. Wild bean (*Phaseolus vulgaris* L.): description and distribution. IBPER and CIAT, Cali, Colombia.

- Wang, R.; Y. Bai; N.H. Low; K. Tanino. 2006. Seed size variation in cold and freezing tolerate during seed germination of winterfat (*Krascheninnikovia lanata*) (Chenopodiaceae). *Canadian Journal of Botany* 84: 49:59,
- Welbaum, G.E.; K.J. Bradford; K-O Yim; D.T. Booth; M.O. Oluouch. 1998. Biophysical, physiological and biochemical processes regulating seed germination. *Seed Science Research* 8: 161-172.
- White, J. W.; J. Izquierdo. 1991. Physiology of yield potential and stress tolerance. *In: Common Beans: Research for Crop Improvement*, van Schoonhoven A.; O. Voysest (ed). pp. 287-382. CAB International y CIAT, Wallingford, UK.

## **VI. EFECTO DE LA PROFUNDIDAD DE SIEMBRA EN EL CONSUMO DE LAS RESERVAS DE LA SEMILLA DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) CON DISTINTO NIVEL DE DOMESTICACIÓN**

### **6.1 RESUMEN**

El objetivo de la investigación fue evaluar la eficiencia del uso de reservas en la semilla de frijol domesticado y silvestre para la germinación y emergencia en dependencia de la profundidad de siembra. Se realizó análisis multivariable de componentes principales y agrupamiento de las características morfológicas de las semillas (peso de la semilla, color, brillo, tono e intensidad del color de la testa, y proporción de cotiledones, testa y eje embrionario) y las plántulas (altura, biomasa de los cotiledones consumida en la germinación y emergencia, biomasa acumulada en folíolos, hipocótilo y raíz, diámetro y longitud del hipocótilo, y longitud de la raíz) de seis cultivares mejorados, tres tradicionales y seis variantes silvestres sembrados a 2.5, 5.0, 7.5 y 10 cm de profundidad, en condiciones de invernadero. Únicamente los cultivares, mejorados y tradicionales, incrementaron la longitud del hipocótilo (hasta 4 cm) con la profundidad de siembra, las variantes silvestres con los tamaños de semilla menores (3.6 a 8.6 g/100 semillas) acumularon las menores cantidades de biomasa en los hipocótilos (0.019 a 0.034 g), los tradicionales acumulan el doble de biomasa en los folíolos (0.26 g) con la siembra a 2.5 cm, respecto a los otros dos grupos, pero disminuyó drásticamente, en los tres grupos con el incremento de la profundidad de siembra. En promedio los tres grupos acumulan mayor biomasa en los foliolo (0.13 a 0.26 g), hipocótilo (0.04 a 0.7 g) y raíz (0.06 a 0.07 g) y generaron las plántulas más altas (18.4 a 26.8 cm) con la siembra a 2.5, 5.0, 7.5 y 10 cm, respectivamente. En las condiciones de este estudio se determinó que las semillas domesticadas parecen ser más eficientes en el uso de las reservas seminales para la germinación y emergencia de las plántulas; sin embargo, falta comprobar si este resultado no es un efecto indirecto del mayor contenido de polisacáridos estructurales de las semillas silvestres. Las reservas seminales son asignadas al

desarrollo de las estructuras de la plántula en proporciones variables y en dependencia de la variante de frijol.

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

## 6.2 ABSTRACT

The objective of this investigation was to evaluate the efficiency to use seminal reserves for germination and seedling emergence of domesticated and wild common bean at different depth sowing. Principal components and cluster multivariate analysis were carried out including seed morphology (seed weight, seed coat color, brightness, tone and intensity of the seed coat color, and cotyledons, coat and embryonic axis seed proportion) and seedling morphology (height, biomass of cotyledons consumed during germination and emergency, accumulated biomass in leaflets, hypocotyl and root, diameter and length of hypocotyl, and root length) of six improved cultivars, three landraces and six wild variants, seeded to 2.5, 5.0, 7.5 and 10 cm of depth, under greenhouse conditions. Improved cultivars and landraces increased hypocotyl length (up to 4 cm) with the sowing depth, the wild variants with the smaller seed sizes (3.6 to 8.6 g/100 seeds) accumulated the lower hypocotyl biomass (0.019 to 0.034 g), landraces accumulate two fold biomass in the leaflets (0.26 g) with sowed to 2.5 cm depth, respect to the other two groups, but biomass in leaflets diminishes drastically in all three groups with the increase of depth sowing. In average, the three groups accumulated greater biomass in leaflet (0.13 to 0.26 g), hypocotyl (0.04 to 0.7 g) and root (0.06 to 0.07 g) and generated the largest seedlings (18.4 to 26.8 cm) with sowing depth to 2.5, 5.0, 7.5 and 10 cm, respectively. In the conditions of this study it was determined that domesticated seeds seem to be more efficient to use seminal reserves for germination and seedling emergence; nevertheless, it is necessary to verify if this result is not an indirect effect of the greater content of structural polysaccharides of wild seeds. The seminal reserves are

allocated to the development of seedling structures in variable proportions and it depends on the common bean variant.

**Keywords:** Multivariate analysis, germination, seedling, wild plant.

### 6.3 INTRODUCCIÓN

La germinación de una semilla se inicia con la imbibición de agua y culmina con la emergencia de la plántula a través de las cubiertas seminales (García-Agustín y Primo-Millo, 1993). Los procesos metabólicos de la germinación incluyen el crecimiento y diferenciación celular en el embrión, para lo cual se consumen reservas del mismo embrión. Después, el crecimiento continuo del embrión depende del flujo de productos de la hidrólisis de los cotiledones o reservas extraembriónicas, como las del endospermo. Esta fase continúa hasta que la planta se establece como un organismo fotosintético o muere cuando se ha consumido la reserva alimentaria (Duffus y Slaughter, 1992). Así, se ha señalado que en una misma especie el tamaño de la semilla es un factor que puede afectar la germinación y la emergencia de la plántula, y que las semillas de menor tamaño, por la menor cantidad de reservas que puedan contener, tienen menos éxito en estos procesos. Al respecto, hace algunas décadas Gill y Singh (1979) determinaron experimentalmente, que el tamaño de semilla no alteraba la germinación en ensayos de laboratorio, pero que en el campo las semillas mayores mostraron mayor emergencia. En contraste, el peso de la semilla de chícharo (*Pisum sativum* L.) no modificó el tiempo para la emergencia, ni su porcentaje, pero las plantas de semillas pesadas presentaron más ramas, hojas, área foliar y brotes, así como más biomasa seca en las hojas que las semillas ligeras; como consecuencia de estas diferencias, las plantas de semillas pesadas tuvieron mayores rendimientos (Qui y Mosjidis, 1993). En concordancia, Lima *et al.* (2005) aseguran que las semillas grandes producen granos grandes, los que usualmente obtienen un mejor precio en el mercado, y propician el mejor

crecimiento de las plantas, lo que, a la vez, puede ser ventajoso en cultivos establecidos en condiciones promotoras de estrés o que enfrentan la infestación temprana de arvenses.

La calidad de la semilla está determinada principalmente por la germinación y el establecimiento de las plántulas en el campo; pero, ambos procesos dependen, en gran medida, del vigor de la semilla. El Comité de Pruebas de Vigor ISTA (Asociación Internacional de Análisis de Semillas) definió el vigor como la suma total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y tendencia de la semilla o lote de semillas durante su germinación y la emergencia de la plántula. Conocer y cuantificar el vigor de la semilla ayuda a pronosticar la tendencia de un lote de semillas, especialmente cuando las condiciones ambientales son parcialmente desfavorables para la germinación y emergencia de las plántulas (Moreno, 1996). Además, un efecto directo del vigor sobre el rendimiento es la homogeneidad, o ausencia de subpoblaciones diferentes (Tekrony y Egly, 1991). El vigor de la semilla afecta el crecimiento vegetativo y frecuentemente se le ha relacionado con el rendimiento de cultivos que son cosechados inmaduros o al inicio del crecimiento reproductivo, pero esta relación se pierde en cultivos que se cosechan al término de la madurez reproductiva. Así, el vigor de la semilla sólo puede tener efecto sobre el rendimiento cuando éste consiste de material vegetativo (Tekrony y Egly, 1991).

En relación con los factores que determinan el vigor de la semilla, Boe (2003) señaló que la plasticidad fenotípica, como reacción a la variación espacial, también puede influir en el peso de la semilla y en el vigor de diferentes lotes de cultivares de la monocotiledónea *Panicum virgatum*. En trigo se demostró que a mayor profundidad (12 cm) de siembra el vigor de la plántula se reduce y se generan brotes más largos y delgados que en las plántulas originadas de siembra a menor profundidad (3 y 6 cm), independientemente de la precipitación (373 mm y 299 mm) (Mahdi *et al.*, 1998). En estos experimentos se encontró que el tiempo de emergencia aumentó a mayor profundidad de siembra y que la siembra a 6 cm de profundidad propició mejor

establecimiento con ambos aportes de agua, aunque en un año de mayor precipitación, con 3 cm de profundidad también se observó el establecimiento adecuado del cultivo. En concordancia con las observaciones de Mahdi *et al.* (1998), Kirby (1993) observó en cebada y trigo que la mayor profundidad de siembra modificó el tiempo de emergencia, la tasa de crecimiento del vástago y de emergencia de las hojas, el número final de hojas, y la elongación del tallo y los entrenudos. En conjunto, esos resultados indican que la profundidad de siembra puede tener efecto negativo en la emergencia y desarrollo de la planta, lo cual modifica y, en general, disminuye la acumulación de materia seca en las estructuras de las plántulas emergiendo.

Las evidencias señalan que además de los factores propios de la semilla, que le permiten germinar y emerger, deben ser considerados los factores externos, como la temperatura, agua, oxígeno y luz, los cuales influyen determinantemente en la germinación de la semilla (Izco *et al.*, 1997). Al respecto, Soltani *et al.* (2006) señalaron que además de la profundidad de siembra, la temperatura y humedad del suelo fueron los factores principales que influyeron en el incremento del tiempo para la emergencia de las plántulas de garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Al respecto, se puede suponer que al incrementarse el tiempo de emergencia haya una disminución del porcentaje de germinación, debido a la mayor oportunidad de incidencia de enfermedades en las semillas y en las plántulas en emergencia.

La evaluación del vigor de la semilla indudablemente puede ayudar a estimar el desarrollo y rendimiento potencial de la planta, especialmente en ambientes desfavorables. Además, un aspecto poco estudiado es la eficiencia de translocación de nutrimentos inter e intraespecífica. Con base en lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la eficiencia de uso de las reservas seminales durante la germinación y emergencia del frijol, específicamente en 15 variantes domesticadas (cultivares mejorados y tradicionales) y silvestres, en dependencia de la profundidad de siembra.

## 6.4 MATERIALES Y MÉTODOS

#### **6.4.1 Materiales**

Se utilizaron seis cultivares mejorados, tres tradicionales o criollos y seis variantes silvestres de frijol (Cuadro 6.1). Los cultivares mejorados fueron seleccionados por su mayor vigor entre un grupo de 48 cultivares mejorados, sembrados a tres profundidades, en un ensayo previo (Capítulo 3 de este trabajo de investigación). Los cultivares tradicionales y las variantes silvestres fueron seleccionadas del grupo de variantes domesticadas y silvestres que han sido estudiadas en el área de Biofísica Vegetal, del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, y de las que se tiene información morfológica, fisiológica, bioquímica, etc. relativamente abundante (Aguirre R. *et al.*, 2003; Arroyo-Peña *et al.*, 2005; Chávez, 2002; Flores *et al.*, 2002; López *et al.*, 2007; Sánchez-Urdaneta *et al.*, 2003 y 2005).

#### **6.4.2 Siembra de las semillas**

Las semillas se sembraron en macetas de 20 L, a 2.5, 5.0, 7.5 y 10.0 cm de profundidad, con una mezcla de tierra de monte y arena (2:1 p:p) como sustrato. Se aplicó un riego a capacidad de campo antes de la siembra y después el riego se aplicó cada tercer día, o según se requiriera para mantener el sustrato húmedo. La unidad experimental consistió de 20 semillas con tres repeticiones de cada cultivar y variante silvestre. Debido a que las semillas de frijol silvestre frecuentemente son latentes, todas las semillas se escarificaron con un corte, de algunos milímetros de profundidad, en la testa.

Cuadro 6.1. Cultivares y variantes silvestres de frijol incluidas en este estudio.

Variante	Coordenadas del sitio de recolección o cultivo	Clave en CIAT	Color de la testa
<b>Cultivares mejorados</b>			
Amarillo 154	19°31' 98°53' 2353 msnm	-	Amarillo
Bayomex	19°31' 98°53' 2353 msnm	-	Castaño claro
Delicias			Castaño claro
Flor de Mayo Sol	-	-	Rosado/fondo pajizo
Negro 150	19°31' 98°53' 2353 msnm	-	Negro
Ojo de Cabra			Pajizo/rayas castaño
<b>Cultivares regionales</b>			
Guanajuato 113-A	-	-	Rosado/líneas guinda
Michoacán 12-A3	-	-	Negro
Puebla 40	-	-	Negro
<b>Variantes Silvestres</b>			
Chihuahua	26° 56' N 106° 25' E 1750 msnm	G22837	Castaño medio
Durango	23°58' N 104°18' E 1820 msnm	G11033	Castaño claro
Oaxaca	17°40' N 96°39' W 1620 msnm	G12876	Castaño claro Negro con manchas gris- violáceas
Tlaxcala	19°25' N 98°8' E 2404 msnm		Amarillo Amarillo

#### 6.4.3 Variables evaluadas

Se determinó el peso de 10 grupos de 100 semillas de cada cultivar y variante silvestre, en una balanza analítica (precisión de 0.0001 g). Se determinaron tres parámetros del color de la testa seminal (luminosidad o brillo, matiz o tono e índice de saturación o intensidad del color) con un colorímetro Hunter Lab (D25-PC2). La biomasa de las estructuras (cotiledón, testa y eje embrionario) de 25 semillas,

separadas manual e individualmente, con ayuda de un bisturí, se cuantificó en una balanza analítica (precisión de 0.0001 g) y se calcularon las relaciones entre estas estructuras (proporción cotiledón/eje embrionario y cotiledón/testa).

Cuando las plántulas expusieron la primera hoja trifoliolada se midió su altura (cm) y el diámetro (cm) del hipocótilo, enseguida fueron cosechadas y se midió la longitud de la raíz (cm), luego fueron disecadas y sus estructuras se secaron en una estufa a 75° C durante 72 horas. Al final de este tiempo se determinó el peso (g) de la raíz, folíolos, hipocótilo y cotiledones. El porcentaje de reservas consumidas fue calculado a partir del promedio de la biomasa de los cotiledones de la semilla de cada cultivar y el peso deshidratado de los cotiledones en las plántulas.

#### **6.4.5 Modelo estadístico y análisis de los resultados**

Se utilizó un modelo experimental completamente al azar, con tres repeticiones y cada repetición estuvo constituida por 20 semillas.

Los resultados fueron sometidos a análisis multivariable de ordenación mediante componentes principales (ACP) y de clasificación de cultivares en dependencia de su homogeneidad (Franco e Hidalgo, 2003). En ambos casos, la variación entre los individuos, en  $m$  dimensiones (o  $m$  variables evaluadas), fue representada gráficamente, con la dimensionalidad reducida por agrupamiento de todas las variables en dos o tres combinaciones lineales con características óptimas para la representación subyacente (Núñez y Barrientos, 2006). El análisis multivariable se realizó con el programa NTSYS, para computadora personal. Además, los resultados fueron sometidos a análisis de varianza y comparación múltiple de medias, mediante la prueba de Tukey, con el programa estadístico SAS para computadora personal.

## 6.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.5.1 Características seminales de variantes de frijol con distinto nivel de domesticación.

Los parámetros del color indican que en promedio existe un gradiente de colores y tonos de la testa seminal entre las variantes seleccionadas para el estudio, pues tanto el croma, como la luminosidad y el tono fueron estadísticamente diferentes entre los grupos (Cuadro 6.2), aunque en los tres grupos hubo semillas de testa clara y oscura (Cuadro 6.1).

El tamaño medio de semilla de los tres grupos fue significativamente diferente entre sí. El grupo de silvestres mostró el menor tamaño (9.59 g/100 semillas) entre los tres grupos y por consiguiente mayor peso volumétrico (84.35 kg/hL); el grupo de cultivares mejorados y tradicionales representó 2.87 y 3.20 veces el tamaño de los silvestres, respectivamente. La proporción de estructuras de las semillas fue estadísticamente similar entre los dos grupos de cultivares, independientemente del tamaño de semilla, y ambos grupos presentaron proporciones significativamente menores de testa (33 %) y de eje embrionario (28 %) que los silvestres (Cuadro 6.2).

La proporción adecuada de cotiledón puede apoyar la germinación y emergencia de la plántula por la cantidad de reservas que representa; sin embargo, quizá el eje embrionario es la estructura de mayor importancia en la semilla, debido a que la germinación, emergencia y establecimiento de la planta como organismo autótrofo dependen de su actividad metabólica (Peña Valdivia *et al.*, 1995).

Por otra parte, se ha señalado que la mayor proporción de testa en los frijoles silvestres se podría relacionar con la regulación de la entrada de agua a la semilla durante la imbibición y la protección de las estructuras internas de la semilla, como adaptaciones al ambiente natural donde permanece la semilla, por meses o años, desde su liberación de la planta que la originó hasta el momento que germina (Peña-Valdivia *et al.* 2002). Al respecto, Cisneros-López *et al.* (2007) evaluaron la calidad

de las semillas de híbridos y líneas progenitoras de sorgo para el establecimiento de sus plántulas, y encontraron que el menor peso de semilla no está necesariamente asociado con atributos pobres de germinación y emergencia de la plántula, y que en los híbridos, el peso de semilla tampoco estuvo directamente asociado con la calidad fisiológica.

El análisis de componentes principales de las semillas mostró que los primeros tres CP explicaron el 86.43 % de la variación total observada, representada por 51.98, 25.34 y 9.11 % de la variación total en los CP1, CP2 y CP3, respectivamente. El CP1 estuvo definido principalmente por el tamaño de la semilla y sus componentes, pues las características con peso relativo mayor en ese CP fueron el peso de 100 semillas, la proporción de sus estructuras (cotiledón, testa y eje embrionario), y los índices cotiledón/eje embrionario y cotiledón/testa. El CP2 estuvo definido por el color de la testa, pues los tres parámetros del color fueron los que aportaron la mayor variación. El CP3 lo definió el eje embrionario, estructura que origina a la plántula y determina el vigor inicial, e indirectamente intervienen las reservas que apoyan la expresión de ese vigor, a través del índice cotiledón/eje embrionario (Cuadro 6.3).

Se ha demostrado que el tamaño de semilla (equivalente al peso de las semillas) es un carácter relevante para la germinación del frijol silvestre cuando hay limitación de humedad en el sustrato. En un estudio en el que se evaluó el efecto del  $\Psi_A$  del sustrato (entre -0.03 y -1.28 MPa) en la germinación de las semillas de frijol silvestre de tres tamaños (0.093, 0.116 y 0.147 g), originario de Durango, México, Vite *et al.* (2005) concluyeron que el tamaño de semilla es un carácter que determina el requerimiento de humedad para la germinación, pero que el metabolismo de las semillas se modifica en dependencia del agua disponible durante la germinación. Sin embargo, Tsoukrianis *et al.* (2006) encontraron que el peso de las semillas de maíz no mostró alguna relación directa con la capacidad de imbibición, que el patrón de imbibición de las semillas más pesadas (como Cafime O y Cafime Seq.) y las más ligeras (como Tux. Seq. C0 y Zac. O) mostró similitudes y contrastes equivalentes a

Cuadro 6.2. Características morfológicas de la semilla de cultivares mejorados y tradicionales y silvestres de frijol.

Variante	Color		Peso		Cotiledón (%)	E:E (%)	Testa (%)	Cotiledón/Testa	Cotiledón/E:E		
	Croma (°)	Luminosidad (°)	Tono (°)	Volumétrico (kg/hL)						100 semillas (g)	
<b>Cultivares mejorados</b>											
Amarillo 151	m1	46.52 a	47.99 c	67.96 cd	83.77 h	24.65 d	89.21 ab	1.75 a-e	9.19 e-g	10.55 a-e	53.40 c
Bayomex	m2	26.79 c	52.35 b	74.01 bc	83.77 h	41.80 b	<b>90.66 a</b>	1.27 de	8.00 fg	12.32 a-c	<b>95.38 a</b>
Delicias 71	m3	23.78 c-e	44.45 d	56.08 ef	86.87 b	18.28 f	88.85 ab	1.25 e	9.88 c-g	9.36 b-e	90.60 ab
Flor de Mayo Sol	m4	18.92 e	50.40 bc	44.74 g	82.13 k	24.32 d	89.36 ab	1.66 a-e	8.87 fg	10.78 a-d	56.29 bc
Negro 150	m5	0.36 g	23.16 f	<b>267.80 a</b>	79.62 n	23.52 e	88.34 a-c	1.79 a-e	9.70 d-g	9.26 b-e	51.00 c
Ojo de Cabra	m5	34.58 b	47.52 cd	50.82 fg	81.45 l	32.32 c	<b>90.22 a</b>	1.58 b-e	7.77 g	<b>15.19 a</b>	61.05 a-c
<b>Media</b>		25.16 b	44.31 b	93.57 b	82.93 c	27.48 b	<b>89.44 a</b>	1.55 b	8.91 b	<b>11.24 a</b>	<b>67.95 a</b>
<b>Cultivares tradicionales</b>											
Guanajuato 113-A	t1	20.25 de	<b>60.84 a</b>	60.47 de	82.22 j	<b>50.96 a</b>	<b>91.06 a</b>	1.55 c-e	7.26 g	13.15 ab	66.02 a-c
Michoacán 12-A3	t2	0.94 g	23.33 f	<b>269.47 a</b>	84.9 d	18.14 f	88.67 a-c	1.63 a-e	9.61 d-g	9.28 b-e	58.14 bc
Puebla 40	t3	0.36 g	22.26 f	<b>263.97 a</b>	85.24 c	23.11 e	89.12 ab	1.66 a-e	9.16 e-g	9.97 b-e	55.56 bc
<b>Media</b>		7.18 c	35.48 c	<b>197.97 a</b>	84.12 b	<b>30.73 a</b>	<b>89.61 a</b>	1.61 b	8.67 b	<b>10.80 a</b>	<b>59.91 a</b>
<b>Variantes Silvestres</b>											
Chihuahua	s1	20.77 c-e	38.06 e	66.37 cd	84.44 f	3.60 j	83.76 de	1.80 a-e	14.33 ab	6.53 de	48.94 c
Durango Atípico	s2	20.43 de	<b>60.91 a</b>	76.84 b	83.72 i	12.78 g	86.52 b-d	2.35 ab	11.04 c-f	8.07 c-e	41.76 c
Durango Típico	s3	25.08 cd	<b>58.28 a</b>	71.17 bc	84.78 e	6.83 i	82.37 e	2.03 a-d	15.55 a	5.99 e	54.30 bc
Oaxaca	s4	11.88 f	38.24 e	62.89 de	81.41 m	17.81 f	85.58 c-e	2.25 a-c	12.07 b-e	7.51 de	40.75 c
Tlaxcala Atípico	s5	<b>46.46 a</b>	48.46 c	67.01 cd	<b>87.66 a</b>	8.56 h	85.01 de	2.29 a-c	12.61 a-d	6.83 de	39.87 c
Tlaxcala Típico	s6	<b>45.44 a</b>	47.43 cd	67.71 cd	84.11 g	7.97 h	84.52 de	<b>2.41 a</b>	12.99 a-c	6.65 de	39.60 c
<b>Media</b>		<b>28.35 a</b>	<b>48.56 a</b>	68.67 c	<b>84.35 a</b>	9.59 c	84.62 b	<b>2.18 a</b>	<b>13.09 a</b>	6.93 b	44.20 b

Valores seguidos por la misma letra dentro de columnas y entre variantes o entre medias son estadísticamente similares ( $P \leq 0.05$ ). E.E.: eje embrionario.

Cuadro 6.3. Importancia relativa de las variables en los primeros tres componentes principales.

Variable	Vectores propios		
	CP1	CP2	CP3
Índice cotiledón/testa	<b>0.897</b>	-0.222	-0.270
Índice cotiledón/eje embrionario	<b>0.748</b>	-0.185	<b>0.614</b>
Intensidad (del color)	-0.267	<b>-0.817</b>	-0.090
Luminosidad (del color)	-0.069	<b>-0.912</b>	-0.007
Peso volumétrico	<b>0.652</b>	0.240	0.046
Peso de 100 semillas	<b>0.899</b>	-0.195	-0.222
Porcentaje de cotiledón	<b>0.954</b>	-0.005	-0.214
Porcentaje de eje embrionario	<b>-0.834</b>	0.017	<b>-0.510</b>
Porcentaje de testa	<b>-0.944</b>	0.058	0.294
Tono (del color)	0.163	<b>0.923</b>	-0.097

las semillas de otros tres cultivares, y que tampoco se detectó algún patrón entre la reacción de los cultivares originales y los cultivares tolerantes a la sequía derivados de ellos.

La ordenación espacial de las variantes en los CP 1 y 2 concentró en la región negativa (entre -0.4 y -1.0) del CP1 a las variantes silvestres, todas con el tamaño de semilla y contenido de cotiledón significativamente menor y contenido de testa significativamente mayor entre las 15 variantes (Cuadro 6.2). En contraste, los cultivares se ordenaron en la región positiva del CP1 (entre 0.05 y 1.0) pero separados por el CP2. Por una parte se dispusieron los tres cultivares de testa negra (los cultivares tradicionales Michoacán 12A-3 y Puebla 40 y el cultivar mejorado Negro 150), con el tono de testa significativamente mayor y la luminosidad menor que el resto de las variantes, y con los tamaños menores de semilla del grupo de cultivares (Cuadro 6.1 y 6.2) (Figura 6.1). Por otra parte se ordenó la mayoría de los

cultivares mejorados (Amarillo 154, Bayomex, Delicias 71, Flor de Mayo Sol y Ojo de cabra) y uno tradicional (Guanajuato 113-A), pero todos con testa de colores claros, croma y luminosidad significativamente mayor entre el grupo de domesticados y, en general, con tamaño de semilla mayor entre los nueve cultivares (Cuadro 6.1 y 6.2; Figura 6.1).

La diferencia en proporción de estructuras seminales debida a la domesticación del frijol ya ha sido documentada. Al respecto, Peña-Valdivia *et al.* (1999) evaluaron la calidad de la semilla en poblaciones silvestres y mejoradas de frijol común después del almacenamiento y señalan que la cubierta de las semillas silvestres ocupa un 14% de su peso total seco, cuando en los cultivares la cubierta seminal representa sólo un 9%.

La ordenación sobre los CP 1 y 3 mostró a las variantes silvestres, distribuidas en forma poco compacta a lo largo del CP3; las dos variantes con el tamaño de semilla significativamente menor de todas ellas (Chihuahua y Durango Típica), se ubicaron en la región positiva del CP3 (arriba de 0.34), mientras que las demás variantes, con tamaño de semilla mayor se localizaron en la región negativa del CP3 (alrededor de -1.0). En contraste, los cultivares mejorados y tradicionales ocuparon un espacio relativamente compacto, del que se separaron únicamente los dos cultivares mejorados (Bayomex y Delicias 71) con la relación cotiledón/eje embrionario significativamente más alta de todo el grupo (Cuadro 6.2 y Figura 6.2).

Las estructuras anatómicas seminales presentaron proporciones diferentes entre los frijoles domesticados y silvestres (Cuadro 6.2). Peña-Valdivia *et al.* (1995) también señalaron diferencias similares en semillas de una población silvestre y una domesticada, pues en la silvestre la testa y el eje embrionario representaron 16.7% y 2.18% del peso total de la semilla en tanto que en el domesticado sólo alcanzaron 9.0% y 1.6%, respectivamente. Los citados autores señalaron que probablemente con el incremento del tamaño de la semilla, como resultado de la domesticación,

aumentó el peso absoluto de la testa, pero a la vez, su peso relativo, como proporción del peso total de la semilla, disminuyó alrededor del 50%.

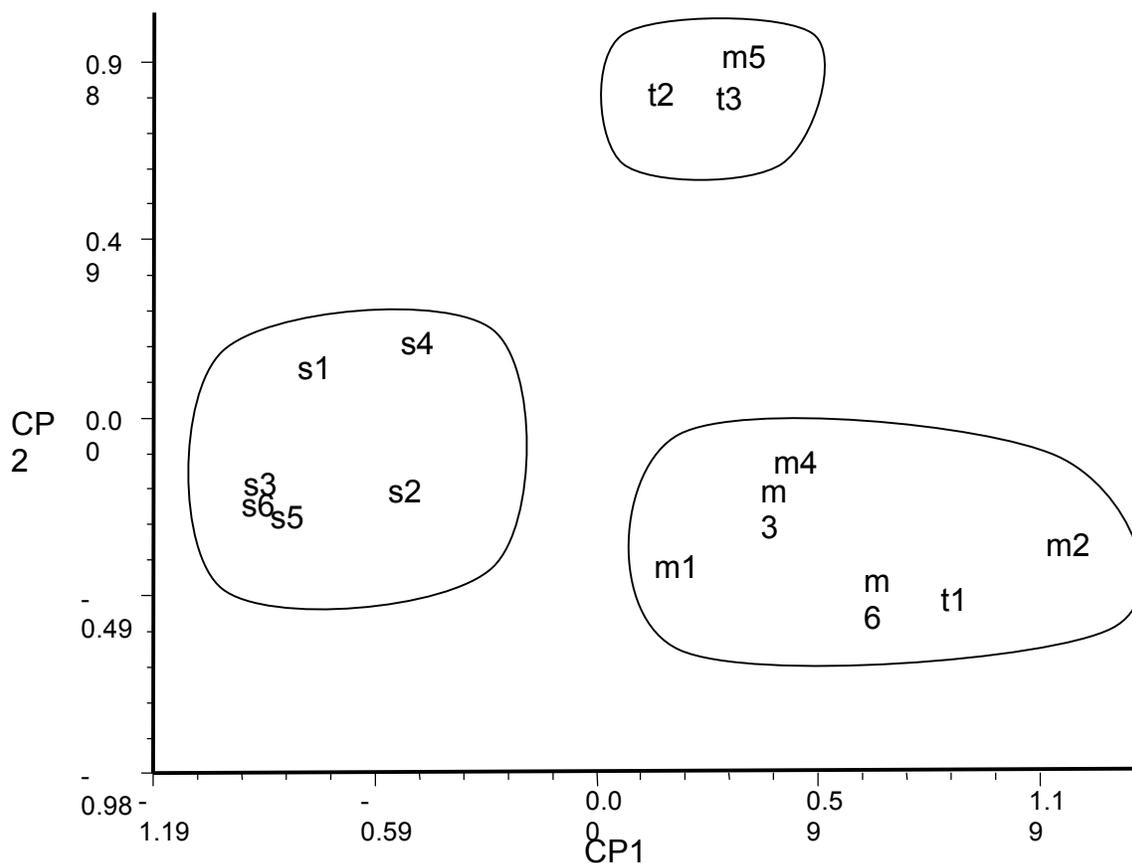


Figura 6.1. Ordenación de 15 variantes de frijol (cultivares mejorados m1: Amarillo 154, m2: Bayomex, m3: Delicias 71, m4: Flor de Mayo Sol, m5 Negro 150 y m6: Ojo de cabra; cultivares tradicionales t1: Guanajuato 113A, t2: Michoacán 12-A3 y t3: Puebla 40 y silvestres: s1 Chihuahua, s2 Durango Atípico, s3 Durango Típico, s4 Oaxaca, s5 Tlaxcala Atípico, s6 Tlaxcala Típico) obtenida mediante el análisis de componentes principales (CP1 y CP2) de características de la semilla.

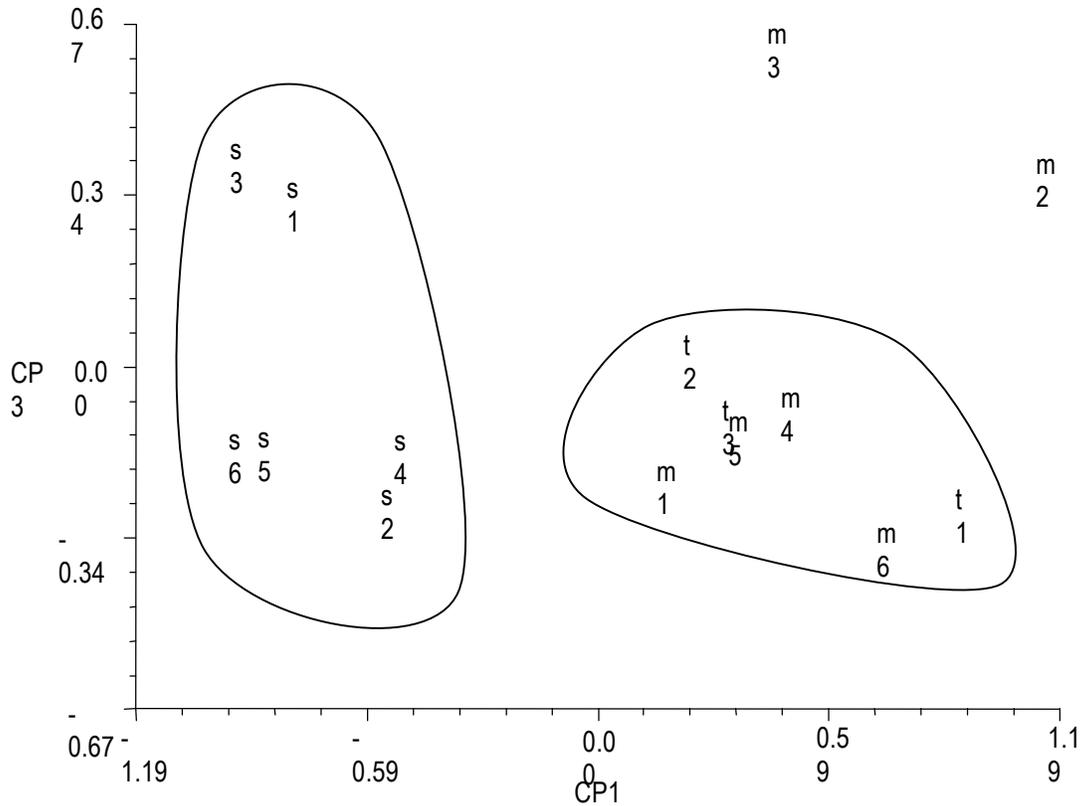


Figura 6.2. Ordenación de 15 variantes de frijol (cultivares mejorados m1: Amarillo 154, m2: Bayomex, m3: Delicias 71, m4: Flor de Mayo Sol, m5 Negro 150 y m6: Ojo de cabra; cultivares tradicionales t1: Guanajuato 113A, t2: Michoacán 12-A3 y t3: Puebla 40 y silvestres: s1 Chihuahua, s2 Durango Atípico, s3 Durango Típico, s4 Oaxaca, s5 Tlaxcala Atípico, s6 Tlaxcala Típico) obtenida mediante el análisis de componentes principales (CP1 y CP3) de características de la semilla.

### 6.5.2 Análisis de agrupamiento de 15 variantes de frijol, basado en las características de sus semillas

El dendrograma de la Figura 6.3, con un coeficiente de correlación cofenética de 0.91, muestra dos conjuntos principales, separados por tamaño de la semilla. El conjunto **A** está conformado por los nueve cultivares, con tamaño de semillas promedio de 29.10 g/100semillas, contenido elevado de cotiledón y baja proporción

de eje embrionario y testa en sus semillas (Cuadro 6.2). El conjunto **B** está conformado por las seis variantes silvestres, todas con tamaño de semilla menor que los domesticados (Cuadro 6.2).

El conjunto A se dividió en dos subconjuntos, **A1** y **A2**; el primero se caracterizó por contener los seis cultivares con testa de color claro. Mientras que, el subconjunto A2 estuvo integrado con los tres cultivares cuyas semillas poseen testa de color negro, croma y tono significativamente menor y mayor, respectivamente, que el resto de los cultivares. El subconjunto A1 estuvo conformado por los grupos A1.1 y A1.2; en el primero se localizaron sólo tres cultivares, Amarillo 154, Ojo de Cabra y Guanajuato 112-A con la relación cotiledón/testa más elevada entre los cultivares; mientras que en el grupo A1.2, dos de tres cultivares presentaron el mayor índice cotiledón/eje embrionario (Figura 6.3).

Las proporciones de cotiledón (90.15 %) y eje embrionario (1.59 %) en el grupo A1.1 fueron superiores a los del grupo A1.2 (89.61 % y 1.34 %, respectivamente), y sólo la proporción de testa fue menor en el grupo A1.1 (7.88 %) que en el A1.2 (8.80 %). Estas características pueden repercutir en la velocidad de germinación, emergencia, crecimiento y desarrollo de la plántula; es decir, son características que seguramente determinan el vigor inicial.

El conjunto **B** se dividió en dos subconjuntos, **B1** y **B2**. El primero se caracterizó por contener las cinco variantes (Chihuahua y ambas Durango y Tlaxcala) con el menor peso volumétrico y tamaño de semilla de las 15 variantes evaluadas. Mientras que el subgrupo B2 lo conformó sólo la variante Oaxaca, con las semillas más grandes y pesadas del grupo de silvestres, testa oscura y croma significativamente menor entre los silvestres (Figura 6.3).

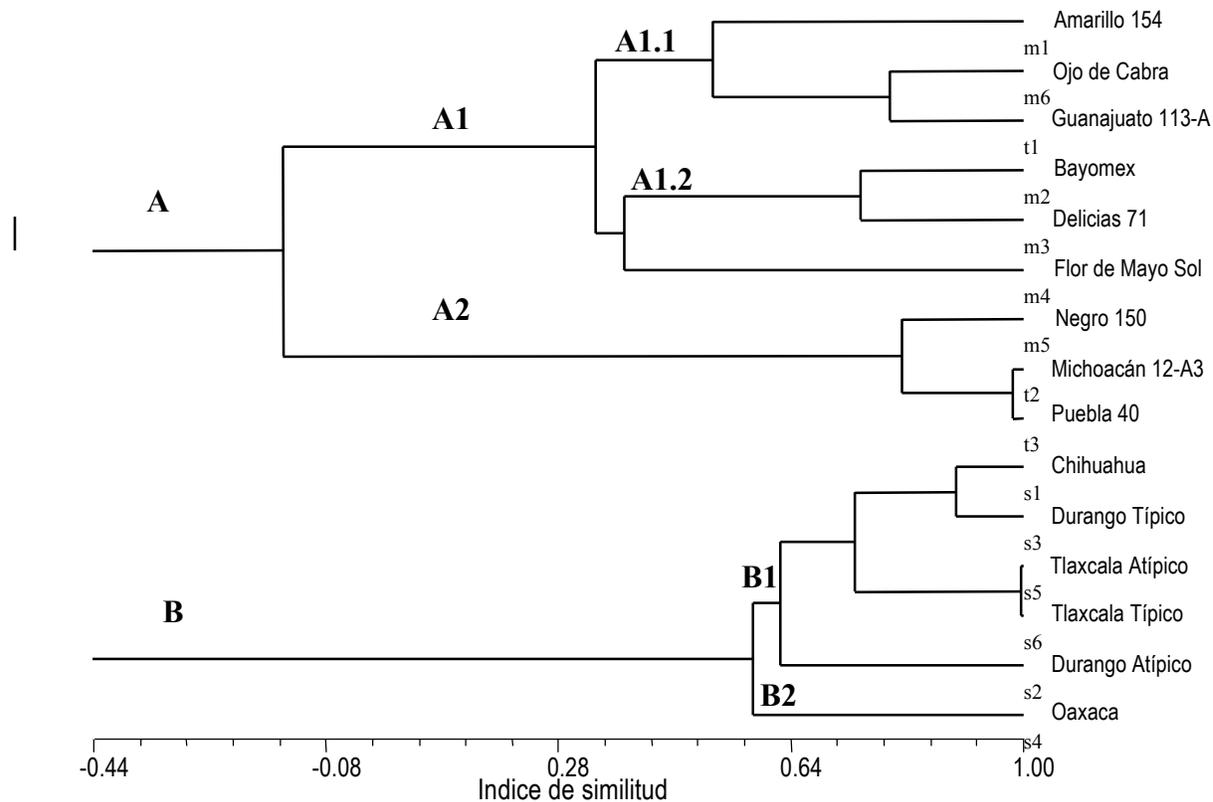


Figura 6.3. Clasificación de 15 variantes de frijol (seis cultivares mejorados, tres tradicionales y seis recolectas silvestres) basada en las características de sus semillas, por medio del método de agrupamiento UPGMA.

### 6.5.3 Análisis de componentes principales basado en las características de 15 variantes domesticadas y silvestres de frijol, morfológicas seminales y de sus plántulas.

Las diferencias en el consumo de las reservas de la semilla durante la germinación y emergencia pueden deberse a variación en el funcionamiento de los órganos de la semilla en germinación y en la eficiencia de los procesos de translocación de asimilados entre variantes. Para identificar algunas de estas diferencias se consideró conveniente incluir en el análisis características de las semillas y de las

plántulas emergidas de la siembra a las cuatro profundidades (2.5, 5.0, 7.5 y 10.0 cm). Para este análisis se incluyeron únicamente cuatro características de las semillas (peso de 100 semillas, proporción de cotiledones, testa y eje embrionario) y ocho de las plántulas (biomasa del hipocótilo, folíolos y raíz, biomasa consumida durante la germinación y emergencia, diámetro del hipocótilo, longitud del hipocótilo y la raíz, y altura de la plántula).

Los tres primeros componentes explicaron el 76.72 % de la variabilidad total observada, con 51.43, 16.65 y 8.62 % en el primero, segundo y tercer CP. El CP1 corresponde al el vigor inicial, pues las variables de mayor contribución para conformarlo fueron tres de la semilla (tamaño, proporción de cotiledón y testa de la semilla) y dos de la plántula (diámetro y biomasa del hipocótilo). Las primeras de estas tres variables están relacionadas con la capacidad y velocidad de imbibición y germinación, pero también con la energía metabólica o reservas para la emergencia; por su parte, las características del hipocótilo son indicadoras de la capacidad de la plántula para atravesar la capa de sustrato que se encuentra sobre ella y romper la costra de la superficie para emerger. El CP2 está relacionado con la expresión del vigor inicial, pues las cinco variables con mayor contribución a este CP resumen la robustez de la plántula (altura de la plántula, biomasa de la raíz, biomasa de los folíolos, longitud de hipocótilo y de la raíz). Mientras que el CP3 puede ser considerado el componente que describe la eficiencia de consumo y translocación de reservas; en efecto, en este CP la biomasa consumida, el porcentaje de eje embrionario en la semilla y la longitud de hipocótilo tuvieron mayor peso relativo. Así, la longitud del hipocótilo fue la única variable, entre las 12 incluidas en el análisis, que destacó en más de un CP (Cuadro 6.4). Este resultado confirma la importancia del hipocótilo en el proceso de emergencia de las plántulas y su variabilidad en el germoplasma evaluado.

Cuadro 6.4. Vectores propios de las 12 variables en los primeros componentes principales (CP), del análisis de 15 variantes de frijol, domesticado y silvestre.

Variable original	Vectores propios		
	CP1	CP2	CP3
Altura de la plántula (cm)	0.6816	<b>0.5860</b>	-0.1908
Biomasa de la raíz (g)	0.5655	<b>-0.5376</b>	-0.3537
Biomasa del hipocótilo (g)	<b>0.8380</b>	-0.0655	-0.3237
Biomasa de los folíolos (g)	0.5912	<b>-0.5196</b>	-0.1682
Biomasa consumida (%)	-0.4790	0.0122	<b>-0.5177</b>
Cotiledón (porcentaje de la semilla)	<b>0.9129</b>	0.1498	0.1526
Diámetro del hipocótilo (cm)	<b>0.8010</b>	-0.0918	-0.1062
Eje embrionario (porcentaje de la semilla)	-0.6694	-0.2258	<b>-0.4691</b>
Longitud de hipocótilo (cm)	0.4138	<b>0.7115</b>	<b>-0.4284</b>
Longitud de raíz (cm)	0.5741	<b>-0.6968</b>	0.0528
Peso de 100 semillas (g)	<b>0.9140</b>	0.0565	0.1270
Testa (porcentaje de la semilla)	<b>-0.9208</b>	-0.1218	-0.1253

La ordenación sobre los primeros ejes o componentes principales mostró que el CP1 separó a la mayoría de las variantes silvestres de los cultivares. Además, en la ordenación se puede reconocer el gradiente de tamaño de semilla, proporción de testa seminal y grosor del hipocótilo de las plántulas. Hacia el extremo negativo (alrededor de -0.93) del CP1 se ubicaron las variantes silvestres con semillas más pequeñas, y mayores contenidos de testa (Cuadro 6.2) como Chihuahua, Durango Típico y Tlaxcala Típico (s1, s3 y s6) y plántulas con el hipocótilo más delgado de las 15 variantes (Cuadro 6.6). Y en el otro extremo del mismo CP1 se localizó el cv. tradicional Guanajuato 113-A, el de mayor peso de semilla (t1), con uno de los menores contenidos de testa (Cuadro 6.2), y el hipocótilo significativamente más grueso y pesado entre las 15 variantes (Cuadro 6.4). El CP2 complementó la separación descrita de ambos grupos; específicamente, la variante silvestre originaria de Oaxaca sembrada a 2.5, 5.0 y 7.5 cm (S4a, S4b y S4c de la Figura 6.2) tendió a traslaparse con el grupo de los cultivares sobre el CP1, pero su separación por el CP2 fue evidente. La característica de esta recolecta silvestre que propició el

traslapo fue su tamaño de semilla estadísticamente similar al de los cultivares Delicias 117 y Michoacán 12A3 (Cuadro 6.2). La ordenación causada por el CP2 refleja un gradiente de longitud de hipocótilo; así, las entidades localizadas en el extremo positivo de este CP correspondieron a las plántulas de todos los cultivares, mejorados y tradicionales, de la siembra a 10 cm de profundidad, cuyos hipocótilos fueron los más largos (> 10 cm; Cuadro 6.5) entre todos los tratamientos. En el extremo inferior del CP2 se ubicaron algunas variantes silvestres y cultivares tradicionales con plántulas originadas de la siembra a 2.5 cm, con los hipocótilos significativamente más cortos de todo el grupo (Figura 6.4; Cuadro 6.5).

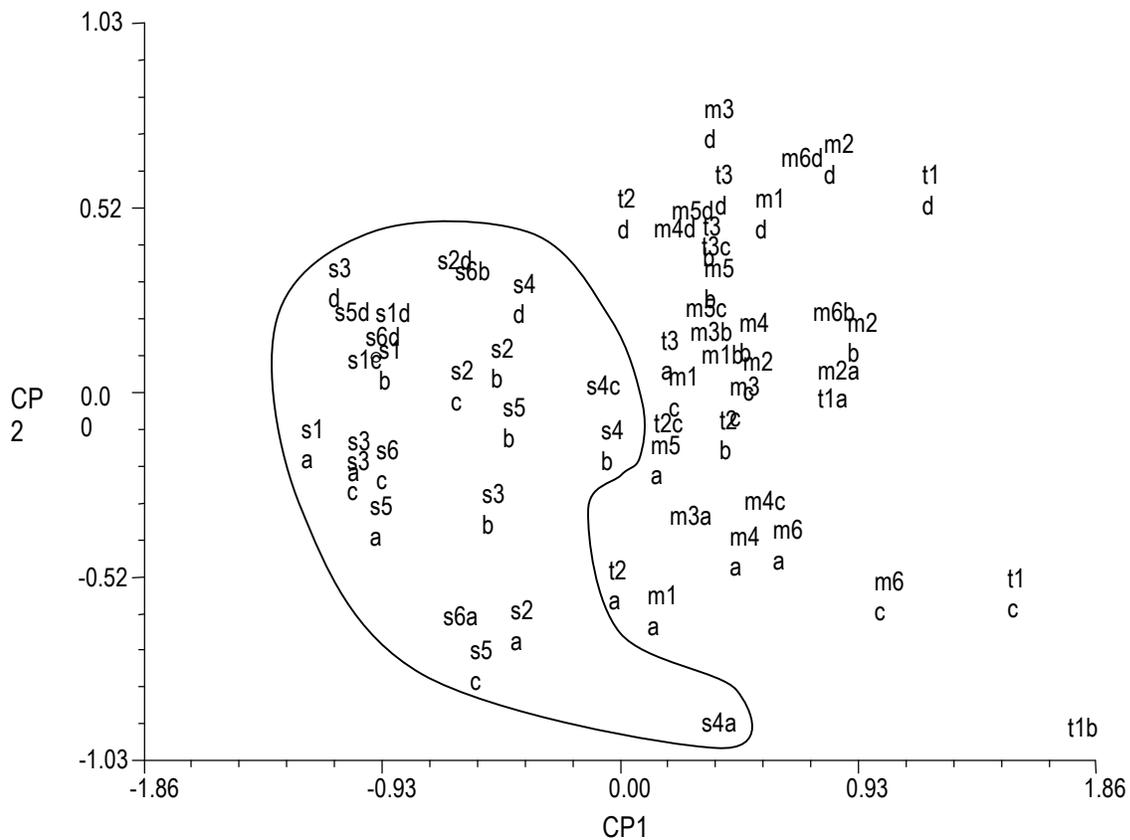


Figura 6.4. Ordenación sobre el CP1 y CP2 de 15 variantes de frijol, domesticado (mejorado: m y tradicional: t) y silvestres (s), sembradas en cuatro profundidades (a: 2.5 cm, b: 5.0 cm, c: 7.5 y d: 10.0 cm), y basada en 12 características morfológicas de la semilla y las plántulas.

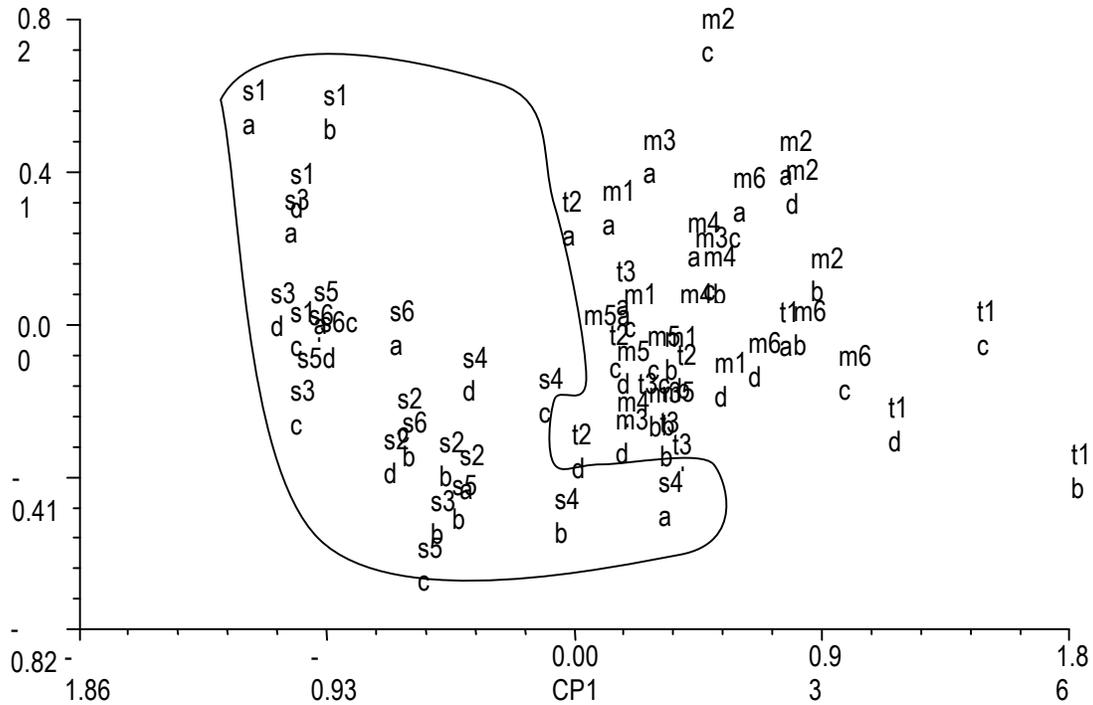


Figura 6.5. Gráfica bidimensional obtenida mediante el análisis de componentes principales (CP1 vs CP3) de 12 características morfológicas de la semilla y las plántulas de 15 variantes de frijol, domesticado (mejorado: m y tradicional: t) y silvestre (s), sembrados en cuatro profundidades (a: 2.5 cm, b: 5.0 cm, c: 7.5 y d: 10.0 cm).

La ordenación basada en el CP1 y el CP3 confirmó que el CP1 conjunto casi la totalidad de variantes silvestres y las distanció de la aglomeración formada por la mayoría de los cultivares, con excepción de los tradicionales Guanajuato 113-A (t1) y Michoacán 12-A3 (t2) que quedaron en la periferia del área de domesticados (Figura 6.5).

En los cultivares, tanto mejorados como tradicionales, se observó un incremento de la longitud del hipocótilo con la profundidad de siembra, y la longitud de esta estructura generó un gradiente similar para la altura de las plántulas, lo cual no se registro para las variantes silvestres. Sin embargo, los tres tipos de frijol

presentaron plántulas con altura media significativamente mayor en la siembra a 10 cm. En los tres tipos de frijol se redujo la acumulación de biomasa foliar con la profundidad de siembra, aunque en los cultivares tradicionales se acumuló casi el doble de biomasa foliar con la siembra a 2.5 cm, que en los otros dos tipos (Cuadro 6.5). El crecimiento longitudinal mayor de algunas estructuras de la plántula, como el hipocótilo, ha sido relacionado con la capacidad de emergencia, en siembras relativamente profundas. Sin embargo, con el crecimiento mayor de algunas estructuras, otras, como la raíz, resultan disminuidas. Mahdi *et al.* (1998) observaron que el vigor de las plántulas de trigo sembrado a 3, 6 y 12 cm de profundidad, se reduce inversamente con la profundidad de siembra, pues las plántulas de la mayor profundidad generaron ápices delgados y largos, y posteriormente el rendimiento disminuyó.

Aunque en el frijol la longitud y acumulación de biomasa en la raíz careció de relación con la profundidad de siembra, si se observó una tendencia a reducirse su crecimiento longitudinal con la profundidad de siembra, y las menores longitudes se alcanzaron con la profundidad de siembra a 10 cm; a la vez, la mayor acumulación de biomasa ocurrió en las raíces de las plántulas originadas con 7.5 cm de profundidad de siembra, en los tres tipos de frijol (Cuadro 6.5). Al respecto, debe señalarse que se observó que en las plántulas de la siembra a 10 cm profundidad la raíz, frecuentemente, se organizó en forma de roseta, alrededor del tallo, lo que pudo haber ocasionado la alteración y disminución de su crecimiento.

Cuadro 6.5 Características promedio por tipo de frijol de la plántula de seis cultivares mejorados, tres tradicionales y seis variantes silvestres, sembrados a cuatro profundidades.

Profundidad de siembra (cm)	Altura de la plántula (cm)	Biomasa				Hipocótilo (cm)		Longitud de raíz (cm)
		Folíolos (g)	Hipocótilo (g)	Raíz (g)	Consumida (%)	Diámetro	Longitud	
<b>Cultivares mejorados</b>								
2.5	21.27 c	<b>0.170 a</b>	0.043 b	0.059 b	90.77 ab	0.362 c	5.80 d	<b>12.01 a</b>
5.0	22.95 b	0.148 b	<b>0.053 a</b>	0.057 b	89.64 b	<b>0.425 a</b>	9.18 b	8.89 b
7.5	21.85 c	0.090 c	0.043 b	<b>0.073 a</b>	<b>91.97 a</b>	<b>0.428 a</b>	7.83 c	<b>12.32 a</b>
10.0	<b>26.04 a</b>	0.096 c	<b>0.052 a</b>	0.052 b	90.25 ab	0.403 b	<b>10.24 a</b>	7.08 c
<b>Media</b>	23.03	0.126	0.048	0.0603	90.66	0.405	8.26	10.08
<b>Cultivares tradicionales</b>								
2.5	20.36 c	<b>0.257 a</b>	0.044 c	0.062 bc	88.23 b	0.352 c	6.94 d	10.11 b
5.0	23.70 b	0.180 b	<b>0.072 a</b>	0.072 ab	<b>90.48 a</b>	0.418 b	9.49 b	<b>14.11 a</b>
7.5	21.71 c	0.111 c	0.051 bc	<b>0.074 a</b>	<b>90.01 a</b>	<b>0.529 a</b>	8.39 c	10.92 b
10.0	<b>26.77 a</b>	0.090 c	0.059 ab	0.055 c	87.90 b	0.374 c	<b>10.65 a</b>	8.09 c
<b>Media</b>	23.12	0.159	0.057	0.066	89.16	0.418	8.87	10.81
<b>Variantes Silvestres</b>								
2.5	16.71 d	<b>0.128 a</b>	0.031 b	0.055 ab	87.40 b	0.273 c	5.42 d	<b>10.49 a</b>
5.0	18.33 b	0.108 b	<b>0.044 a</b>	0.047 bc	<b>89.24 a</b>	0.313 b	<b>8.53 a</b>	7.09 c
7.5	17.43 c	0.062 c	0.028 b	<b>0.059 a</b>	84.34 c	<b>0.345 a</b>	6.79 c	8.17 b
10.0	<b>19.41 a</b>	0.044 d	0.022 c	0.040 c	88.22 ab	0.231 d	7.93 b	5.74 d
<b>Media</b>	17.97	0.086	0.031	0.050	87.31	0.290	7.17	7.87

Valores seguidos por la misma letra dentro de las cuatro profundidades de siembra por cada grupo de frijol son estadísticamente similares ( $P \leq 0.05$ ).

Cuadro 6.6 Características de la plántula de seis cultivares mejorados, tres cultivares tradicionales y seis variantes silvestres de frijol. Promedios de cuatro profundidades de siembra.

Variante	Clave	Altura de la plántula (cm)	Biomasa			Hipocótilo (cm)		Longitud de raíz (cm)	
			Folíolos (g)	Hipocótilo (g)	Raíz (g)	Consumida (%)	Diámetro		Longitud
<b>Cultivares mejorados</b>									
Amarillo 154	m1	21.20 c	0.141 a-c	0.045 c	0.058 c-f	91.20 a-c	0.404 b-d	8.04 cd	9.78 c-e
Bayomex	m2	23.37 b	0.125 a-d	0.050 bc	0.056 d-g	<b>93.11 a</b>	0.396 cd	7.98 cd	8.90 d-g
Delicias 71	m3	23.97 ab	0.122 a-d	0.045 c	0.061 c-f	88.13 de	0.379 c-e	8.41 bc	10.15 cd
Flor de Mayo Sol	m4	21.48 c	0.119 a-d	0.048 bc	0.063 b-e	90.63 a-c	0.413 bc	7.98 cd	10.74 bc
Negro 150	m5	23.83 ab	0.123 a-d	0.046 bc	0.053 d-g	89.93 b-d	0.407 b-d	9.05 ab	9.20 d-f
Ojo de Cabra	m5	24.34 ab	0.127 a-d	0.055 b	0.075 ab	91.60 ab	0.432 b	8.14 c	11.75 b
<b>Media</b>		23.03 a	0.126 a	0.048 a	0.061 a	90.77 a	0.405 a	8.27 a	10.08 ab
<b>Cultivares tradicionales</b>									
Guanajuato 113-A	t1	23.99 ab	0.174 ab	<b>0.076 a</b>	<b>0.087 a</b>	90.88 a-c	<b>0.520 a</b>	8.85 b	<b>13.45 a</b>
Michoacán 12-A3	t2	20.45 cd	0.113 a-d	0.045 c	0.062 b-e	87.66 de	0.376 de	8.04 c	9.94 cd
Puebla 40	t3	<b>24.98 a</b>	<b>0.193 a</b>	0.050 bc	0.051 d-g	88.95 cd	0.361 e	<b>9.72 a</b>	9.05 d-g
<b>Media</b>		23.14 a	0.160 a	0.057 a	0.066 a	89.16 a	0.419 a	8.87 a	10.81 a
<b>Variantes Silvestres</b>									
Chihuahua	s1	14.99 g	0.032 d	0.019 f	0.030 h	90.00 b-d	0.248 g	6.55 g	6.28 i
Durango Atípico	s2	19.22 de	0.087 b-d	0.034 d	0.050 e-g	82.62 g	0.285 f	7.38 de	7.92 f-h
Durango Típico	s3	16.90 f	0.077 b-d	0.034 d	0.047 fg	86.02 ef	0.250 g	7.23 ef	7.72 gh
Oaxaca	s4	21.27 c	0.164 ab	0.049 bc	0.070 bc	91.44 ab	0.359 e	8.43 bc	9.51 c-e
Tlaxcala Atípico	s5	16.56 f	0.064 cd	0.030 de	0.064 b-d	85.05 fg	0.312 f	6.74 e-g	8.50 e-h
Tlaxcala Típico	s6	18.89 e	0.092 b-d	0.023 ef	0.043 gh	88.74 cd	0.292 f	6.69 fg	7.36 hi
<b>Media</b>		17.97 b	0.086 b	0.031 b	0.051 b	87.31 b	0.291 b	7.17 b	7.88 b

Valores seguidos por la misma letra dentro de columnas y entre variantes, o entre medias, son estadísticamente similares (P≤0.05).

#### 6.5.4 Clasificación de 15 variantes de frijol, domesticados y silvestres, basada en características seminales y de plántulas

En el dendrograma obtenido con cuatro características de las semillas (*i.e.* peso de 100 semillas, y proporción de cotiledones, eje embrionario y testa) y ocho de las plántulas (biomasa del hipocótilo, folíolos y raíz, biomasa consumida durante la germinación y emergencia, diámetro del hipocótilo, longitud del hipocótilo y la raíz, y altura de la plántula), con coeficiente de correlación cofenética de 0.827, se formaron dos conjuntos principales, **A** con los cultivares y **B** con las variantes silvestres (Figura 6.6). La diferencia entre ellos es que en el primero están las semillas de tamaño y proporción de cotiledón significativamente mayor y la proporción de eje embrionario y testa significativamente menor (Cuadro 6.7). Además, el conjunto A incluyó las plántulas significativamente más vigorosas (Cuadro 6.8).

Cuadro 6.7. Características morfológicas seminales de los grupos y subgrupos formados por el análisis de conglomerados de 15 variantes de frijol, domesticado y silvestre.

Grupo o subgrupo	Peso 100 semillas (g)	Cotiledón (%)	Eje embrionario (%)	Testa (%)
A	<b>28.56 a</b>	<b>89.49 a</b>	1.57 b	8.83 b
B	9.59 b	84.61 b	<b>2.18 a</b>	<b>13.10 a</b>
A1	25.61 b	89.31 b	1.59 a	<b>8.98 a</b>
A2	<b>30.23 a</b>	<b>89.59 a</b>	<b>1.55 a</b>	8.75 b
B1	8.93 b	<b>84.63 a</b>	<b>2.19 a</b>	<b>13.08 a</b>
B2	<b>14.15 a</b>	<b>84.50 a</b>	<b>2.17 a</b>	<b>13.22 a</b>
A1.1	26.91 b	89.35 b	<b>1.60 a</b>	8.93 b
A1.2	23.54 c	89.26 b	<b>1.57 a</b>	9.06 b
A2.1	<b>35.95 a</b>	<b>90.06 a</b>	<b>1.53 a</b>	8.31 c
A2.2	23.27 c	88.99 b	<b>1.63 a</b>	9.25 b

Valores seguidos por la misma letra dentro de columnas y entre grupos o subgrupos son estadísticamente similares ( $P \leq 0.05$ ).

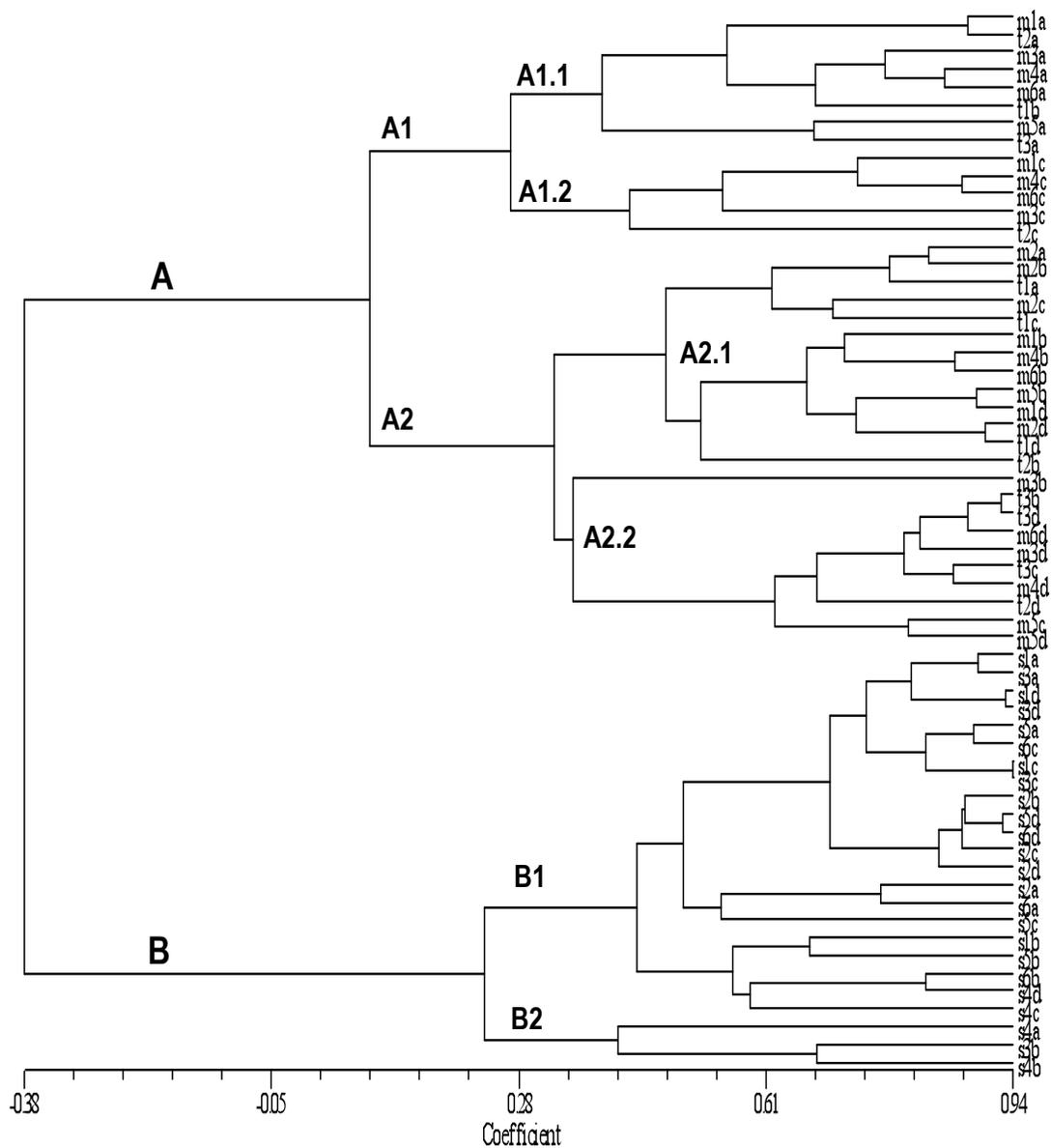


Figura 6.6. Clasificación de 15 variantes de frijol (m: mejorados, t: tradicionales y s: silvestres) sembrados en cuatro profundidades de siembra (a: 2.5, b: 5.0, c: 7.5, y d: 10.0cm), con base en atributos de sus semillas y vigor inicial.

La diferencia en vigor medio de las plántulas entre los cultivares y las variantes silvestres podría deberse a la mayor eficiencia de los cultivares, bajo las condiciones

de ensayo, para canalizar las reservas seminales al desarrollo de la plántula; en efecto, el consumo de biomasa en los cultivares (Conjunto A de la Figura 6.8; Cuadro 6.8) fue significativamente mayor que en las variantes silvestres (Conjunto B de la Figura 6.8; Cuadro 6.8). Sin embargo, existe la posibilidad de que la diferencia (2.93 %) en dicha eficiencia (calculada aquí como el porcentaje de biomasa seminal consumida durante la germinación y emergencia) de uso de reservas sea sólo aparente, pues se ha demostrado que las semillas de los frijoles silvestres poseen cantidades significativamente mayores de polisacáridos estructurales (10 % en promedio de seis variantes), que los domesticados (7 % en promedio de seis cultivares) (Flores *et al.*, 2002). Al respecto, está ampliamente documentado el consumo de ciertos polisacáridos, como el almidón, en los procesos metabólicos que demandan energía metabólica, como la germinación y emergencia de la plántula; en contraste, los polisacáridos estructurales, como las hemicelulosas y pectinas, son utilizados como reservas por la célula sólo en circunstancias particulares (García y Peña-Valdivia, 1995).

Lo anterior apoyaría la idea de que el mayor vigor de las plántulas domesticadas puede deberse, básicamente, a la cantidad neta mayor de sus reservas seminales. Por otro lado, la proporción mayor de eje embrionario en las variantes silvestres (2.18 %; Conjunto B) en comparación con el conjunto A (1.57 %; Figura 6.6) puede compensar su proporción menor de cotiledón, ya que el eje embrionario se considera un material de reserva embriaria de disponibilidad inmediata (Duffus y Slaughter, 1992) con la “maquinaria enzimática” requerida para la germinación, y para el desarrollo, crecimiento y establecimiento de la plántula (Peña-Valdivia *et al.*, 1995).

El conjunto A se dividió en dos subconjuntos (**A1** y **A2**); a la vez, cada uno de ellos se dividió en dos grupos. El grupo **A1.1** incluyó las plántulas de seis cultivares sembrados a 2.5 cm de profundidad y el grupo **A1.2** incluyó las de cinco cultivares

Cuadro 6.8. Características morfológicas de las plántulas según los niveles de agrupamiento generados por la clasificación aglomerativa de 15 variantes de frijol, domesticado y silvestre.

Conjunto, subconjunto o grupo	Altura de la plántula (cm)	Biomasa				Hipocótilo (cm)		Longitud de raíz (cm)
		Folíolos (g)	Hipocótilo (g)	Raíz (g)	Consumida (%)	Diámetro	Longitud	
A	<b>23.06 a</b>	<b>0.103 a</b>	<b>0.051 a</b>	<b>0.062 a</b>	<b>90.16 a</b>	<b>0.409 a</b>	<b>8.46 a</b>	<b>10.32 a</b>
B	17.97 b	0.073 b	0.031 b	0.050 b	87.19 b	0.290 b	7.16 b	7.88 b
A1	20.76 b	<b>0.118 a</b>	0.047 b	<b>0.071 a</b>	<b>90.50 a</b>	0.397 b	6.89 b	<b>13.04 a</b>
A2	<b>24.36 a</b>	0.094 b	<b>0.052 a</b>	0.057 b	<b>89.96 a</b>	<b>0.416 a</b>	<b>9.35 a</b>	8.79 b
B1	17.86 b	0.060 b	0.026 b	0.046 b	86.87 b	0.284 b	7.05 b	7.64 b
B2	<b>18.73 a</b>	<b>0.160 a</b>	<b>0.066 a</b>	<b>0.082 a</b>	<b>89.54 a</b>	<b>0.336 a</b>	<b>7.98 a</b>	<b>9.52 a</b>
A1.1	20.45 c	<b>0.219 a</b>	0.049 ab	0.063 b	<b>90.27 a</b>	0.373 bc	6.38 d	<b>13.38 a</b>
A1.2	21.27 c	0.091 b	0.044 b	<b>0.084 a</b>	<b>90.88 a</b>	<b>0.435 a</b>	7.70 c	<b>12.49 a</b>
A2.1	23.56 b	0.139 ab	<b>0.057 a</b>	0.060 b	<b>91.71 a</b>	<b>0.442 a</b>	8.76 b	9.30 b
A2.2	<b>25.51 a</b>	0.086 b	0.047 b	0.053 b	88.46 b	0.386 b	<b>10.28 a</b>	8.00 b

Valores seguidos por la misma letra dentro de columnas y entre grupos o subgrupos son estadísticamente similares ( $P \leq 0.05$ ).

sembrados a 7.5 cm (Figura 6.6). Las diferencias sobresalientes entre estos grupos fue que la mayor profundidad de siembra generó plántulas más altas (17 %), con hipocótilos más gruesos (29 %), largos (15 %) y pesados (39 %) (Cuadro 6.8).

Los grupos del subconjunto A2 incluyeron principalmente las plántulas de las siembras a 5 (grupo **A2.1**) y 10 cm (grupo **A2.2**) de profundidad. El grupo A2.2 presentó plántulas con altura y longitud de hipocótilo significativamente mayores que las del grupo A2.1, pero menos vigorosas (Cuadro 6.8).

El conjunto B, que incluyó las variantes silvestres, se dividió en dos subconjuntos (B1 y B2) (Figura 6.6). Las diferencias sobresalientes entre ellos fue que el subconjunto B2, de mayor tamaño medio de semilla (Cuadro 6.7), correspondió a las plántulas más vigorosas (Cuadro 6.8), independientemente de la profundidad de siembra.

## 6.6 CONCLUSIONES

Las reservas seminales son asignadas al desarrollo de las estructuras de la plántula en proporciones variables y en dependencia de la variante de frijol. Así, únicamente en los cultivares, mejorados y tradicionales, se incrementa la longitud del hipocótilo con la profundidad de siembra. En las variantes silvestres, de tamaños de semilla menores, se acumulan las menores cantidades de biomasa en los hipocótilos. En los cultivares tradicionales se acumula el doble de biomasa en los folíolos que en los cultivares mejorados y en las variantes silvestres. En promedio los tres tipos de variantes acumulan mayor biomasa en los folíolos, hipocótilo y raíz, y generan plántulas más altas con la siembra de la semilla a 2.5, 5.0, 7.5 y 10 cm, respectivamente. En las condiciones de este estudio se determinó que las semillas domesticadas parecen ser más eficientes en el uso de las reservas seminales para la germinación y emergencia de las plántulas; sin embargo, falta comprobar si este resultado es un efecto indirecto del mayor contenido de polisacáridos estructurales en las semillas silvestres.

## 6.7 LITERATURA CITADA

- Aguirre R., J.R.; C.B. Peña-Valdivia; J.S. Bayuelo-Jiménez. 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.; C.B. Peña-Valdivia; A.B. Sánchez-U. 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 Vol. 17: 237-239.
- Boe, A. 2003. Genetic and Environmental Effects on Seed Weight and Seed Yield in Switchgrass. Crop Sci. 43:63-67.
- Cisneros-López M.E.; L. E. Mendoza-Onofre; G. Mora-Aguilera, L. Córdova-Téllez y M. Livera-Muñoz. 2007. Híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. I: Calidad de la semilla y su influencia en el establecimiento de plántulas. Agrociencia 41:45-55.
- Chávez G., J. 2002. Potencial agroindustrial del frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* L.): Liberación de electrolitos durante la imbibición y la cocción. Universidad Autónoma Chapingo. 92 p.
- Duffus, C.M.; J.C. Slaughter. 1992. Seeds and their Uses. Wiley. New York, NY, USA. 154 p.
- Flores D., A.; M. del C. Ybarra; J. Castillo M.; R. García N.; C.B. Peña-Valdivia; J.R. Aguirre R. 2002. Potencial agroindustrial del frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* L.): dureza de semilla y composición química. Memorias del Primer Foro Internacional de Mecanización y Agroindustrial. Chapingo, México, pp.1-15, 'CD'.
- Franco, T.L.; R. Hidalgo. 2003. Análisis estadístico de datos de caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico Núm. 8. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia. 89 p.

- García-Agustín, P.; E. Primo-Millo. 1993. Germinación de semillas en Fisiología y Bioquímica Vegetal. J. Azcon-Bieto; M. Talon (ed.) Interamericana McGraw-Hill 419-434 p.
- García H., E.; C.B. Peña-Valdivia. 1995. La Pared Celular. Componente Fundamental de las Células Vegetales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 96 p.
- Gill, S. S. y H. Singh. 1979. Effect of seed size and sowing dates on germination and yield of radish (*Raphanus sativus* L.) roots. Seed Research 7(1): 58-62.
- Izco, J., Barreno, E., Bruges, M., Costa, M., Devesa, J., Fernandez, F., Gallardo, T., Llimona, X., Salvo, E., TalaverA, S. 1997. Botánica. McGraw-Hill/Interamericana, Madrid. 781 p.
- Kirby E., J.M. 1993. Effect of sowing depth on seedling emergence, growth and development in barley and wheat. Field Crop Research 35: 101-111.
- Lima, R. E., A.S. Santiago, A. P. Araujo, M. G. Teixeira. 2005. Effects of the size of sown seed on growth and yield of common bean cultivars of different seed sizes. Braz. J. Plant Physiol., 17(3):273-281.
- López H., M.; C.B. Peña-Valdivia; J.R. Aguirre R.; C. Trejo L.; A.L. López E. 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.
- Mahdi, L.; C. J. Bell; J. Ryan. 1998. Establishment and yield of wheat (*Triticum turgidum* L.) after early sowing at various depths in a semi-arid Mediterranean environment. Field Crops Research 58:187-196.
- Moreno, M.E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Programa Universitario de Alimentos. UNAM. México. 393 p.
- Núñez C., C.; P.A. Barrientos F. 2006. Estimación de la variabilidad interna de muestras poblacionales, mediante análisis de componentes principales. Interciencia 31(11): 802-806.
- Peña-Valdivia, C.B.; J.R. Aguirre R.; E. del R. García H.; J.S. Muruaga M. 1995. Componentes del rendimiento de una semilla de una población silvestre y un cultivar de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Quaderni di Botanica Ambientale e Applicata 6: 181-187.

- Peña-Valdivia, C.B.; E. del. R. Hernández G.; I. Bernal-Lugo; J.R. Aguirre R. 1999. Seed quality of a wild population and an improved cultivar of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) after storage. *Interciencia* 24(1): 8-14.
- Peña-Valdivia C. B.; R. García N.; J.R. Aguirre R.; C. Trejo. 2002. High temperature breaks dormancy and increases hypocotyl-root growth of wild common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Seed Science and Technology* 30(2): 231-248.
- Qiu, J. y J. A. Mosjidis 1993. Influence of seed weight and planting depth on common vetch establishment and growth. *Field Crops Research* 33: 353-366.
- Sánchez-Urdaneta, A.B.; C. B. Peña-Valdivia; C. Trejo; J. Rogelio Aguirre R.; E. Cárdenas; A. Galicia J. 2003. Permeabilidad de las membranas radicales de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado bajo déficit de humedad. *Interciencia* 28(10): 597-603.
- Sánchez-Urdaneta, A.B.; C.B. Peña-Valdivia; E. Cárdenas; J.R. Aguirre. 2005. Anatomía de la raíz de plántulas de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticada con diferentes potenciales de agua. SABER, Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación. Suplemento Vol. 17: 267-270.
- Soltani, A.; M.J. Robertson; B. Torabi; M. Yousefi-Daz; R. Sarparast. 2006. Modelling seedling emergence in chickpea as influences by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology* 138: 156-167.
- Tekrony, D. M.; D. B. Egly. 1991. Relationship of seed vigor to crop yield: A review. *Crop Science* 31: 816-822.
- Tsougkrianis, N.; C.B. Peña-Valdivia; C. Trejo L.; J.D. Molina G. 2006. El potencial de agua del sustrato en la germinación de maíces con tolerancia y sensibilidad a la sequía. *Agricultura Técnica en México*. Enviado.
- Vite, M. A.C.; C.B. Peña-Valdivia; A.B. Sánchez-Urdaneta. 2005. Potencial de agua del sustrato y tamaño de semilla en la germinación de frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* L.). SABER, Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación. Suplemento Vol. 17: 277-279.

## VII. DISCUSION GENERAL

Las especies silvestres representan un recurso genético que puede ser utilizado como fuente de variabilidad genética para el mejoramiento de los cultivares, pues poseen diversas características relacionadas con su adaptación a condiciones desfavorables, como depredación por insectos, temperaturas extremas y sequía en diferentes etapas del desarrollo y en la semilla (Arroyo-Peña *et al.*, 2005; López-Herrera *et al.*, 1999 y 2001; Peña-Valdivia *et al.*, 1999 y 2002; Sánchez-Urdaneta *et al.*, 2003; White e Izquierdo, 1991). Además, se ha reconocido su potencial para el mejoramiento de la calidad nutricional de las variantes domesticadas (Singh, 1999).

Los cultivares mejorados, en dependencia del ambiente, generalmente presentan rendimientos bajos ( $< 900 \text{ Kg ha}^{-1}$ ) y su producción esta limitada por una diversidad de condiciones bióticas y abióticas, algunas de las cuales, en el ambiente de cultivo o del almacenamiento, pueden causar pérdida total de la semilla. La resistencia a sequía, deficiencia de minerales, toxicidad y compactación de suelos, parece que se ha ido reduciendo inadvertidamente en los cultivares mejorados; sin embargo, se calcula que cerca del 90% de la variabilidad genética de las variantes silvestres, cultivares tradicionales y especies relacionadas permanece sin utilizarse o se ha utilizado limitadamente (Singh, 2001). El uso de cultivares tradicionales continua predominando en la producción, pues en su región de origen frecuentemente generan rendimientos altos y son preferidos por los consumidores locales (Rosales *et al.*, 2003). En contraste, en las áreas de mayor producción, se cultivan grandes extensiones con un número reducido de cultivares, los que dominan el mercado nacional y corresponden a la demanda de las poblaciones urbanas mayores; lo anterior, conduce a la disminución la diversidad genética (Peña-Valdivia y Aguirre R., 2008; Vargas *et al.*, 2006).

La variabilidad del germoplasma puede estudiarse con enfoques diversos. En el presente trabajo se evaluó la variabilidad del vigor inicial de cultivares, mejorados y tradicionales, y variantes silvestres de frijol, mediante la comparación de

características morfológicas y fisiológicas de la semilla, y la capacidad de emergencia, y establecimiento de la plántula y sus características morfológicas. Con base en la información de la literatura es posible plantear la hipótesis de que la selección para el mejoramiento de los cultivares ha conducido a la homogeneidad morfológica, tanto de su semilla como de sus plántulas, y por lo tanto de su vigor inicial.

Se demostró la utilidad de los análisis multivariados, componentes principales y agrupamiento aglomerativo, para identificar patrones en las características morfológicas de las semillas y las plántulas de frijol, que muestran la diversidad del germoplasma domesticado y silvestre. El color de la testa es una de las principales características que distinguió a los cultivares mejorados con colores claros de los de testa negra. Evidencias experimentales sugieren que, además del grosor y la dureza, el color de la testa puede ser un factor relacionado con la entrada de agua a la semilla y posteriormente su germinación (Peña-Valdivia *et al.*, 1999 y 2002). El color de la testa refleja, en parte, su composición, y confiere ciertas características a la semilla relacionadas principalmente con la preferencia de los consumidores. Un segundo nivel de clasificación de los cultivares mejorados se basó en la proporción de cotiledón de la semilla; este carácter se relaciona directamente con el tamaño de semilla, pues los cotiledones representan cerca del 90 % de la semilla de frijol mejorado (Flores *et al.*, 2002), lo cual resulta del gigantismo producido por la domesticación (Smartt, 1988). El valor alimenticio del frijol se ha centrado principalmente en su contenido de proteínas y carbohidratos (principalmente almidón), y una proporción alta de cotiledones significa mayor aporte de estos nutrimentos (Flores *et al.*, 2002). La característica que contribuyó menos a explicar la diversidad morfológica de las semillas fue el contenido de eje embrionario. La variabilidad del vigor inicial de los cultivares mejorados se basó principalmente en la capacidad para emerger; además, las plántulas de las semillas significativamente más pesadas (38.88 g/100 semillas) fueron en promedio más vigorosas, con mayor altura (24.24 cm) y diámetro de hipocótilo (0.43 cm), y acumularon más biomasa en su raíz y folíolos (0.20 y 0.80 g, respectivamente), que las semillas ligeras (20.92 a

33.56 g/100 semillas). Las semillas más ligeras y pequeñas generaron algunas de las plántulas más cortas (22.35 cm), con los folíolos, hipocótilo y raíz ligeros (0.17, 0.05 y 0.06 g, respectivamente) e hipocótilo angosto y corto (0.38 y 7.94 cm). Gontia y Awasthi (1999) encontraron que el tamaño y densidad de la semillas de soya (*Glycine max* L. Merrill) son factores que afectan su Vigor; así, la emergencia temprana y el desarrollo de las plántulas de semillas grandes generaron plantas con mejor desarrollo vegetativo y reproductivo. Al respecto, Finch-Savage *et al.* (2000) señalan que el vigor es una forma de estimar el establecimiento de las plántulas de un lote de semillas, bajo una amplitud de condiciones experimentadas, y es determinado tanto por la germinación de las semillas como por la dependencia de sus reservas, después de la germinación. En el presente estudio se determinó que el consumo de reservas para la emergencia (90.3 %) fue independiente de la profundidad de siembra. Los resultados de este estudio indican que la diversidad en morfología seminal y del vigor inicial en los cultivares mejorados es reducida. Sin embargo, entre las variantes mejoradas por procesos fitogenéticos se encuentran diferencias amplias y significativas en el consumo de reservas (entre 50 y 90 %) para la emergencia; mientras que, entre los cultivares tradicionales dichas diferencias fueron más estrechas (el consumo mínimo y máximo fluctuó entre 83 y 92 %). Otro aspecto de la variabilidad reducida del vigor inicial en el germoplasma domesticado fue que, independientemente de la profundidad de siembra, cultivar, raza, tamaño de semilla o reserva seminal, las reservas de la semilla de frijol son destinadas principalmente al crecimiento del hipocótilo, expresado como acumulación de biomasa, y al crecimiento longitudinal de la plántula.

Los resultados del presente estudio acreditan que la importancia de contar con variantes silvestres como fuente de variabilidad genética es incuestionable. Sin embargo, ya se ha señalado reiteradamente la exclusión de las variantes silvestres de los programas de mejoramiento de cultivares, debido solo en parte al número limitado de colectas en los bancos de germoplasma, pero sobre todo por la ausencia de una evaluación sistemática de las colecciones completas, de esta forma, la escasa información sobre sus características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas

que incrementa el riesgo de incorporar características indeseables al material que se desea mejorar (López H. *et al.*, 2007; Peña-Valdivia y Aguirre R., 2008; Sánchez-Urdaneta *et al.*, 2003); por ello la evaluación de un mayor número de características de las variantes silvestres puede tener varios propósitos, como incrementar el conocimiento de los cambios ocurridos durante el proceso de domesticación, conocer la variabilidad del germoplasma silvestre, identificar variantes sobresalientes para recomendar su uso en los programas de mejoramiento, y otros.

Una característica propia de las semillas de frijol silvestre, aunque no generalizada, y poco común en las domesticadas, es la presencia de latencia. Peña-Valdivia *et al.* (2005) mostraron que el porcentaje medio de latencia de cuatro variantes de semillas de frijol silvestre recién cosechadas fluctuó entre 60 y 90 %; mientras que otro grupo de ocho variantes, en dos ciclos de cultivo diferente, presentaron porcentaje de latencia media entre 40 y 95 % (Peña-Valdivia *et al.*, 2005). Esta es una característica indeseable en la agricultura, por lo que, la identificación de variantes no latentes y con otras características deseables, como tolerancia a algún(os) factor(es) inductor(es) de estrés, sería ideal. Sin embargo, Peña-Valdivia *et al.* (2003 y 2005) demostraron que la latencia puede eliminarse con calor, escarificación mecánica y almacenamiento a 25° C. Así, resulta relativamente simple eliminar este carácter indeseable de las semillas. En el presente estudio, las semillas de 15 variantes domesticadas y silvestres, escarificadas mecánicamente, alcanzaron la emergencia final en tiempos estadísticamente similares, < de 15 días en promedio, con la siembra  $\leq$  5.0 cm de profundidad. A 7.5 y 10 cm de profundidad se redujo la emergencia y, por tanto, la tasa de emergencia de las 15 variantes. Esto demostró que la relación de la emergencia de las variantes silvestres con la profundidad de siembra, es similar que en los cultivares, independientemente del tamaño de semilla y lugar de origen.

Los resultados de este estudio muestran ciertas diferencias en el efecto de la profundidad de siembra entre los cultivares y las variantes silvestres. Así, únicamente en los cultivares, mejorados y tradicionales, se incrementó la longitud del

hipocótilo (hasta 4 cm) con la profundidad de siembra; entre las variantes silvestres en cambio hubo diferencias al respecto, pues en las semillas pequeñas (3.6 a 8.6 g/100 semillas) se acumularon las menores cantidades de biomasa en esa estructura (0.019 a 0.034 g). Otra característica contrastante entre las variantes fue la distribución de los recursos a las estructuras que permitirán a la planta establecerse como organismo autótrofo después de la emergencia. Así entre los cultivares, los tradicionales acumularon el doble de biomasa en los folíolos (0.26 g) con la siembra a 2.5 cm, que los otros dos tipos, pero dicha acumulación disminuyó drásticamente, tanto en los cultivares como en los silvestres, con el incremento en la profundidad de siembra. Al respecto, Tekrony y Egly (1991) señalan que el vigor de la semilla afecta la habilidad del cultivo para acumular materia seca, por lo que las semillas más vigorosas consumen sus reservas rápido, generan plántulas también vigorosas, capaces de generar sus propios asimilados mediante el desarrollo acelerado de su dosel, y podrán competir con las arvenses del ambiente de cultivo. Sin embargo, también se observaron similitudes en la reacción a la profundidad de siembra; en promedio los cultivares y las variantes silvestres acumularon mayor biomasa en los folíolos (0.13 a 0.26 g) con la siembra a 2.5 cm de profundidad, y en el hipocótilo (0.04 a 0.7 g) y la raíz (0.06 a 0.07 g) con la siembra a 5.0 y 7.5 cm, que con las otras profundidades; y con la siembra a 10 cm todas las variantes generaron las plántulas más altas (18.4 a 26.8 cm), que con a las profundidades menores. Es conveniente destacar que, en las condiciones de este estudio, las semillas silvestres parecen ser menos eficientes en el uso de las reservas seminales para la germinación y emergencia de las plántulas, que las domesticadas; sin embargo, se recomienda comprobar este resultado, pues podría ser un efecto indirecto del mayor contenido relativo de polisacáridos estructurales en las semillas silvestres. Las reservas seminales son destinadas al desarrollo de las estructuras de la plántula en proporciones variables y en dependencia de la variante de frijol.

## 7.1 LITERATURA CITADA

- Arroyo-Peña, B.; C.B. Peña-Valdivia; A.B. Sánchez-U. 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 Vol. 17: 237-239.
- Finch-Savage, W. E., M. Bettey y G. J. King, 2000. Quantitative genetic Analysts of seed vigour and pre-emergence seedling growth traits in *Brassica oleracea*. Horticulture Research International 148:277-286
- Flores D., A.; M. del C. Ybarra; J. Castillo M.; R. García N.; C.B. Peña-Valdivia; J.R. Aguirre R. 2002. Potencial agroindustrial del frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* L.): dureza de semilla y composición química. Memorias del Primer Foro Internacional de Mecanización y Agroindustrial. Chapingo, México, pp.1-15, 'CD'.
- Gontia, S.A.; M.K. Awasthi. 1999. Effect of seed grading by size on various seed vigour attributes, morpho-physiological characters and seed yield in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) genotypes. Seed Research 27(1): 25-30.
- López-Herrera, M; C. B. Peña-Valdivia; J. R. Aguirre R.; C. Trejo L.; J. Muruaga M. 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; C. B. Peña-Valdivia; J. R. Aguirre R.; C. Trejo L. 2001. Differences in seed germination of wild and domesticated common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in response to storage. South African Journal of Botany 67: 620-628.
- López H., M.; C. B. Peña-Valdivia; J. R. Aguirre R.; C. Trejo L.; A. L. López E. 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.
- Peña-Valdivia; C. B.; J. R. Aguirre R. 2008. El frijol silvestre mexicano (*Phaseolus vulgaris* L.): Riqueza renovable desaprovechada. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 150 p. En prensa.

- Peña-Valdivia, C. B.; E. del R. García H.; I. Bernal-Lugo; J. R. Aguirre 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.; 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.
- Peña-Valdivia, C.B.; R. García N.; A.B. Galicia J.; A.B. Sánchez-Urdaneta. 2005. Germinación, latencia y crecimiento de plántulas de frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* L.). *SABER, Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación. Suplemento Vol. 17: 258-260.*
- Rosales R.S.; J.A. Acosta-Gallegos; R.P. Durán D.; H. Guillén A.; P. Pérez H.; G. Esquivel E., J.S. Muruaga M. 2003. Diversidad genética del germoplasma mejorado de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. *Agricultura Técnica en México* 29(1): 11-24.
- Sánchez-Urdaneta, A. B.; C. B. Peña-Valdivia; C. Trejo; J. Rogelio Aguirre R.; E. Cárdenas; A. Galicia J. 2003. Permeabilidad de las membranas radicales de plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre y domesticado bajo déficit de humedad. *Interciencia* 28(10): 597-603.
- Singh, S.P. 1999. Production and utilization. In: *Common Bean Improvement in the Twenty-First Century*, Singh, S. P. (ed). Kluwer Academic Publisher, Netherlands. pp. 1-24.
- Singh, P.S. 2001. Broadening the genetic base of common bean cultivars: A review. *Crop Sci* 41:1659-1675
- Smartt, J. 1988. Morphological, physiological and biochemical changes in *Phaseolus* bean under domestication. In: *Genetic resources of Phaseolus*. Gepts, P. ed. pp. 143-161. Kluwer Academic Publisher, The Netherlands.
- Tekrony, D. M.; D. B. Egly. 1991. Relationship of seed vigor to crop yield: A review. *Crop Sci.* 31:816-822.
- Vargas V., M.L.; J.S. Muruaga M.; J. Acosta G.; R. Navarrete M.; P. Pérez H.; G. Esquivel E.; M.B.G. Irizar G.; J.M. Hernández C. 2006. Colección Núcleo de

- Phaseolus vulgaris* L. del INIFAP. Libro técnico Núm. 10. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 461 p.
- Vite, M. A.C.; C.B. Peña-Valdivia; A.B. Sánchez-Urdaneta. 2005. Potencial de agua del substrato y tamaño de semilla en la germinación de frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* L.). SABER, Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación. Suplemento Vol. 17: 277-279.
- White, J. W.; J. Izquierdo. 1991. Physiology of yield potential and stress tolerance. *In*: Common Beans: Research for Crop Improvement, van Schoonhoven A.; O. Voysest (ed). pp. 287-382. CAB International y CIAT, Wallingford, UK.

## VIII. CONCLUSIONES GENERALES

La relación de la emergencia de las variantes silvestres de frijol con la profundidad de siembra, fue similar a la registrada en los cultivares, independientemente del tamaño de semilla o lugar de origen.

Las reservas seminales son conducidas al desarrollo de las estructuras de la plántula en proporciones variables y en dependencia de la variante de frijol. En general predomina la traslocación al hipocótilo; lo que repercute positivamente en el crecimiento longitudinal de la plántula.

Se comprobó que la variabilidad del vigor y morfología de la semilla de frijol es un elemento más del síndrome de domesticación de esta especie, y que se ajusta al gradiente: cultivar mejorado < cultivar tradicional < variante silvestre.