

LA PLASTICIDAD FENOTIPICA DE FRIJOL ARBUSTIVO DETERMINADO *Phaseolus vulgaris* L.

phenotypic plasticity of bush bean with determinate growth habit

Guillermo Vargas A.¹, Germán Corchuelo R.²

Keywords

genotype x environment interactions, yield, heritability

INTRODUCCION

Un aspecto importante en el rendimiento de las plantas es el relacionado con el producto de la interacción entre el genotipo y el ambiente, el cual se manifiesta a través de procesos fisiológicos. Es decir, que el rendimiento es la expresión fenotípica de interés antropocéntrico (Kohashi-Dhibata, 1979).

En el caso de frijol, el rendimiento está determinado, entre otros factores por el índice de área foliar (IAF), la duración del área foliar (AF) y la retención de flores, factores que permiten la mayor formación de vainas y el tamaño de las mismas; del último componente depende el número de granos. (Westerman y Crothers, 1979; Chaparro y Moreno, 1982).

Para Westerman y Crothers (1977), la habilidad del rendimiento potencial se afecta básicamente en los componentes primarios y secundarios del rendimiento; los primarios son número de vainas por planta (NVP), número de granos por vaina (NGV) y por planta (NGP) y el tamaño de la semillas; los secundarios son los componentes de formación de las vainas, como número de nudos por rama, número de racimos por nudo y número de vainas por racimo (Buttery, 1969; Hogdson y Blackman, 1956).

La estabilidad de la producción final se puede deber a la estabilidad inherente del cultivo o puede presentarse por la plasticidad de las plantas a la densidad de población, ya que, al modificar, se puede establecer un dosel más rápidamente y, así, se logra un mayor peso seco del cultivo y un rendimiento superior al alcanzado con espaciamientos más amplios (Donald, 1963).

Para Bradshaw (1964), la expresión de un genotipo individual puede ser modificada por su ambiente y la cantidad en la cual puede ser cambiada es llamada plasticidad.

Como una respuesta plástica puede ser debida a una alteración que la expresión génica por el ambiente (Levis, 1986), la comprensión de la plasticidad es un aspecto fundamental, tanto en la estructura de la teoría de la evolución como en los programas de mejoramiento vegetal (Via, 1988).

Si se entiende la plasticidad como la capacidad de un genotipo a variar fenotípicamente bajo diferentes ambientes, los diferentes órganos y estructuras de una planta presentan distinto grado de variación o plasticidad a nivel de la planta completa; por lo tanto, una variedad de frijol muy plástica responderá con fuertes cambios morfológicos o fisiológicos a una variación del ambiente, causando estrés o agobio en la planta (Levin, 1986).

Como, en frijol, la densidad de plantas constituye una clase de estrés espacial, ya que alcanza su mayor nivel en el momento en que la máxima área foliar coincide con la fase reproductiva temprana, no sólo se verán afectados los componentes primarios del rendimiento, sino, también, los componentes de formación de la vaina (nudos por rama, racimos por nudo y vainas por racimo). Como consecuencia, los últimos se reducen significativamente por el incremento del número de plantas por unidad de área (Buttery, 1964; Hogdson, 1956).

¹ Ingeniero Agrónomo, M.S. Corpoica, Santafé de Bogotá.

² Profesor. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia

Montalvo (1961) manifiesta que, en frijol, la densidad de siembra mayor o igual a 30 Kg - Ha⁻¹ provoca competencia entre plantas, presentando disminución en el número de vainas y de granos por planta. Bennet, *et al.* (1977) encontraron que el número de vainas por planta es el componente primario de la producción más sensible a altas densidades de siembra, como producto de la alta plasticidad de los componentes de formación de la vaina. En otro estudio, Lehman y Lambert (1960) determinaron que los componentes del rendimiento de tamaño de semilla y número de semillas por vaina presentaron baja sensibilidad a la competencia entre plantas.

Duarte y Adams (1972) aplicaron en frijol la metodología del coeficiente de vía para determinar los efectos directos e indirectos del número de semillas por vaina y el peso de las semillas sobre los demás componentes y encontraron que el NVP ejerce un efecto significativo sobre el rendimiento y que el número de hojas estuvo altamente asociado con el tamaño de las semillas.

En variedades arbustivas tempranas de hábito determinado, el mayor rendimiento se produce por el elevado número de plantas que compensa el menor número de vainas por planta (Weber, Shibles y Byth, 1966; Thompson, 1991 y Hicks y Pendleton, 1969). El componente que mostró mayor estabilidad fue el de semillas por vaina y, sólo, en ciertas variedades puede ser afectado por los factores que hacen variar el número de vainas por planta. (Lehman y Lambert, 1960).

Con la presente investigación, se pretendió determinar la plasticidad de los componentes primarios del rendimiento e igualmente, se propuso caracterizar la variación del rendimiento agronómico por efecto de la densidad de población.

MATERIALES Y METODOS

Para lograr los objetivos planteados, se realizó el trabajo de campo del experimento en la granja Marengo de la Universidad Nacional de Colombia, entre el segundo semestre de 1992 y los meses de enero a marzo de 1993, ubicada en el Municipio de Mosquera, Departamento de Cundinamarca, a 2640 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 14°C y una precipitación fluvial media anual de 660 mm.

Los genotipos estudiados fueron desarrollados por el ICA y son: el Genotipo ICA-CERINZA, el cual es producto del cruce entre (Ant.10 x L.3043) x (Uribe R. x Sánchez) y el genotipo L-34103, producto del cruce entre Ant.17 x ICA-GUALI.

Los dos genotipos se probaron en siete densidades de población, entre 50.000 y 350.000 plantas Ha⁻¹, en una localidad de la Sabana de Bogotá.

El diseño experimental utilizado fue de parcelas divididas con tres replicaciones, en el cual los genotipos fueron las parcelas principales y las densidades de población, las subparcelas.

Cada unidad experimental o tratamiento estuvo conformado por un número específico de plantas y de surcos por parcelas, lo cual dependió del tratamiento. La longitud de cada surco fue de 3,60 m y el área de la parcela, de 12,96 m².

Las variables estudiadas en los componentes del rendimiento fueron: número de vainas y número de granos por planta, número de granos por vaina y tamaño de la semilla y peso de 100 granos.

Los rendimientos agronómicos evaluados fueron: por planta (RAP), medidos en gramos (g) y por parcela (RAPA), es decir, en 12,96 m², medidos en kilogramos.

Otros parámetros evaluados por unidad experimental, cuando la planta alcanzó el 70% de la floración verdadera, fueron: área foliar en cm², empleando un integrador de área foliar LI-COR 3100 y, sólo, se consideró un lado de la lámina foliar. El índice de área foliar (IAF), que relaciona el área foliar del cultivo con el área de terreno sobre la cual se encuentra y que representa el número de capas de área foliar desplegada en el cultivo por unidades de área cultivada, el cual se calculó por la fórmula de Watson y descrita por Hunt (1990). El peso seco total de la planta incluyó, como biomasa, tallos, hojas y estructuras reproductivas.

El análisis estadístico se realizó con el programa Statical Analysis System (SAS) en el centro de computo de la Sección de Biometría del ICA.

En el proceso de análisis de resultados, se empleó la siguiente metodología estadística: Prueba de normalidad (Univariate); análisis de varianza; análisis de regresión; comparación de promedios

por polinomios ortogonales (PROC-GLM) y análisis de correlación.

RESULTADOS Y DISCUSION

Componentes del rendimiento.

Número de vainas por planta (NVP): El análisis de varianza presentó diferencias altamente significativas por el efecto de la densidad de población, mas no, por efecto del genotipo; el coeficiente de variación fue de 14,2%.

En la comparación de promedios por polinomios ortogonales, la variable NVP presentó una tendencia lineal negativa y significativa, por efecto de la densidad de población, pues a mayor número de plantas por unidad de área el NVP fue menor.

En los dos genotipos, el promedio de NVP, mostró diferencias marcadas entre las poblaciones extremas y la intermedia. Específicamente, entre las poblaciones de 50.000 y 350.000 plantas Ha^{-1} , comparadas con la población de 200.000 plantas Ha^{-1} , la diferencia fue de un 40%.

Con base en la variación de este componente, se realizó un análisis de regresión y se determinó el grado de variación del NVP por efecto de la densidad de población, medido con el coeficiente de regresión, el cual presentó valores de -2,40 y -2,18 para los genotipos ICA-CERINZA y L-34103, respectivamente; los valores de la regresión permitieron determinar la sensibilidad del NVP por efecto de la densidad de población, es decir, que presentó plasticidad. (Gráficas 1 y 2).

A medida que la población aumentó, el área foliar por planta disminuyó, es decir, que un menor tamaño de la fuente se asoció con las demandas efectivas (NVP), las cuales se reducen en la misma proporción. Bennet et al. (1977) aseguran que el NVP es el componente de la producción más sensible a altas densidades de población, es decir, que el componente del rendimiento NVP presenta plasticidad fenotípica, o sea, que, a medida que ocurre un aumento en la competencia entre plantas, éste decrece debido a la alta sensibilidad de los componentes de formación de la vaina a las altas densidades de población.

El análisis de correlación entre el NVP y el AF y la biomasa, cuando la planta alcanzó el 70% de la floración verdadera, presentó coeficientes de correlación de 0,88 y 0,86, respectivamente, lo

cual permite visualizar en frijol arbustivo la asociación entre los componentes fuente-demanda.

Número de granos por vaina (NGV): El análisis de varianza no mostró diferencias significativas por efecto de la densidad de población, ni por efecto de los genotipos; el coeficiente de variación fué de 5,58%.

El análisis de la tendencia de los promedios por polinomios ortogonales muestra que el componente NGV por efecto de la densidad de población presenta una respuesta lineal positiva, pero no significativa, debido a que no se observaron diferencias entre el promedio de NGV para los diferentes tratamientos, lo cual indica la poca sensibilidad a la competencia entre plantas.

El análisis de regresión entre el NGV y la densidad de población, sólo, presentó una pequeña variación. Los coeficientes de regresión de 0,018 y 0,010 para ICA-CERINZA y L-34103, respectivamente, indican que éste componente es poco sensible a los cambios del ambiente, lo cual determina que no es plástico. El resultado concuerda con lo expuesto por Lehman y Lambert (1960), quienes afirman que el número de granos por vaina es un componente que no se afecta por la competencia producida por los cambios en la densidad de población y, lo manifestado por Kohashi (1979), quien atribuye, poca variación del NGV a la alta domesticación del frijol arbustivo determinado.

El análisis de correlación entre NGV y AF y la biomasa, cuando la planta alcanzó el 70% de la floración verdadera, presentó un bajo grado de asociación, lo cual permite definir que, aunque se incrementa el área foliar y el peso seco total de la planta, no necesariamente aumenta el NGV.

Número de granos por planta (NGP): Al realizar el ANOVA, el componente NGP no presentó diferencias significativas entre genotipos, pero sí mostró diferencias altamente significativas por efecto de las densidades de población; el coeficiente de variación fué de 15,88%.

Al evaluar la tendencia de los promedios por polinomios ortogonales se encontró una respuesta lineal negativa y significativa, lo cual explica como el NGP disminuyó proporcionalmente, con el aumento de la población de plantas por unidad de área.

Los coeficientes de regresión altamente significativos, obtenidos entre la relación de NGP y la densidad de población en los dos genotipos ICA-CERINZA= -6,47 y L-34103= -5,94 (gráficas 1 y 2), muestran que, a mayor densidad de población, es menor el NGP, lo cual es producido por la reducción del número de demandas efectivas, ya que, al incrementarse el número de plantas por unidad de área, es menor el número de ramas y de yemas reproductivas (demandadas potencialmente). Se puede afirmar que el NGP es el resultado del NVP y el NGV, los cuales constituyen el número de demandas efectivas.

La variación del NGP, obtenida con el coeficiente de regresión, indica la plasticidad fenotípica de éste componente en los dos genotipos estudiados.

Las altas correlaciones que se presentaron entre el NGP y el AF y la biomasa ($r=0,75$ y $r=0,80$) indican que, a mayor área foliar y biomasa, es mayor el número de granos por planta.

Tamaño de la semilla (peso de cien granos, PCG): el análisis de varianza no presentó diferencias significativas entre genotipos, como, tampoco, por efecto de la densidad de población; el coeficiente de variación fue de 6,23%.

El análisis de la tendencia de los promedios por polinomios ortogonales presentó una respuesta lineal positiva y no significativa.

El análisis de regresión, para determinar el grado de variación del PCG por efecto de la densidad de población, presentó una relación lineal positiva, con coeficientes de regresión de 0,039 y 0,256 para ICA-CERIZA y L-34103, respectivamente, con los cuales se explica la poca variación de éste componente y, por consiguiente, la no plasticidad fenotípica del PCG.

Los coeficientes de correlación entre el PCG y el AF y la biomasa, cuando la planta alcanzó el 70% de la floración verdadera ($r=0,108$ y $r=0,11$), muestran que no existe asociación entre éstos, lo cual responde más a factores genéticos que a las variaciones por efecto del ambiente; ésto se explica con la estabilidad fenotípica que presentan los materiales experimentados.

Los resultados obtenidos coinciden con la afirmación hecha por Lehman y Lambert (1960), quienes manifiestan que el tamaño de la semilla no se afecta por la variación producida por la

competencia entre plantas. Igualmente, Kohashi-Shibata (1979) manifiesta que, en frijol, el tamaño de semilla es un componente del rendimiento no plástico y, por ello, cuando ocurre una variación en el ambiente, no manifiesta fuertes cambios morfológicos ni fisiológicos.

Rendimiento agronómico por planta (RAP).

El análisis de varianza no presentó diferencias significativas del RAP entre genotipos, mientras que, por efecto de la densidad de población, las diferencias fueron altamente significativas. El genotipo ICA-CERINZA, sólo, presentó 1,6% más de RAP que el genotipo L-34103.

El análisis de los promedios por polinomios ortogonales presentó una respuesta lineal negativa y altamente significativa, lo cual permite observar la reducción del RAP al aumentar la densidad de población (Gráficas 3 y 4).

En los dos genotipos, el RAP fue superior en el tratamiento de menor densidad de plantas (50.000), con un promedio superior al 46% al tratamiento de mayor densidad de población (350.000 plantas Ha⁻¹). En el promedio de los dos genotipos, los tratamientos 1 y 2 presentaron un comportamiento similar, superando en un 30% a los tratamientos 3 y 4 y, en un 46% a los tratamientos 5; 6 y 7.

Estos resultados concuerdan con lo hallado por Montalvo (1961), quien trabajó con frijol y frijol soya de crecimiento arbustivo determinado y concluyó que las altas densidades de población reducen significativamente el área foliar y la biomasa por planta y, así, se reduce el número de ramas y el número de yemas reproductivas (demandas potenciales), afectando el rendimiento efectivo por planta (RAP).

Rendimiento agronómico por parcela (RAPA)

Es el rendimiento obtenido en 12,96 m². En el promedio de los dos genotipos, el RAPA se incrementó de 0,974 Kg (tratamiento 1= 50.000 plantas Ha⁻¹) hasta 4,471 Kg. (tratamiento 6= 300.000 plantas Ha⁻¹). Para la densidad de 350.000 plantas Ha⁻¹, el RAPA decreció en un 4,3%.

El ANOVA para el RAPA mostró diferencias significativas entre genotipos y altamente significativas por efecto de la densidad de

población; también, se observaron diferencias significativas para la interacción genotipo por densidad. El coeficiente de variación para el RAPA fué de 8,41%.

En el estudio de la tendencia de los promedios por polinomios ortogonales, resultaron altamente significativas las tendencias lineal y cuadrática para los dos genotipos; ésto se asume como respuesta de la tendencia de mayor grado (cuadrática) para efectos del análisis de regresión.

En la presente investigación, el RAPA en frijol arbustivo tuvo una tendencia a incrementarse linealmente hasta la densidad de 300.000 plantas Ha^{-1} para, luego, decrecer. Esto sugiere que se presentó una alta intercepción de luz y, por lo tanto, una mayor utilización de energía a medida que se incrementó el número de plantas por unidad de área. De hecho, a mayor densidad de población se logra una distribución uniforme del área foliar lo cual se manifiesta en un mayor IAF hasta alcanzar una situación óptima, en la cual se obtiene la máxima intercepción de radiación fotosintéticamente activa (RFA); una densidad superior de plantas tiende a disminuir su rendimiento por efecto de la competencia entre plantas por luz, espacio y nutrientes.

Lo anterior concuerda con lo planteado por Buttery (1969), quien establece que la mayoría de energía necesaria para la fotosíntesis la interceptan mejor las plantas o cultivos a mayor densidad de población; igualmente, Donald (1963) explica cómo el máximo de la curva del RAPA ocurre cuando éste tiene un IAF óptimo y el rendimiento biológico de un IAF crítico, o sea, que a esta densidad de plantas cualquier ganancia debida a la adición de plantas es baja, debida a la disminución en el peso de la planta.

El análisis de regresión entre el RAPA y la densidad de población mostró un comportamiento cuadrático en los dos genotipos. Esto explica que el RAPA se inició con un incremento lineal positivo hasta alcanzar un rendimiento máximo, lo cual ocurrió con 300.000 plantas Ha^{-1} , y, a partir de ésta el rendimiento, decreció; así, se comprende la tendencia cuadrática que se manifiesta en el rendimiento agronómico por unidad de área en las especies vegetales, cuando, por factores bióticos de competencia de plantas, el rendimiento se mantiene o tiende a decrecer.

Los coeficientes de regresión para el genotipo ICA-CERINZA fueron $1,734 X$ y $-0,147 X^2$, y para el genotipo L-34103 fueron $1,366 X$ y $-0,115 X^2$, los cuales sugieren un incremento más rápido del RAPA para el primer genotipo, a medida que se incrementa la densidad de población (Gráficas 3 y 4).

La alta asociación entre RAPA y el IAF ($r=0,96$) indica que, a mayor IAF, es mayor el RAPA; un IAF alto implica una mayor cobertura del suelo y, por lo tanto, una mayor intercepción de luz, lo cual se traduce en un mayor rendimiento agronómico por unidad de área.

CONCLUSIONES

De los resultados de la presente investigación, se puede llegar a la conclusión de que los componentes del rendimiento que presentan plasticidad, es decir, número de vainas por planta y número de granos por planta, son importantes para los programas de mejoramiento genético, ya que, dada su variabilidad, a diferentes condiciones ambientales, constituyen un factor importante para la selección de materiales promisorios.

LITERATURA CITADA

1. BENNET, J.P.; M.W. ADAMS y C. BURGA. 1977. Pod yield component variation and intercorrelation in *Phaseolus vulgaris* L., as affected by planting density. *Crop Science*, vol 17.
2. BRADSHAW, A.D. 1994. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. Department of Agricultural Botany, University College of North Wales, Bangor, Wales and Department of Agronomy, University of California; Davis, California.
3. BUTTERY, R.B. 1969. Effects of plants population and fertilizer on the growth and yield of soybeans. *Cann. Plant. Science*, vol 49.
4. CHAPARRO, F. y F. MORENO. 1982. Influencia de los elementos climáticos en el desarrollo del frijol. Tesis para Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía, Universidad de Caldas. Manizales.

5. DONALD, C.M. 1963. Competition among crop and pasture plants. *Advances Agronomy*.
6. DUARTE, R.A. and M.W. ADAMS. 1972. A path coefficient analysis of some yield component interrelations in field beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Science* vol 12.
7. HICKS, D.N. and J.W. PENDLETON. 1969. Effects of gloral bud renewal on performance of soybeans. *Crop Sciene* 5(4).
8. HUNT, R. 1990. Basic growth analysis. A plant growth analysis for begginers.
9. HOGDSON, G.L. y G.E. BLACKMAN. 1956. An analysis of the influence of plant density in the growth of *Vicia faba*. The influence of density on the pattern of development. *J. Exp. Bot.* 7.
10. KOHASHI-SHIBATA, J. 1979. Contribuciones al conocimiento del frijol (*Phaseolus*) en México. Colegio de Posgraduados, Chapingo, México.
11. _____. 1990. Aspectos de la morfología y fisiología del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y su relación con el rendimiento. Centro de Botánica - Colegio de Posgraduados, Chapingo - Montecillo. México.
12. LEHMAN, W.F. y J.W. LAMBERT. 1960. Effects of spacing of soybean plant between and within rows in yield and its componets. *Agron. Jorunal*, vol 52 (1).
13. LEVIN, D.A. 1968. In plant population. *Ecology*. Blackwell Scientific publications.
14. MONTALVO, R. 1961. Densidad de siembra en el cultivo de frijol. 5a. Reunión Latinoamericana de Fitotécnica. Buenos Aires.
15. THOMPSON, J.A. 1991. Modelos de le evolución de la plasticidad fenotípica. *Tree*.
16. VIA, S. 1988. Models of the evolution phenotypic plasticity. *Tree*. Vol 7.
17. WEBER, SHIBLES, BYTH. 1966. Effect of plant population and low spacing on soybean developoment and produccion. *Agronomy Jorunal*, v. 57.
18. WESTERMAN, D.T. y S.C. CROTHERS. 1977. Plant population effects on the seed yield components of beans. *Crop Science*, vol 17.
19. WHITE, J. y J. IZQUIERDO. 1989. Frijol: Fisiología del potencial dl rendimiento y la tolerancia al estrés. Oficina Regional de la FAO para la America Latina y el Caribe, Santiago de Chile.