

FERTILIZACIÓN FOLIAR Y DENSIDAD DE POBLACIÓN EN EL RENDIMIENTO Y CALIDAD DE SEMILLA DE FRIJOL

FOLIAR FERTILIZATION AND PLANT DENSITY ON DRY BEANS SEED YIELD AND QUALITY

Horacio Espinosa Paz¹, Aquiles Carballo Carballo¹, Adrián Hernández Livera¹
y Ángel Martínez Garza²

RESUMEN

Para estudiar el efecto de algunos factores agronómicos en el rendimiento y calidad de semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.); se sembró durante el ciclo primavera-verano de 1993 en la localidad de Tecámac, Edo. de México, 25 familias avanzadas (F₃) de frijol de hábito indeterminado tipo III a dos densidades de población (62,500 y 125,000 plantas ha⁻¹), y se aplicaron dos niveles de fertilización foliar (con y sin) en las etapas de floración (R6) y llenado de las vainas (R8), utilizando el fertilizante comercial Nitrofoska en dosis de 2 L ha⁻¹ por aplicación. La semilla cosechada fue sometida a diferentes evaluaciones para conocer el efecto de los tratamientos sobre la calidad física y sanitaria, así como en la germinación y el vigor de plántula. Los resultados indican que la fertilización foliar no tuvo efecto significativo en el rendimiento y calidad de la semilla, pero sí en la disminución del número de vainas por planta y de semillas por vaina. El aumento de la densidad de población incrementó el rendimiento, en aproximadamente 200 kg ha⁻¹, y la proporción de materia inerte en los análisis de pureza de las muestras de semilla; pero disminuyó ligeramente el peso de 1000 semillas; en cambio, no afectó el peso volumétrico, la calidad sanitaria, ni la calidad fisiológica en términos de velocidad de emergencia, porcentaje de germinación, porcentaje de emergencia, longitud de hipocótilo, longitud de epicótilo y peso seco de plántula. Finalmente, el componente genético (familias) fue importante en la expresión del rendimiento y sus componentes; así como en los parámetros de calidad física y sanitaria, germinación y vigor de la semilla de frijol.

¹ Instituto de Recursos Genéticos y Productividad del Colegio de Postgraduados. 56230 Montecillo, Edo. de México. Tel. y Fax: 01(595) 2-02-00 Ext. 1555.

² Especialidad de Estadística. Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. Tel. y Fax: 01(595) 1-0194.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Phaseolus vulgaris L., análisis de pureza, germinación, vigor de semilla, sanidad.

SUMMARY

The effect of some agronomical factors in yield and seed quality in dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) was studied. In the spring-summer of 1993 in Tecamac, México, 25 advanced bean families (F₃) with indeterminate growth habit type III were planted under two plant densities (62,500 and 125,000 plants ha⁻¹); two levels of foliar fertilization (with and without) were used in the flowering (R6) and pod filling (R8) stages. The nitrogen source was Nitrofoska brand in doses of 2 L ha⁻¹ each. In the harvested seed, analysis of physical, pathological and physiological quality were done. There was not a significant effect with the foliar fertilization to yield and seed quality, but it was observed that there was a reduction in pods/plant and seeds/pod. As population density increased, yield increased 200 kg ha⁻¹, and in the analysis of seed purity inert material increased too; but the 1000 seed weight decreased lightly; however, volumetric weight, pathological and physiological quality was not affected. Finally, the genetic component (families) performance was important for yield, yield components, and for physical, pathological, and physiological quality of seeds.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Phaseolus vulgaris L., purity test, germination, seed vigor, health test.

INTRODUCCIÓN

México ocupa el segundo lugar en producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el mundo, después de Brasil. A nivel nacional, dicho cultivo ocupa el segundo lugar en importancia por su superficie anual cultivada, la cual es de aproximadamente 1 738,341 hectáreas con una producción de alrededor de 912 mil toneladas (INEGI, 1991). Una de las causas de su baja productividad es el uso de semilla de baja calidad (Voyssest y Pacheco, 1991), misma que se debe a que la mayoría de los productores de frijol producen su semilla para siembra bajo la tecnología de producción comercial de grano; como consecuencia de la falta de oferta de semilla certificada en el mercado (Rodríguez, 1990). Ante tal situación, es necesario mejorar el rendimiento de semilla de buena calidad, y una forma de lograrlo es considerar, además de las características agronómicas deseables de la planta, la respuesta en calidad y productividad de semilla de los genotipos que se perfilan como futuras variedades.

En la producción de semilla de frijol, una disminución de la densidad de siembra recomendada para producir grano beneficia la calidad de semilla, especialmente por la menor incidencia de enfermedades. Asimismo, estudios anteriores han demostrado que un manejo adecuado de la densidad de población y la aplicación de fertilizantes foliares como complemento de la fertilización básica aplicada al suelo, tienen efectos benéficos al producir incrementos en el rendimiento de semilla de frijol (Singh y Gutiérrez, 1990; Durán *et al.*, 1991).

En este contexto, Escalante y Escalante (1982) evaluaron el efecto de cinco densidades de población: 17.6, 21.3, 26.6, 35.5 y 53.3 plantas m⁻², en el rendimiento de semilla y algunos de sus componentes en las variedades de frijol Canario 107 (hábito determinado tipo mata) y

Michoacán 12-A-3 (hábito indeterminado erecto); encontraron que el rendimiento por planta, el tamaño de semilla, el número de semillas normales y el número de vainas normales, disminuyeron en las dos variedades conforme aumentó la población de plantas.

Por su parte Valdés *et al.* (1985), al estudiar la influencia de cuatro densidades de población (de 100,000 a 400,000 plantas ha⁻¹) sobre el rendimiento de semilla y sus componentes, en el cultivar de frijol ICA-Pijao línea 32, encontraron diferencias significativas para rendimiento, número de vainas por planta, semillas por vaina, peso de semilla por vaina y peso de 1000 semillas, e indican que el mejor rendimiento de semilla (1.5 ton ha⁻¹) se obtuvo con 200 000 plantas ha⁻¹.

La fertilización foliar ha sido utilizada para la aplicación de elementos menores con el propósito de corregir deficiencias. Sin embargo, la fertilización foliar con elementos mayores como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) ha incrementado significativamente el rendimiento en cultivos como soya, maíz y trigo, al efectuarse aplicaciones durante el periodo de llenado del grano, debido principalmente a un aumento en el tamaño de la semilla (Randall *et al.*, 1985; Durán *et al.*, 1991).

En frijol, al efectuarse aplicaciones foliares de nitrógeno (urea al 4%) durante el periodo vegetativo y llenado de grano, permitió incrementar el rendimiento al obtenerse un aumento en número de vainas por planta y de granos por unidad de superficie (Chonay, 1981). Resultados similares fueron reportados por García y Hanway (1976) y Gray (1977) al realizar aplicaciones foliares de urea en soya; sin embargo, Boote *et al.* (1978) señalan que los incrementos en el rendimiento de este cultivo no son consistentes.

Considerando que en México existe poca información acerca del uso de estas prácticas respecto a la producción y calidad de semilla de frijol, los objetivos de la presente investigación fueron: 1) Estudiar el efecto de la fertilización foliar y densidad de población en el rendimiento y calidad de semilla de 25 familias avanzadas de frijol; y 2) Determinar la influencia del genotipo en la expresión del rendimiento y calidad de semilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se efectuó en el Programa Interdisciplinario de Producción de Semillas (PIPS) del Centro de Genética del Colegio de Postgraduados.

Se utilizó 25 familias avanzadas (F_3) de frijol, originadas de una mezcla balanceada F_2 de 153 cruces posibles entre 18 colectas sobresalientes, realizadas en 1988; proporcionadas por el Área de Mejoramiento Genético de frijol del Programa de Genética.

La investigación consistió de tres fases. En la primera se evaluó en campo las 25 familias a dos densidades de población y dos niveles de fertilización foliar como complemento de la fertilización básica aplicada al suelo. En la segunda se realizó la evaluación de la calidad física y sanitaria de la semilla obtenida en el experimento de campo. La tercera incluyó pruebas de germinación y de vigor en invernadero.

Durante el ciclo primavera-verano de 1993, en el Campo Experimental San Miguel Tecámac, Edo. de México, se estableció dos experimentos adyacentes; en cada uno se utilizó el diseño experimental de látice triple 5 x 5 y un arreglo de tratamientos en parcelas divididas; en donde las familias fueron asignadas a las parcelas principales (PP) y los niveles de densidad de

población a las subparcelas (SP). Las densidades de población fueron de 62,500 y 125,000 plantas ha^{-1} . Los niveles de fertilización foliar se codificaron como "0" y "1", en donde el experimento con nivel "0" no recibió aplicación alguna; mientras que en el nivel "1" se hicieron dos aplicaciones en el follaje con el fertilizante comercial Nitrofoska (5-15-5-0.2 de Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Magnesio, respectivamente), en dosis de 2 L ha^{-1} . Las aplicaciones se efectuaron en las etapas fenológicas de floración (R6) y llenado de las vainas (R8), durante las primeras horas del día. La parcela principal estuvo compuesta por dos subparcelas, cada una formada por dos surcos de 4 metros de longitud y 0.80 m de separación entre surcos.

Antes de la siembra se aplicó en el fondo del surco una dosis de fertilización con 40 kg de nitrógeno (N) y 40 de fósforo (P) por hectárea. El cultivo se mantuvo limpio de malezas y bajo buenas condiciones de humedad durante todo el ciclo.

Los caracteres evaluados en esta fase fueron: rendimiento de semilla (RS), con base en el peso total de semilla por parcela transformado a $kg ha^{-1}$; número de vainas por planta (VP), promedio de 5 plantas tomadas al azar por parcela, y número de semillas por vaina (SP), promedio de 10 vainas tomadas al azar por parcela.

Antes de iniciar la segunda fase del trabajo se eliminó el efecto de repetición en los dos experimentos, mezclando la semilla de las tres repeticiones correspondientes a un mismo tratamiento, obteniendo finalmente 100 muestras; éstas se homogenizaron y redujeron para obtener una muestra de trabajo de 900 g por tratamiento (ISTA, 1993), en las cuales se hizo la evaluación de la calidad física y sanitaria de la semilla. Las variables estudiadas fueron: a) Análisis de pureza física, b) Peso de 1000 semillas, c) Peso volumétrico y, d) Porcentaje de

semilla manchada por hongos. La metodología se apoyó en lo recomendado por Moreno (1984).

En la última fase de la investigación se estudió la germinación y el vigor en invernadero; se utilizó 100 semillas por tratamiento para formar cuatro repeticiones de 25 semillas cada una, en un diseño de látice simple 10 x 10; la siembra se efectuó en semilleros de madera de 4.8 x 1.9 m, con arena esterilizada como sustrato. La parcela útil dentro del semillero fue un surco de 1 m de longitud, con una distancia de 4 cm entre surcos. La distancia entre semillas fue de 3 cm, se colocó con la lente hacia abajo y se cubrió con una capa de arena de 1 cm de espesor. Se aplicó un riego al momento de la siembra y después cada tercer día, para mantener húmedo el sustrato. Los semilleros se colocaron bajo un invernadero móvil tipo "tunnel" con estructura metálica y cubierta de polietileno. Los 100 tratamientos estudiados resultaron de la combinación de 25 familias, con dos niveles de densidad de población y dos de fertilización foliar.

Las variables estudiadas en esta prueba fueron: porcentaje de germinación (PG), con base en las plántulas que tenían raíz, hipocótilo y epicótilo bien desarrollados, sanos y sin malformaciones a los 12 días de iniciada la prueba; longitud de hipocótilo (LH), promedio por plántula en cm, del cuello de la raíz hasta al nudo cotiledonar de las plántulas normales; longitud de epicótilo (LE), promedio por plántula, en cm, del nudo cotiledonar hasta el nudo de las hojas primarias; peso seco de plántula (PSP), peso en gramos de todas las plántulas normales completas (raíz más vástago), después de secadas a 75 °C durante 72 horas; y velocidad de emergencia (VE), calculada según Maguire (citado por Copeland y McDonald 1995):

$$VE = \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{N_i} \right)$$

donde: X_i = Número de semillas emergidas por día; N_i = i días después de la siembra $i = 1, 2, \dots, n$.

En la primera fase se realizó un análisis de varianza combinado de los dos experimentos. En la segunda fase, dado que se eliminó el efecto de repetición, sólo se obtuvo un valor de cada variable por tratamiento; en consecuencia, esta información se analizó mediante la elaboración de cuadros con promedios por familia, densidad de población y nivel de fertilización foliar. En la última fase, se mencionó el uso de un diseño látice simple 10 x 10 en los dos experimentos; sin embargo, debido a que las condiciones bajo las cuales se desarrolló las evaluaciones en el invernadero fueron homogéneas, el análisis de varianza se realizó bajo el diseño experimental completamente aleatorio.

Para las variables cuyos cuadrados medios resultaron significativos en las fases uno y tres, se aplicó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

RESULTADOS

Efecto de la fertilización foliar y densidad de población en el rendimiento de semilla y sus componentes

En el análisis de varianza combinado (Cuadro 1) se observó un efecto significativo de los niveles de fertilización foliar (experimentos) en las variables número de vainas por planta (VP) y semillas por vaina (SV), y no significativo en el rendimiento de semilla (RS); mientras que las familias presentaron una respuesta diferencial a los niveles de fertilización en las tres variables. En la interacción Experimentos x Familias, ningún carácter resultó con significancia.

Por otro lado, el factor densidad de población presentó diferencias altamente significativas en

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística del análisis de varianza combinado de las variables estudiadas para producción de semilla de frijol.

Factor de variación	GL	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Vainas por planta	Semillas por vaina
Experimento (E)	1	0.01	10884.16*	128.05*
Familia (F)	24	1.20**	6272.42**	76.52**
E x F	24	0.12	3101.66	17.53
Error comb. (1)	72	0.10	2016.04	21.37
Densidad (D)	1	1.64**	220160.43**	103.25**
F x D	24	0.03	3025.50	14.35
E x D	1	0.35*	448.96	4.81
E x F x D	24	0.04	2611.65	17.23
Error comb. (2)	100	0.07	2698.59	14.73

*,** significativo al 5 y 1% de probabilidad.

Cuadro 2. Respuesta a la fertilización foliar en las variables vainas por planta y semillas por vaina en frijol.

Fertilización foliar	Vainas por planta	Semillas por vaina
Sin aplicación	47.5 a	5.70 a
Con aplicación	45.0 b	5.50 b
DSH	2.0	0.10

Medias con la misma letra en cada columna no son diferentes (Tukey, 0.05).

Cuadro 3. Efecto de la densidad de población en las variables rendimiento de semilla, vainas por planta y semillas por vaina de frijol.

Densidad	Rendimiento (kg ha ⁻¹)	Vainas por planta	Semillas por vaina
Baja	3855.9 b	51.67 a	5.65 a
Alta	4086.7 a	40.83 b	5.54 b
DSH	60.8	2.38	0.08

Medias con la misma letra en cada columna no son diferentes (Tukey, 0.05).

las tres variables. La interacción Experimento x Densidad, sólo tuvo efecto significativo en el rendimiento de semilla. Las interacciones Familia x Densidad, y Experimento x Familia x Densidad no presentaron significancia en ninguna de las variables.

En el Cuadro 2 se presenta la comparación de valores medios por niveles de fertilización foliar (experimentos), para las variables que tuvieron diferencias significativas en el análisis de varianza. La aplicación de fertilizante foliar en las etapas fenológicas de floración y llenado de las vainas, tuvo un efecto negativo sobre el número de vainas por planta y el número de semillas por vaina.

En relación con el rendimiento de semilla, 17 de las 25 familias sobresalieron estadísticamente con rendimientos superiores a 3980 kg ha⁻¹. De los 17, las cinco familias más rendidoras fueron la 285, 148, 142, 235 y 160 con 4297, 4406, 4516, 4687 y 4703 kg de semilla por hectárea, respectivamente. Las que estadísticamente rindieron menos fueron la 103, 255, 264, y 178 con 3297 a 2562 kg ha⁻¹.

El número de vainas por planta varió entre familias de 32.7 a 54.3. Los cinco valores estadísticamente superiores, correspondieron a las familias 148, 262, 124, 125 y 265; mientras que las familias 178, 181 y 233 presentaron los menores valores con una variación de 32.7 a 40.4 vainas por planta. En la variable semillas por vaina sobresalieron las familias 142, 237, 103, 219, 125, 153 y 264 con una variación de 5.7 a 6.3 semillas por vaina; mientras que las familias con valores menores en el segundo grupo de significancia fueron la 255, 207, 275 y 265, con 5.3 semillas por vaina.

En el Cuadro 3 se aprecia que la densidad de 125,000 plantas ha⁻¹, superó en 6% el rendimiento de semilla obtenido con la densidad de

62,500 plantas, pero disminuyeron el número de vainas por planta y semillas por vaina.

El rendimiento más alto de semilla (4149 kg ha⁻¹) se obtuvo combinando la densidad de población alta (125,000 plantas ha⁻¹) con la no aplicación de fertilizante en el follaje; mientras que el menor rendimiento (3855.5 kg ha⁻¹) se obtuvo con el mismo nivel de fertilización en combinación con la densidad baja.

Calidad física y sanitaria de la semilla

Análisis de pureza

Dadas las características de los contaminantes de las muestras de trabajo, sólo se obtuvo semilla pura, semilla de otras variedades y materia inerte. En promedio, el experimento sin tratamiento de fertilización foliar presentó un 97.44% de semilla pura, 1.75 % de semilla de otras variedades y el resto de materia inerte. Por su parte, el experimento con fertilización foliar reportó cifras muy similares (97.13, 1.53 y 1.34% de semilla pura, semilla de otras variedades y materia inerte, respectivamente); de ahí que no se observó una tendencia clara sobre el componente semilla pura.

En los experimentos con y sin tratamiento de fertilización foliar se observó una disminución en el porcentaje de semilla pura de 0.31 y 0.62, respectivamente, y un aumento en la proporción de materia inerte de 0.01 y 0.30% cuando la densidad de población fue de 125,000 plantas ha⁻¹. Para porcentaje de semilla pura se observaron diferencias entre familias de 92.78 a 99.76% en la densidad de 62,500 plantas ha⁻¹ y de 92.28 a 99.45% en la de 125,000 plantas, en el experimento sin fertilización foliar. Por otra parte, se tuvieron diferencias entre 92.51 a 99.03% en baja densidad y de 90.23 a 99.32% en alta densidad, en el experimento con fertilización foliar. En ambos niveles de fertilización, la

Cuadro 4. Cuadros medios y significancia estadística del análisis de varianza para germinación y vigor de plántula en frijol.

Factor de variación	GL	VE	PG	LH (cm)	LE (cm)	PSP (g)
Den. Pob. (DP)	1	0.91	2.56	3.82	14.90	0.14
Familias (F)	24	3.36	30.44**	231.37**	1348.21**	5.97**
DP x F	24	6.27	12.89	34.42	22.68	0.79
Fert. (FER)	1	1.61	7.84	11.66	38.44	1.49
F x FER	24	2.57	15.34	37.63	29.48	1.45
DP x FER	1	1.13	0.16	6.79	9.98	0.66
DP x F x FER	24	3.02	12.33	39.21	50.48	1.60
Error	300	3.56	14.29	47.28	79.63	1.42

*,** significativo al 5 y 1% de probabilidad.

VE = Velocidad de emergencia; PG = Porcentaje de germinación; LH = Longitud de hipocótilo; LE = Longitud de epicótilo; PSP = Peso seco de plántula.

Cuadro 5. Comparación de medias de porcentaje de germinación y vigor de plántula en frijol.

Familia	PG	LH (cm)	LE (cm)	PSP (g)
119	99.8 a	5.2 abc	6.8 bcde	4.90 abcde
24	99.2 ab	5.7 a	5.7 efghi	4.45 abcde
48	99.0 abc	5.2 abc	6.5 cdef	5.73 a
153	99.0 abc	5.1 abcd	5.6 fghi	5.26 abc
275	98.8 abc	4.9 abcde	7.0 bc	4.87 abcde
265	98.7 abc	4.1 e	5.8 efghi	4.79 abcde
76	98.5 abc	5.7 a	7.8 ab	5.52 ab
160	98.5 abc	5.3 abc	5.7 efghi	4.54 abcd
219	98.5 abc	4.9 abcde	6.5 cdef	4.82 abcde
148	98.2 abc	4.8 abcde	6.2 cdefg	4.85 abcde
103	98.0 abc	4.3 de	6.6 cdef	4.45 abcde
233	98.0 abc	5.2 abcd	5.2 ghi	4.32 abcde
235	97.7 abc	5.3 abc	5.9 defgh	4.22 abcde
255	97.7 abc	5.4 ab	7.0 bc	5.08 abcd
142	97.5 abc	4.6 bcde	6.4 cdef	4.28 abcde
207	97.0 abc	5.1 abcd	5.0 hi	4.12 bcde
124	97.0 abc	5.0 abcde	5.1 ghi	4.39 abcde
125	97.0 abc	5.4 ab	8.3 a	5.43 ab
264	96.7 abc	4.9 abcde	4.7 i	3.79 cde
285	96.5 abc	4.5 cde	6.6 cdef	4.83 abcde
178	96.2 abc	5.0 abcde	5.7 efghi	3.51 e
262	96.2 abc	4.7 bcde	5.1 ghi	3.55 de
181	96.0 abc	5.0 abcde	6.5 cdef	5.38 ab
284	94.7 bc	5.1 abcd	6.7 bcdef	4.38 abcde
237	94.2 c	4.8 abcde	4.8 hi	3.68 de
DSH	4.9	0.9	1.2	1.55

Valores con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

PG = Porcentaje de germinación; LH = Longitud de hipocótilo; LE = Longitud de epicótilo; PSP = Peso seco de plántula.

familia 235 presentó los menores porcentajes de semilla pura con 92.78 y 92.51, respectivamente.

Peso volumétrico

En promedio, la aplicación del fertilizante foliar durante la floración y llenado de las vainas no tuvo efecto sobre el peso volumétrico de la semilla producida. Lo mismo ocurrió con el factor densidad de población. En cambio, el factor genético (familias) sí presentó efecto en dicha variable; los valores más bajos registrados (78 y 79 kg hl⁻¹), correspondieron a las familias 76, 153, 178, 237 y 264; mientras que en el grupo de los más altos se incluyó la 48, 103, 148, 275, 284 y 285 con 83 kg hl⁻¹.

Peso de 1000 semillas

El peso de 1000 semillas no se vio afectado por los tratamientos de fertilización, pues en ambos casos el valor fue de aproximadamente 266.0 g. En relación a la densidad, se observó que el peso disminuyó en cerca de 3 g cuando la densidad se aumentó de 62,500 a 125,000 plantas ha⁻¹.

Se apreciaron diferencias marcadas en el peso de 1000 semillas por el efecto genético, ya que la diferencia entre el mayor y menor peso fue de 125.4 g. Las cinco familias con menos peso fueron la 264, 24, 124, 262 y 178 con valores de 187.7, 217.1, 233.3, 234.9 y 241.7 gramos por 1000 semillas, respectivamente; los mayores valores correspondieron a las familias 285, 48 y 181 con 310.5, 311.0 y 313.1 g, respectivamente.

Porcentaje de semilla manchada por hongos

No se observó un efecto claro en el porcentaje de semilla manchada debido a los niveles de fertilización y densidad de población. En

cambio, las diferencias entre familias fueron muy marcadas, ya que los porcentajes de semilla afectada fluctuaron entre 1.1 y 20.3%, correspondiendo el menor valor a la familia 262 y el mayor a la 76.

Germinación y vigor en invernadero

El análisis de varianza (Cuadro 4) indicó que la densidad de población no tuvo efecto significativo en ninguna de las variables relacionadas con la germinación (PG) y el vigor (VE, LH, LE y PSP) de plántula. Mientras que para el factor de variación Familias, las variables PG, LH, LE y PSP presentaron diferencias altamente significativas, excepto en la velocidad de emergencia. No se encontró diferencias estadísticas por efecto de los tratamientos de fertilización foliar en la germinación y el vigor de las plántulas de frijol. En cuanto a las interacciones Densidad x Familias, Fertilización x Familias, Densidad x Fertilización y la de segundo orden, no se encontró significancia en las variables germinación y vigor de plántula estudiadas.

En la comparación de medias (Cuadro 5), se observa que para la variable porcentaje de germinación, 23 de las 25 familias presentaron valores estadísticamente superiores; de este grupo, las cuatro familias sobresalientes fueron la 153, 48, 24 y 119 con porcentajes de 99, 99, 99 y 100, respectivamente. Las familias con porcentajes significativamente inferiores fueron la 284 y 237. Los resultados de germinación obtenidos fueron bastante aceptables, pues el menor valor superó el 94 %. En cuanto al peso seco de plántula, con excepción de cinco familias (207, 264, 237, 262 y 178), las restantes presentaron estadísticamente el mismo peso; de ellas, las cinco numéricamente sobresalientes fueron las familias 153, 181, 125, 76 y 48 con valores de 5.26 a 5.73 gramos.

La longitud del hipocótilo varió de 4.1 a 5.7 cm, correspondiendo los mayores valores a las familias 76 y 24; en tanto que el menor valor (4.1) lo presentó la familia 265. La comparación de valores medios para longitud de epicótilo separó nueve grupos de significancia; en el primero se incluyeron las familias 76 y 125 con 7.8 y 8.3 cm, respectivamente. Por su parte, la familia 264 presentó el menor valor del último grupo de significancia.

DISCUSIÓN

Efecto de la fertilización foliar y densidad de población en el rendimiento de semilla y sus componentes

Diversos trabajos en frijol y soya, como los efectuados por Gray (1977), Chonay (1981), Singh *et al.* (1989), Henson y Bliss (1991) y Escalante (1994), indican que hay un aumento significativo del rendimiento de semilla al aplicar nitrógeno, fósforo o ambos, tanto en forma foliar como en el suelo en diferentes etapas fenológicas del cultivo. Sin embargo, Boote *et al.* (1978), Vasilas *et al.* (1980), Chonay (1981) y Durán *et al.* (1991) señalan que con fertilizaciones foliares, los mayores aumentos en el rendimiento se dan con aplicaciones de nitrógeno en el periodo de llenado de grano, debido a que se reemplaza la fijación del nitrógeno por las bacterias *Rhizobium* y se suplen las necesidades de traslocación del nitrógeno de las hojas hacia la semilla. También se debe a la baja tasa de absorción de nitrógeno por las raíces y al retraso de la senescencia de la hoja.

Por su parte, Boote *et al.* (1978) y Randall *et al.* (1985) presentan resultados que concuerdan con los obtenidos en este trabajo (Cuadro 1); en el sentido de que no siempre la fertilización foliar causa un aumento en el rendimiento de

semilla de frijol y sus componentes; vainas por planta y semillas por vaina (Cuadro 2); esto tal vez se debe a que la dosis de fertilizante aplicado no fue suficiente para obtener una respuesta positiva o porque el momento de la aplicación no fue el adecuado.

Si bien en la presente investigación se observó un incremento significativo del rendimiento de semilla al aumentar la densidad de población (Cuadro 3), es importante remarcar que, numéricamente, este aumento aproximadamente fue de sólo 200 kg ha⁻¹. Esto indica que los genotipos de frijol de hábito indeterminado estudiados (tipo III), están sujetos a un mayor estrés competitivo en una alta densidad de plantas. Lo anterior se corrobora por el hecho de que tanto el número de vainas por planta como el número de semillas por vaina fueron mayores en la densidad baja (Cuadro 3). Resultados similares han sido obtenidos por Aguilar *et al.* (1984) y Lovett (1992), lo que sugiere que el aumento observado en el rendimiento se debe más bien al mayor número de plantas por unidad de superficie, que a un efecto positivo en los componentes del rendimiento estudiados.

Las diferencias en el potencial de rendimiento de semilla y sus componentes, entre las familias de frijol, indican que existe variabilidad genética para dichos caracteres; al menos bajo las condiciones en las que se desarrolló el trabajo. Consecuentemente, es posible una discriminación de familias poco rendidoras y la selección de las superiores, considerando tanto la producción comercial de grano como la producción de semilla.

La significancia en la interacción Fertilización foliar x Densidad de población para la variable rendimiento, indica la necesidad de estudiar los niveles de un factor en presencia de cada uno de los niveles del otro factor.

Calidad física y sanitaria de la semilla

Debido a que los resultados obtenidos en la prueba de pureza física dependen fundamentalmente del control de malezas y plantas fuera de tipo en el campo, y de la eficiencia durante la cosecha, trilla y limpieza de la semilla, es lógico pensar que la adición de nutrimentos al cultivo no influencia la proporción de los contaminantes encontrados en la muestra de trabajo; lo cual se confirma con los resultados obtenidos, al no observar una relación entre el porcentaje de semilla pura, semilla de otras variedades y materia inerte con los niveles de fertilización foliar.

Los valores de peso volumétrico de la semilla superaron el valor de 75 kg hl⁻¹ que es el establecido como mínimo para frijol por el SNICS-SAG (citado por Moreno, 1984). Esto confirma el buen manejo agronómico y las condiciones ambientales favorables en las que se desarrolló el cultivo; las cuales son clave para obtener alta cantidad y calidad de semilla de frijol. Las diferencias en el peso volumétrico entre las familias indican que existe variabilidad genética para este carácter, por lo que debe utilizarse como criterio de selección en el proceso de mejoramiento genético del frijol.

El hecho de no haber encontrado diferencias en el peso de 1000 semillas entre los niveles de fertilización foliar, parece indicar que la fertilización aplicada al suelo fue suficiente para mantener un nivel nutrimental adecuado de la planta en las 25 familias. Esto permitió que durante el desarrollo y maduración de la semilla, la cantidad de nutrimentos no fuera un factor limitante. Resultados contrarios han sido reportados por Singh *et al.* (1989) y Henson y Bliss (1991). Las diferencias observadas en esta variable entre las familias, son un indicador de que el componente genético es de importancia fundamental en la expresión de dicha caracterís-

tica; en consecuencia, debe ser considerado como criterio de selección en el mejoramiento genético del frijol.

La principal razón de que la semilla de las familias estudiadas se haya manchado en algún grado por la incidencia de patógenos, se debe al hábito de crecimiento (indeterminado postrado); ya que por su arquitectura, algunas vainas quedan en contacto con el suelo (Nienhuis y Singh, 1985). A pesar de presentar el mismo hábito de crecimiento, hubo diferencias entre las familias, especialmente la número 76 que reportó el mayor porcentaje de semilla manchada, debido a un alto número de vainas que se ubicó en la parte baja de la planta.

Germinación y vigor en invernadero

La germinación y los parámetros de vigor (VE, LH, LE y PSP) no fueron afectados por los niveles de densidad de población ni por la fertilización foliar, en ninguna de las 25 familias (Cuadro 4); lo cual sugiere que, tanto la no aplicación del fertilizante foliar como el incremento del 100% en el número de plantas por hectárea, no afectaron el desarrollo y maduración de la semilla, ya sea porque los niveles aplicados no fueron los adecuados o porque su efecto interactuó con otros factores como son el ambiente, la nutrición inicial de la planta, el estado de madurez al momento de la cosecha, escaso deterioro en el campo y almacén, entre otros.

A excepción de la velocidad de emergencia y el porcentaje de emergencia; se observaron claras diferencias en las variables germinación y vigor de plántula entre familias. Esto concuerda con lo señalado por Moreno (1984), quién menciona que una de las causas de la variabilidad en el vigor de las semillas es el genotipo. Además, señala que el vigor es de importancia entre los

productores y usuarios de las semillas agrícolas, ya que la calidad está determinada principalmente por la germinación y el establecimiento de las plántulas en el campo.

La falta de significancia en las interacciones entre los factores familias, fertilización foliar y densidad de población, para la variables germinación y vigor (Cuadro 4), permite inferir que los niveles de los factores en estudio afectaron por igual la germinación y el vigor de plántula en la familias de frijol evaluadas.

CONCLUSIONES

En el rendimiento de semilla, vainas por planta y semillas por vaina, el componente genético fue el más importante en la expresión de dichas características.

El rendimiento de semilla no respondió a la fertilización foliar; en tanto que el número de vainas por planta y de semillas por vaina fue disminuido.

Al duplicar la densidad de población de 62,500 a 125,000 plantas por hectárea, se incrementó el rendimiento de semilla en aproximadamente 200 kg; pero disminuyó el número de vainas por planta y semillas por vaina

La ausencia de significancia en las interacciones fertilización x familias y familias x densidad, indica que para producir semilla de las familias en estudio, que eventualmente pudieran llegar a liberarse como variedades, es posible adoptar las mismas fórmulas de producción generadas para la producción comercial de grano sin que sea necesario generar fórmulas específicas para cada familia.

En general, los porcentajes de semilla pura y materia inerte, concordaron con los valores establecidos como tolerancia de laboratorio para

semilla certificada de frijol. Por su parte, los porcentajes de semilla de otras variedades, resaltaron la importancia de las mezclas mecánicas como fuente de contaminación genética en la producción de semillas.

El peso volumétrico, peso de 1000 semillas y porcentaje de semilla manchada por hongos, fueron determinados en gran parte por el genotipo.

La calidad fisiológica de la semilla, referida al porcentaje de germinación, peso seco de plántula, longitud de hipocótilo y epicótilo, no se afectó por los niveles de densidad de población y fertilización; no así entre familias, donde el genotipo jugó un papel importante.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar F., E., F. Díaz M. y D.R. Laing. 1984. Efecto de la densidad de siembra sobre algunas características morfológicas y el rendimiento en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Turrialba 34: 55-61.
- Boote, K.J., R.N. Gallaher, W.K. Robertson, K. Hinson and L.C. Hammond. 1978. Effect of foliar fertilization on photosynthesis, leaf nutrition, and yield of soybeans. *Agronomy Journal*. 70: 787-791.
- Chonay P., J.J. 1981. Efecto de la fertilización foliar sobre la compensación de la fijación biológica de nitrógeno por *Rhizobium phaseoli* en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 107 p.
- Copeland, L. O. and M. B. McDonald. 1995. Principles of Seed Science and Technology. Chapman & Hall. New York, N.Y. pp: 153-180.
- Durán R., A., J. Rodríguez R. y G. Arcos C. 1991. Fertilización foliar nitrogenada en frijol. IV Reunión anual agropecuaria y forestal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y

- Pecuarias (INIFAP). Veracruz, México. pp. 28-34.
- Escalante E., L.E and J.A.S. Escalante E. 1982. Plant population density, yield and yield components in two varieties of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Ann. Report Bean Improv. Coop. pp: 67-68.
- Escalante E., J.A. 1994. Yield components of *P. vulgaris* L. and their response to phosphorus. Ann. Report Bean Improv. Coop. 37: 183-184.
- García R.,L. and J.J. Hanway. 1976. Foliar fertilization of soybeans during the seed-filling period. Agronomy Journal. 68: 653-657.
- Gray, R.C. 1977. Results of foliar fertilizer application studies. Bulletin National Fertilizer Development Center. 115: 54-58.
- Henson, R.A. and F.A. Bliss. 1991. Effects of N fertilizer application timing on common bean production. Fertilizer Research 29: 133-138.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 1991. El sector Agropecuario en México. Comisión Nacional de Alimentación. México, D.F. 329 p.
- ISTA (International Seed Testing Association). 1993. International Rules For Seed Testing. Seed Sci. Technol. 21: 299-355.
- Lovett, D.J. 1992. The influence of plant density on flower, fruit, and leaf demography in bush bean, *Phaseolus vulgaris*. Can. J. Bot. 70: 958-964.
- Martínez G., A. 1988. Diseños Experimentales: Métodos y Elementos de Teoría. Ed. Trillas. México, D.F. 756 p.
- Moreno M., E. 1984. Análisis Físico y Biológico de Semillas Agrícolas. UNAM. México, D.F. 383 p.
- Nienhuis, J. and S.P. Singh. 1985. Effects of location and plant density on yield and architectural traits in dry beans. Crop Sci. 25:579-584.
- Randall, G.W., K.L. Wells and J.J. Hanway. 1985. Modern techniques in fertilizer application. In: Fertilizer technology and use. Engelstad, O.P. (Ed.). 3rd. Ed. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin USA. pp: 521-560.
- Rodríguez V., J. 1990. México y su Agricultura. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 136 p.
- Singh, S.P. C.A. Urrea J.A. Gutiérrez, and J. García. 1989. Selection for yield at two fertilizer levels in small-seeded common bean. Can. J. Plant Sci. 69:1011-1017.
- Singh, S.P. and J.A. Gutiérrez. 1990. Effect of plant density on selection for seed yield in two population types of *Phaseolus vulgaris* L. Euphytica 51:173-178.
- Valdés V., J., M.A. Valdés S. y M.J. García. 1985. Influencia de la densidad de población sobre los rendimientos y sus principales componentes en el cultivo del frijol negro (variedad ICA-Pijao línea 32). Centro Agrícola 12:117-126.
- Vasilas, B.L., J.O. Legg and D.C. Wolf. 1980. Foliar fertilization of soybeans: absorption and translocation of N-labeled Urea. Agronomy Journal. 71:271-275.
- Voyses, O. y D. Pachico. 1991. Análisis de la problemática de la producción y suministro de semillas de frijol en América Latina. In: Segunda Reunión de Leguminosas de Grano de la Zona Andina. 24 - 29 de Junio. CIAT. Cali, Colombia. pp: 101-110.