

María del Socorro Cerón L.<sup>1</sup>  
 Gustavo Ligarreto M.<sup>2</sup>  
 José Dilmer Moreno M.<sup>1</sup>  
 Orlando Martínez W.<sup>3</sup>

## Selección de variables cuantitativas y clasificación de 22 accesiones de frijol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.).

### ABSTRACT

#### Selection of quantitative variables and classification of 22 accessions of shrubby bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

Evaluation of 22 collections and three tests of shrubby beans *Phaseolus vulgaris* L. from the germplasm bank of the Colombian Corporation of Agricultural Research (Corpoica), allowed the selection of variables to discriminate the existing variability and to identify the best accessions by means of quantitative morphological parameters and yield components. Variables with high heredability were chosen based on repeatability coefficients greater than one (Goodman and Paterniani, 1969); and as a result, 14 varieties out of 24 were selected. Analysis conducted by principal components showed that the first three components explained 88.49% of the total variation. Characters such as days to flowering, days to harvest, weight of 100 seeds, seeds for pod, length and wide of pod, canopy cover, number of knots, length of epicotile and hypocotile explained most of the total variation collections from the mesoamerican pool : Antioquia 21 (Tenzano), Cauca 34 and Tolima 16, as well as the Andean pool : Perú 5 (Poroto Largo) and Cundinamarca 148, presented the best agronomic performance and high genetic variability, and as a result, these collections were considered outstanding as source of genetic variability and for improvement programs.

*Index words:* Characterization quantitative, variability, collections, principal components, cluster analysis.

### RESUMEN

La evaluación de 22 colectas y tres testigos de frijol arbustivo procedentes del banco de germoplasma de Corpoica en Mosquera, Colombia, permitió seleccionar variables que discriminan la variabilidad existente e identificar las colectas sobresalientes por parámetros morfológicos cuantitativos y componentes de rendimiento. Se seleccionaron las variables de mayor heredabilidad representadas por coeficiente de repetibilidad  $r > 1$  (Goodman y Paterniani, 1969), de las 24 variables cuantitativas en estudio, 14 cumplieron esta condición, las variables descartadas fueron las del estado de plántula, área foliar y rendimiento. El análisis por componentes principales de las 14 variables retenidas mostró cómo los tres primeros componentes explicaron el 88.49% de la variación total, donde los caracteres: días a floración, días a cosecha, peso de 100 semillas, número de semillas por vaina, ancho y longitud de la vaina, altura de cobertura, número de nudos, y longitud de epicotilo e hipocotilo fueron los que más aportaron a dicha variación. Las colectas del acervo Mesoamericano: Antioquia 21, Cauca 34 y Tolima 16, y del acervo Andino: Perú 5 (Poroto Largo) y Cundinamarca 148; presentaron el mejor comportamiento agronómico y alta variabilidad genética, por lo cual se consideran de importancia en la conservación de su variabilidad y como posibles progenitores.

*Palabras claves:* Evaluación cuantitativa, variabilidad, colectas, componentes principales, análisis de conglomerados.

### INTRODUCTION

EL FRÍJOL común (*Phaseolus vulgaris* L.), es la leguminosa más importante en la dieta de la población de América Latina y África por su alto contenido de proteínas y carbohidratos (Castiñeiras y Rivero 1988) y se estima que el 30% de la producción mundial de esta leguminosa proviene de dichas áreas (Voyses, 1991). A pesar de esto, un gran número de los productores de frijol en el trópico y subtropico de América Latina y África son pequeños agricultores, lo cultivan intercalado y en la mayoría de los casos para autoconsumo, su capital es limitado y el restringido acceso al crédito hace que disminuyan o no se utilicen insumos; además, se estima que más del 90% de la producción mundial de frijol se obtiene bajo condiciones de estrés por lo que los rendimientos actuales son bajos, menores de 600 kg./Ha. (Cardona *et al.*, 1995).

En Colombia, el consumo interno del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), es de 3.5 Kg/

hab/año y la producción es deficiente debido a limitantes relacionados con enfermedades, plagas, siembras en suelos de pendiente, baja fertilidad y factores climatológicos adversos, asociación con otros cultivos, áreas pequeñas para su producción como 0.5 a 4 hectáreas, problemas que afectan los rendimientos y que se agravan por los altos costos de producción, en especial por pesticidas y fertilizantes, los cuales no pueden ser adquiridos por los pequeños agricultores, siendo necesario importar la leguminosa. En 1995 hasta el mes de septiembre, se importaron 12.121,88 toneladas de frijol, cuyo valor fue de \$ 8.555.525 dólares (Comercio Exterior, Ministerio de Agricultura, 1996). La eficiencia de cualquier programa de mejoramiento se puede medir por su capacidad para generar variabilidad en la intensidad y en la dirección requeridas. Inicialmente se debe partir de la variación existente en las colectas locales o en los bancos de ger-

1. Investigadores Programa Agrícola Regional Uno y Programa Nacional de Recursos Genéticos y Biotecnología Vegetal, Corpoica, A.A. 240142, Las Palmas, Bogotá, Colombia.

2. Profesor Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, e-mail : galigarm@bacata.usc.unal.edu.co.

3. Profesor Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, A.A. 14400, Bogotá, Colombia.

moplasma nacionales e internacionales (Robles, 1986).

Una de las acciones más importantes en el manejo de germoplasma de algunos cultivos, es la medida y cuantificación de la variabilidad genética disponible en las especies. La investigación en agricultura puede estimar el potencial de las cosechas y sus limitaciones basadas en variabilidades producidas en los centros de domesticación y/u origen (Hidalgo, 1991). Para Martínez (1995), son numerosas las variables, caracteres o parámetros para observar y detectar la variabilidad presente en las colecciones. Otros parámetros como los marcadores genéticos reflejan la variabilidad debida principalmente a los genes. Los marcadores morfológicos de la planta de frijol, estudian los caracteres de cada órgano; su evaluación facilita una mejor comprensión de la planta en su totalidad, Debouck (1985).

La morfología de las especies se agrupa en caracteres constantes y variables que identifican la especie o la variedad, son de alta heredabilidad y sus efectos son debidos a pocos genes. Los caracteres variables se deben a la interacción genotipo por ambiente, y allí se pueden encontrar muchos genes interactuando (Weir, 1996). A su vez, Martínez, (1995) se refiere a los marcadores morfológicos-cuantitativos, como aquellos caracteres que son el resultado de los efectos combinados de muchos genes y el ambiente y para su evaluación se requiere de una medida de conteo.

El CIAT realizó un estudio de los descriptores, por medio del análisis por componentes principales de un conjunto de mil (1.000) accesiones de *Phaseolus vulgaris* L., en las condiciones de Palmira. Los resultados indican que sólo tres factores o componentes principales son necesarios para mostrar el 83% de la variabilidad total. El primer factor aportó el 40% de la variabilidad total, el cual incluía los siguientes caracteres: hábito de crecimiento, altura de planta, nudos a floración, racimos por planta, nudos a maduración, semillas por vainas y peso de 100 semillas. El segundo factor aportó el 29% de la variabilidad total que incluyó: longitud y ancho de hojas, grosor del tallo, rendimiento del material seco y rendimiento de semillas. El tercer factor describió solamente el 14% de la variación total e involucró caracteres como: longitud hipocótilo, días a floración, vainas por planta, racimos con vainas y duración de la floración. Este estudio ayudó a mejorar los procedimientos de caracterización a seguir (CIAT, 1979).

El objeto de esta investigación fue establecer una metodología que permitiera la clasificación de accesiones de germoplasma incluidos los efectos genético y ambiental, y establecer la variabilidad genética en 22 accesiones de frijol arbustivo según la similitud de caracteres vegetativos y/o reproductivos. Se espera que este conocimiento sea útil en la selección de progenitores para la obtención de un alto nivel de expresión estable de las características individuales mejoradas, que satisfagan a productores y a consumidores por sus condiciones agronómicas de calidad.

### Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, ubicado en el municipio de Mosquera, Departamento de Cundinamarca (Colombia), a 2550 msnm, con una temperatura promedio anual de 13°C, precipitación de 750 mm/año y una humedad relativa de 73%, con coordenadas de 4° 42' de latitud norte y 74° 12' de latitud oeste. La siembra del material en el campo se efectuó en los semestres A y B de 1994.

#### Materiales

Se utilizaron 22 colectas de frijol arbustivo y tres variedades mejoradas (Tabla 1), procedentes del Banco de Germoplasma de Corpoica constituido por 151 accesiones. El material experimental fue parte de la colección de trabajo que utilizó el ICA para la generación de poblaciones segregantes en el proceso de fitomejoramiento de la especie con hábito de crecimiento arbustivo y adaptación a clima frío.

#### Métodos

Durante los semestres A y B de 1994 se sembraron los materiales de frijol bajo condiciones de campo; se dejó una distancia de 72 cm entre surcos y 15 cm entre plantas, depositando una semilla por sitio. La unidad experimental fue conformada por tres surcos, de tres metros de largo con una población de 20 plantas por surco. Se llevaron a cabo las prácticas de manejo adecuadas al cultivo para el buen desarrollo de las plantas.

#### Diseño experimental

Se utilizó el diseño de bloques completos al azar con 25 tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos correspondieron a las colectas evaluadas (Tabla 1). El tamaño de la muestra de la población fue de quince (15) plantas por unidad experimen-

tal, excepto rendimiento y porcentaje de humedad, que se evaluaron en la unidad experimental total.

#### Evaluación morfo-agronómica

La evaluación se realizó con base en los descriptores desarrollados por el IBPGR (hoy IPGRI, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos) (1982), para la especie *Phaseolus vulgaris* L. como complemento a la adaptación realizada por el CIAT (1993). En la Tabla 2, se presentan los caracteres cuantitativos evaluados. Además de los caracteres medidos se calcularon las siguientes variables:

Area foliar hojas primarias=(longit hojas prim) (ancho hojas prim)\*0.75

Area foliolo central=(longt foliolo central) (ancho foliolo central)\*0.75

Número semillas/planta=(número semillas/vaina\*número vainas/planta)

Rendimiento por parcela=(peso parc.cosec) (100-%Ha)/85\*60/plantas cosechadas.

#### Análisis estadístico y selección de caracteres

Con los datos de las variables cuantitativas se realizó el análisis de varianza y la estimación de sus componentes, previa verificación de la normalidad del supuesto del modelo, y el coeficiente de repetibilidad. También, se analizó la estructura de correlación y se efectuaron análisis multivariados tales como: componentes principales y dendograma por medio del paquete estadístico SAS (SAS Institute, 1995). Como criterio de selección de los caracteres se utilizó el coeficiente de repetibilidad (r) sugerido por Goodman y Pateriani (1969), estimado a partir de los componentes de varianza y con expresión:

$$r = (\sigma_g^2 / (\sigma_e^2 + \sigma_{ge}^2)) > 1$$

Donde  $\sigma_g^2$  es estimador de las colectas,  $\sigma_e^2$  semestre y  $\sigma_{ge}^2$ , estima la interacción semestre por colectas.

Los componentes de varianza (Tabla 3), fueron obtenidos a partir del análisis de varianza, tomados de los cuadrados medios (M1, M2, M3 y M4), considerando los tratamientos y los efectos ambientales aditivos y el error experimental como efectos aleatorios, distribuyéndose en forma normal e independiente en torno a una media cero y con varianza común:

$$E_{ij} \sim NI(0, \sigma^2)$$

donde  $E_{ij}$  = Error experimental de la variable Y el cual tiene distribución nor-

**Tabla 1.** Accesiones de frijol estudiadas en los semestres A y B de 1994

| Numero de Orden | Identificación Colectas      | Acervo <sup>1/</sup> | Origen   |
|-----------------|------------------------------|----------------------|----------|
| 1               | Antioquia 10 Algarrobo       | A                    | Colombia |
| 2               | Antioquia 19 Estrada Redondo | A                    | Colombia |
| 3               | Antioquia 20 Pico de oro     | A                    | Colombia |
| 4               | Antioquia 21 Tenzano         | M                    | Colombia |
| 5               | Antioquia 27A Uribe Limoneño | A                    | Colombia |
| 6               | Boyacá 18                    | A                    | Colombia |
| 7               | Cauca 34                     | M                    | Colombia |
| 8               | Cundinamarca 148             | A                    | Colombia |
| 9               | Huila 5 Cuarentano           | M                    | Colombia |
| 10              | Nariño 7A Revoltura          | M                    | Colombia |
| 11              | Nariño 12 Sangretoro         | A                    | Colombia |
| 12              | Tolima 16                    | A                    | Colombia |
| 13              | Tolima 16B                   | M                    | Colombia |
| 14              | Tolima 17                    | A.                   | Colombia |
| 15              | Tolima 17-2                  | A                    | Colombia |
| 16              | Tolima 43 Sangretoro         | A                    | Colombia |
| 17              | México 171 Guanajuato        | A                    | México   |
| 18              | México 496                   | A                    | México   |
| 19              | México 497                   | A                    | México   |
| 20              | Perú 5 Poroto Largo          | A                    | Perú     |
| 21              | Perú 40                      | A                    | Perú     |
| 22              | Perú 154                     | A                    | Perú     |
|                 | <b>Testigos</b>              |                      |          |
| 23              | Diacol Andino                | A                    | Colombia |
| 24              | ICA Cerinza                  | A                    | Colombia |
| 25              | ICA Tundama                  | A                    | Colombia |

<sup>1/</sup> A=Andino , M=Mesoamericano

**Tabla 2.** Caracteres cuantitativos evaluados en 22 accesiones y tres testigos de frijol arbustivo para clima frío

| Caracteres                      | Unidad de medida |
|---------------------------------|------------------|
| 1. Epoca de emergencia          | Días             |
| 2. Longitud hipocotilo          | cm.              |
| 3. Longitud epicotilo           | cm.              |
| 4. Ancho hojas primarias        | cm.              |
| 5. Longitud hojas primarias     | cm.              |
| 6. Longitud foliolo central     | cm.              |
| 7. Ancho foliolo central        | cm.              |
| 8. Epoca a floración            | Días             |
| 9. Longitud tallo principal     | cm.              |
| 10. Altura de cobertura         | cm.              |
| 11. Nudos del tallo principal   | Número           |
| 12. Epoca a madurez fisiológica | Días             |
| 13. Epoca a cosecha             | Días             |
| 14. Longitud de vainas          | cm.              |
| 15. Ancho de vainas             | cm.              |
| 16. Longitud ápice de vainas    | cm.              |
| 17. Vainas por planta           | Número           |
| 18. Semillas por vaina          | Número           |
| 19. Peso de 100 semillas        | g.               |
| 20. Humedad del grano           | %                |
| 21. Peso de parcela             | g.               |
| 22. Area foliar hojas primarias | cm <sup>2</sup>  |
| 23. Area foliolo central        | cm <sup>2</sup>  |
| 24. Rendimiento por planta      | g                |

**Tabla 3.** Análisis de varianza y cuadrados medios esperados

| Fuente de variación | G.L. | C.M. <sup>1/</sup> | Cuadrado Esperado                          | Medio |
|---------------------|------|--------------------|--|-------|
| Rep(sem)            | 4    |                    |  |       |
| Semestre            | 1    | M4                 | $\sigma^2 + 3\sigma_{ge}^2 + 75\sigma_e^2$ |       |
| Colecta             | 24   | M3                 | $\sigma^2 + 3\sigma_{ge}^2 + 6\sigma_g^2$  |       |
| Semestre* Colecta   | 24   | M2                 | $\sigma^2 + 3\sigma_{ge}^2$                |       |
| Error Experimental  | 96   | M1                 | $\sigma^2$                                 |       |

<sup>1/</sup> Estimadores:  $\sigma^2 = M1$ ;  $\sigma_{ge}^2 = (M2-M1)/3$ ;  $\sigma_g^2 = (M3-M2)/6$ ;  $\sigma_e^2 = (M4-M2)/75$

mal e independiente con promedio cero y varianza constante. También, se hallaron los residuales y se verificó la normalidad del supuesto del modelo, en el caso de no normalidad para caracteres cuantitativos se realizó la transformación a rangos (Es-kridge, 1995; SAS Institute 1995).

Aquellos caracteres con coeficientes de repetibilidad mayores que uno, se consideran los más útiles; valores menores que uno indican que las diferencias son debidas principalmente a efectos ambientales e interacciones, que a diferencias entre accesiones. Los caracteres cuantitativos seleccionados por el coeficiente de repetibilidad mayor a uno, se estandarizaron en valores Z (Johnson y Wichern, 1988), eliminando así los efectos de las diferencias de magnitud entre variables, y aquellos

asociados a la escala de las unidades de medida. Sobre los datos estandarizados se realizó el análisis de componentes principales. Como los componentes se basaron en la matriz de correlaciones, se retuvieron únicamente aquellos componentes con valor propio mayores que 1 (Pla, 1995). En la selección del subconjunto de las variables más importantes de dichos componentes para ser consideradas en futuros estudios, se aplicó el método B4 propuesto por Jolliffe (1972) citado por Arguelles (1990), el cual favorece las variables con mayor valor absoluto de los coeficientes en cada uno de los componentes. Con la matriz de correlaciones se calcularon las distancias de Mahalanobis (1936) y con el procedimiento cluster se localizaron y describieron los conglomerados; el resultado

del análisis estadístico fue utilizado para construir un dendograma, agrupando las accesiones de acuerdo a sus similitudes por los caracteres evaluados.

### Resultados y discusión

La Tabla 4 presenta los intervalos, promedios, desviaciones estándar y coeficientes de variación de 24 caracteres cuantitativos, estimados para 2 semestres son 22 accesiones y tres testigos. La variación osciló entre 5.4% para el porcentaje de humedad y 47.3% para el número de vainas por planta. Para Emigh y Goodman (1985); Goodman y Stuber (1983), aquellos caracteres que son altamente variables, son los más usados para la clasificación de las accesiones respecto a aquellos que tienden a ser constantes. Debido a que los caracteres en estudio tienen acción poligénica con diferentes grados de cubrimiento del genoma, los genotipos similares pueden tener expresión fenotípica diferente, por consiguiente, hubo interés en la selección de variables de mayor heredabilidad (Wood and Lenné, 1999). La Tabla 5 presenta los estimadores de los componentes de varianza y el coeficiente de repetibilidad (r). Se seleccionaron 14 variables con  $r > 1$ ; el valor más alto del coeficiente de repetibilidad en caracteres cuantitativos fue para el número de nudos  $r = 62.09$ . El

**Tabla 4.** Intervalos, promedios, desviaciones estándar y coeficientes de variación de caracteres cuantitativos para 22 colectas y 3 testigos de frijol arbustivo

| Caracteres                  | Intervalo     | Promedio | D. Est. | C.V. % |
|-----------------------------|---------------|----------|---------|--------|
| Días a emergencia           | 11-24         | 15.77    | 2.94    | 18.64  |
| Longitud hipocotilo         | 2.77-5.7      | 4.0      | 0.64    | 15.89  |
| Longitud epicotilo          | 1.08-2.48     | 1.8      | 0.33    | 18.55  |
| Ancho hojas primarias       | 4.44-8.87     | 6.28     | 1.03    | 16.45  |
| Longitud hojas primarias    | 4.39-8.55     | 6.02     | 0.83    | 13.81  |
| Longitud foliolo central    | 2.37-12.22    | 7.89     | 1.95    | 24.67  |
| Ancho foliolo central       | 1.65-9.34     | 6.20     | 1.63    | 26.35  |
| Días a floración            | 59-105        | 74.85    | 12.79   | 17.09  |
| Longitud tallo principal    | 29.94-60.11   | 43.49    | 7.14    | 16.43  |
| Altura de cobertura         | 34.18-65.69   | 48.07    | 7.29    | 15.16  |
| Número de nudos             | 6.0-14.67     | 9.14     | 2.63    | 28.77  |
| Días a madurez fisiológica  | 107-152       | 125.69   | 10.40   | 8.27   |
| Días a cosecha              | 133-163       | 147.0    | 8.29    | 5.63   |
| Longitud de vainas          | 8.37-13.61    | 10.77    | 1.43    | 13.26  |
| Ancho de vainas             | 1.22-1.63     | 1.40     | 0.09    | 6.48   |
| Longitud ápice de vainas    | 0.8-2.09      | 1.52     | 0.28    | 18.26  |
| Vainas por planta           | 3.93-41.6     | 13.53    | 6.41    | 47.34  |
| Semillas por vaina          | 1.47-4.46     | 3.03     | 0.42    | 13.84  |
| Peso de 100 semillas        | 17-66.37      | 39.18    | 12.07   | 30.81  |
| Porcentaje de humedad       | 2.9-15.3      | 14.28    | 0.77    | 5.38   |
| Peso por parcela (g.)       | 53.67-1824.73 | 806.46   | 359.4   | 44.56  |
| Area foliar hojas primarias | 14.63-56.66   | 28.93    | 8.67    | 29.98  |
| Area foliar foliolo central | 2.93-80.1     | 39.0     | 16.93   | 43.4   |
| Rendimiento por planta      | 3.56-37.23    | 14.98    | 6.02    | 40.22  |

valor más bajo lo presentó la longitud de las hojas primarias; los valores bajos del coeficiente de repetibilidad indican que existe poca estabilidad del carácter en el tiempo y que las diferencias son debidas a la interacción entre accesiones por semestre (Goodman y Paterniani, 1969), los valores negativos del coeficiente de repetibilidad no tienen significado biológico, puesto que se espera que cualquier componente de varianza sea mayor ó igual a cero (Martínez, 1983). El rendimiento por planta presentó un coeficiente de repetibilidad menor que la unidad (0.12), debido a que son muchos los factores que condicionan el rendimiento e intervienen en gran medida la interacción entre accesiones por ambiente y el ambiente mismo. El valor de  $r$ , parece estar sobreestimado, para el carácter número de nudos, debido a que  $\sigma^2_e$  y  $\sigma^2_{ge}$  son menores que la unidad (Tabla 5) y hacen parte del denominador de  $r$ . Lo contrario sucedió con los días a emergencia  $r = -0.07$ , en donde la  $\sigma^2_g$  fue menor que cero.

En el análisis de componentes principales se observó cómo los primeros 3 componentes representaron el 88.49% de la variación total (Tabla 6). El primero aportó un 64.76% de la variación total, 14.79% para el segundo y 8.94% para el tercer componente, esto nos indica que en los tres primeros componentes existen descriptores que discriminan bien la población de accesiones.

En la Tabla 7, se observan los vectores característicos de los tres primeros componentes con los coeficientes de cada variable, los que a su vez, representan mayor importancia dentro de cada vector. El primer componente corresponde al ciclo de vida de la planta con las variables de importancia, los días a floración y los días a cosecha con coeficientes 0.309 y 0.304, y los factores de rendimiento con las variables peso de 100 semillas y número de semillas por vaina con coeficientes de 0.308 y 0.302 respectivamente.

Tapia (1987), indica que el número de días a la floración es de suma importancia para planear la fecha de siembra, según la duración del periodo lluvioso y el grado de coincidencia que se desea entre el periodo de llenado y la disponibilidad del agua en el suelo; lo anterior lo corroboran estudios realizados por Tohme, *et al.*, (1993), para quienes uno de los criterios de clasificación del germoplasma es el peso de 100 semillas, el cual es un indicador muy utilizado para evaluar diversidad genética. Voysest (1991), menciona que uno de los caracteres más usados en clasificación de

frijol en lo que a tipo de semilla se refiere es su tamaño, ya que determina el mayor o menor grado de aceptabilidad por parte del productor y consumidor.

El segundo componente incluye la arquitectura de la planta con las variables, número de nudos, la altura de cobertura, y estructuras reproductivas como: el ancho de vainas y su longitud, con valores absolutos de: 0.491, 0.454, 0.376 y 0.373 sucesivamente. La longitud del ápice de las vainas contribuye a disminuir la pudrición de las primeras vainas basales en la planta. Los valores en un valor propio indican el grado de influencia de la variable en el componente principal. En general, los dos componentes están estrechamente relacionados con el rendimiento. El tercer componente corresponde al estado de plántula e incluye la longitud del hipocotilo y la longitud del epicotilo con valores de 0.543 y 0.525 en su orden. El CIAT en 1979, realizó una investigación con 1000 accesiones de frijol, resultando tres factores o componentes de interés, los cuales aportaron el 83% de la variación total. Los componentes involucraron aspectos de interés, el rendimiento y sus componentes, la arquitectura de la planta y la plántula, resultados que coinciden con los reportes del presente estudio.

Usando la información de las Tablas 5 y 7 y por su facilidad de medición, el número de nudos, la altura de cobertura, la longitud de vainas, el ancho de vainas, los días a floración, el número de vainas por planta y el peso de 100 semillas, se sugieren como posible lista mínima de caracteres cuantitativos apropiados para la evaluación de frijol arbustivo de la colección con adaptación a clima frío. Con los datos de los caracteres cuantitativos se hallaron las distancias generalizadas de Mahalanobis con las cuales se realizó el análisis cluster. Los agrupamientos están representados en la Figura 1. Al observar el dendograma y tomar como criterio de clasificación la conformación de grupos de accesiones, dentro de las cuales las distancias de Mahalanobis fueron menores de 1.6 unidades, se establecieron dos grandes grupos diferenciados por los días a floración, el número de nudos, la altura de cobertura y la longitud del tallo principal.

**Grupo 1.** Lo integraron Antioquia 10 Algarrobo, Antioquia 19 Estrada redondo, Perú 154, Antioquia 27A Uribe limoneño, Cundinamarca 148, Antioquia 20 Pico de oro, Tolima 43 Sangretoro, Tolima 17-2, México 496, México 497, Boyacá 18, México 171 Guanajuato, Perú 40 y los testigos

Diacol andino e ICA Cerinza. En este grupo, las accesiones florecieron a los 60 días en promedio, ocho fue el número de nudos, la altura de cobertura presentó en promedio 55 cm y la longitud del tallo principal fue de 45 centímetros en promedio, en este grupo la floración sucedió mas temprano. En general, este grupo lo conformaron materiales de tipo arbustivo I y II del acervo genético Andino con buena adaptación a las condiciones de clima frío colombiano. Al interior de este grupo, hay tres subgrupos diferenciados principalmente por el peso de 100 semillas, el ancho de vainas, la longitud de vainas, el número de semillas por vaina y el número de vainas por planta.

**Subgrupo 1.** Integrado por Antioquia 10 Algarrobo; esta accesión tuvo el mayor peso de 100 semillas de todas las accesiones, con un valor de 61.5 gr en promedio, el ancho de vainas fue de 1.52 cm, la longitud de vainas fue de 11.99 cm en promedio, el número de semillas por vaina fue de 3 en promedio, y fue la menor de todas las accesiones en lo que al número de vainas por planta se refiere, se obtuvieron 12 vainas por planta.

**Subgrupo 2.** Incluyó las accesiones: Antioquia 19 Estrada redondo, Perú 154, Antioquia 27A Uribe limoneño y Cundinamarca 148. En ellas el peso de 100 semillas fue de 55 g en promedio, excepto Perú 154 donde su peso fue de 44.68 g; el ancho de vainas fue de 1.54 cm, y la longitud de vainas fue de 10.4 cm en promedio; el número de semillas por vainas fue de 3.22 y el número de vainas por planta fue de 11.24, en este subgrupo se incluyeron accesiones de granos moteados.

**Subgrupo 3.** En este subgrupo se encontraron: Antioquia 20 Pico de oro, Tolima 43 Sangretoro, Tolima 17-2, México 497, ICA Cerinza, Boyacá 18, Nariño 12 Sangretoro, México 496, México 171 Guanajuato, Perú 40 y Diacol andino. El peso de 100 semillas para las accesiones fué: Antioquia 20 Pico de oro, Nariño 12 Sangretoro, Tolima 17-2, Tolima 43 Sangretoro, México 496 y México 497; estuvieron por encima de 52.07 g en promedio, para las accesiones Boyacá 18, México 171 Guanajuato, ICA Cerinza y Diacol andino, el peso de 100 semillas fue de 48.18 g; la excepción en el peso de semilla de tamaño grande fue de Perú 40 con 16.77 g. para las accesiones involucradas en este subgrupo el ancho de vainas fue de 1.42 cm en promedio, la longitud de vainas fue de 11.83 cm, el número de semillas estuvo por encima de 3.5 y el número de vainas por planta fue de 13. Este grupo se

**Tabla 5.** Estimadores de componentes de varianza cuantitativos en semestres, colectas, interacción de colectas por semestre y el coeficiente de repetibilidad

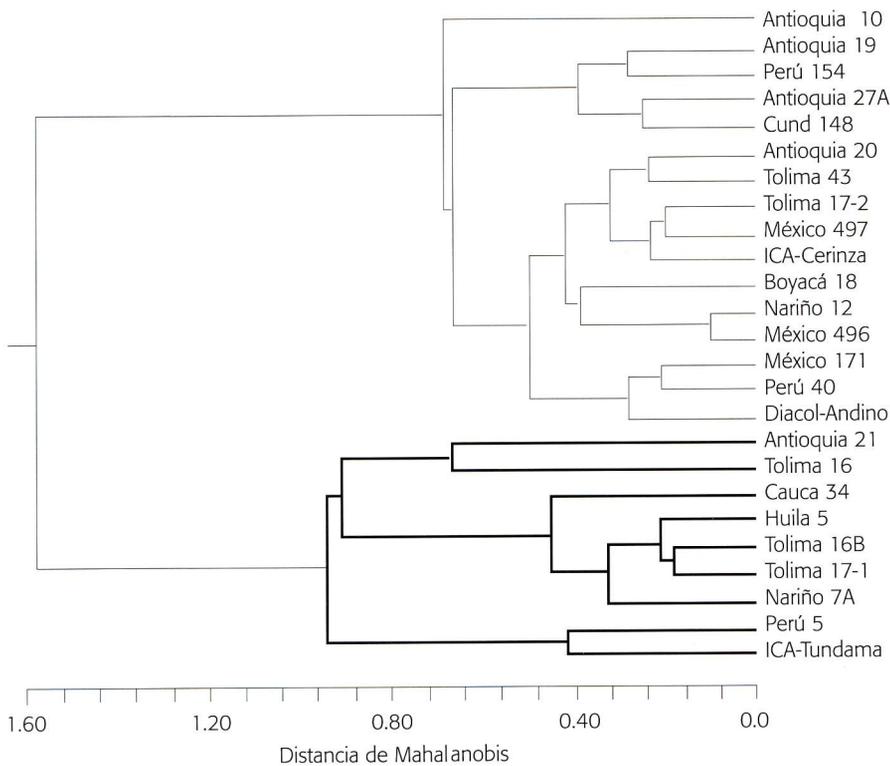
| Caracteres                  | $\sigma^2$ | $\sigma^2_{ge}$ | $\sigma^2_g$ | $\sigma^2_e$ | Coef. repeti. (r) |
|-----------------------------|------------|-----------------|--------------|--------------|-------------------|
| Días a emergencia           | 4.29       | 3.81            | -0.37        | 1.25         | -0.073            |
| Longitud hipocotilo         | 0.09       | 0.03            | 0.26         | 0.02         | 4.27              |
| Longitud epicotilo          | 0.03       | 0.01            | 0.07         | -0.001       | 7.51              |
| Ancho hojas primarias       | 0.13       | 0.08            | 0.67         | 0.42         | 1.32              |
| Longitud hojas primarias    | 0.11       | 0.05            | 0.33         | 0.44         | 0.68              |
| Longitud foliolo central    | 1.48       | 0.52            | 0.93         | 0.97         | 0.62              |
| Ancho foliolo central       | 1.13       | 0.43            | 0.50         | 0.79         | 0.41              |
| Días a floración            | 8.88       | 6.78            | 110.1        | 85.56        | 1.19              |
| Longitud tallo principal    | 1.07       | 2.75            | 48.69        | -0.08        | 18.25             |
| Altura de cobertura         | 1.37       | 4.75            | 48.41        | -0.01        | 10.21             |
| Número de nudos             | 0.17       | 0.09            | 6.87         | 0.02         | 62.1              |
| Días a madurez fisiológica  | 14.75      | 23.78           | 40.0         | 62.42        | 0.46              |
| Días a cosecha              | 14.46      | 7.77            | 45.72        | 1.79         | 4.78              |
| Longitud de vainas          | 0.15       | 0.08            | 1.77         | 0.19         | 6.44              |
| Ancho de vainas             | 0.001      | 0.001           | 0.005        | 0.0001       | 3.71              |
| Longitud apice de vainas    | 0.008      | 0.005           | 0.064        | 0.003        | 8.25              |
| Vainas por planta           | 10.96      | 4.46            | 23.2         | 4.68         | 2.54              |
| Semillas por vaina          | 0.06       | 0.04            | 0.06         | 0.01         | 1.14              |
| Peso de 100 semillas        | 0.06       | 19.19           | 107.82       | 29.92        | 2.19              |
| Porcentaje de humedad       | 0.01       | 0.06            | 0.0009       | 1.07         | 0.008             |
| Peso por parcela (g.)       | 16694.73   | 51915.29        | 12067.44     | 40356.73     | 0.13              |
| Area foliar hojas primarias | 9.37       | 8.99            | 39.52        | 39.1         | 0.82              |
| Area foliolo central        | 102.34     | 60.77           | 72.21        | 76.16        | 0.53              |
| Rendimiento por planta      | 15.65      | 10.42           | 2.46         | 10.16        | 0.12              |

**Tabla 6.** Valores propios, proporción de la variación y variación acumulada, asociadas a cada componente principal

| Componente | Valores propios | Proporción | Acumulado |
|------------|-----------------|------------|-----------|
| 1          | 9.0663          | 0.6476     | 0.6476    |
| 2          | 2.0705          | 0.1479     | 0.7955    |
| 3          | 1.2522          | 0.0894     | 0.8849    |
| 4          | 0.5595          | 0.0400     | 0.9249    |
| 5          | 0.3378          | 0.0241     | 0.9490    |
| 6          | 0.1961          | 0.0140     | 0.9630    |
| 7          | 0.1729          | 0.0123     | 0.9754    |
| 8          | 0.1262          | 0.0090     | 0.9844    |
| 9          | 0.0921          | 0.0066     | 0.9910    |
| 10         | 0.0604          | 0.0043     | 0.9953    |
| 11         | 0.0339          | 0.0024     | 0.9977    |
| 12         | 0.0190          | 0.0013     | 0.9990    |
| 13         | 0.0111          | 0.0008     | 0.9999    |
| 14         | 0.0017          | 0.0001     | 1.0000    |

**Tabla 7.** Vectores característicos de los tres primeros componentes principales

| Caracteres                   | Componente 1 | Componente 2 | Componente 3 |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Días a floración             | 0.309        | 0.190        | 0.070        |
| Peso de 100 semillas         | 0.308        | 0.140        | 0.107        |
| Días a cosecha               | 0.304        | 0.212        | 0.008        |
| Número de semillas por vaina | 0.302        | 0.110        | 0.097        |
| Ancho hojas primarias        | 0.298        | 0.071        | 0.185        |
| Longitud ápice de vainas     | 0.297        | 0.098        | 0.014        |
| Longitud del tallo principal | 0.290        | 0.246        | 0.137        |
| Número de vainas por planta  | 0.274        | 0.280        | 0.082        |
| Longitud de vainas           | 0.241        | 0.373        | 0.332        |
| Longitud epicotilo           | 0.237        | 0.041        | 0.525        |
| Ancho de vainas              | 0.237        | 0.376        | 0.356        |
| Número de nudos              | 0.204        | 0.491        | 0.166        |
| Altura de cobertura          | 0.201        | 0.454        | 0.280        |
| Longitud hipocotilo          | 0.191        | 0.067        | 0.543        |



**Figura 1.** Dendrograma de 22 accesiones y 3 testigos de frijol arbustivo, con base en promedios de caracteres cuantitativos.

diferenció por el tamaño intermedio de la semilla y el ancho de las vainas.

**Grupo 2.** Lo conformaron: Antioquia 21 tenzano, Cauca 34, Huila 5 cuarentano, Tolima 17, Nariño 7A revoltura, Tolima 16, Tolima 16B, Perú 5 poroto largo y el testigo ICA Tundama. Se encontró que estas accesiones florecieron a los 75 días en promedio, el número de nudos estuvo por encima de 11, la longitud del tallo principal fue de 52 cm, la altura de cobertura estuvo por encima de los 65 cm en promedio. Además de las anteriores características, otra diferencia del primer grupo fue el hecho de que las accesiones presentaron en su mayoría una guía corta con hábitos de crecimiento II y III y de acervo genético Mesoamericano, excepto Perú 5 y Tundama de origen Peruano y acervo andino. Al clasificar por componentes de rendimiento las accesiones de este grupo, éstas se pueden discriminar en dos subgrupos a saber:

**Subgrupo 1.** Incluyó Antioquia 21 Tenzano, Tolima 16, Cauca 34, Huila 5, Tolima 16B, Tolima 17y Nariño 7A, todas representativas del acervo Mesoamericano en las cuales el tamaño de semillas fue el más pequeño de las accesiones evaluadas, pues estuvo por 22.9 g en promedio, el ancho de

vainas fue de 1.43 cm; la longitud de vainas en promedio fue de 10.1 cm, presentando además el mayor número de semillas por vaina y vainas por planta, ya que los valores de estos parámetros estuvieron por 4 semillas y 26 vainas sucesivamente, comportamiento que coincide con la del frijol raza Mesoamericana, que posee semilla pequeña (Singh *et al.*, 1991).

**Subgrupo 2.** Lo integraron Perú 5 poroto largo e ICA Tundama, donde el peso promedio de 100 semillas fue de 43.33 g, el ancho de vainas fue de 1.33 cm en promedio, la longitud de vainas fue de 8.98 cm, el número de semillas por vaina fue de 3.6 y el número de vainas por planta estuvo por encima de 18 vainas. En este grupo se presentó la menor longitud y ancho de las vainas.

Los comportamientos descritos anteriormente inducen a pensar que puede haber introgresión genética de los acervos Andino y Mesoamericano hacia los frijoles cultivados en Colombia, conllevando a la producción de frijoles con características típicas de Andinos pero con información genética diferente a los originarios del Perú, como Perú 5 poroto largo e ICA Tundama. Este último, derivado del cruzamiento simple entre Perú 5 por Desconocido. Por otro lado, es posible que

las accesiones de procedencia colombiana como : Antioquia 21, Tolima 16, Cauca 34, Huila 5, Tolima 16B y Tolima del acervo Mesoamericano, sean introducciones ocurridas durante los procesos de domesticación de la especie.

### Conclusiones

- La variación de las distancias de Mahalanobis entre las colectas de frijol estudiadas, indican que existe variabilidad amplia por parámetros cuantitativos, lo cual permitió clasificar los materiales en 2 grupos genéticos bien definidos.

- De los 24 caracteres cuantitativos estudiados, 8 de ellos fueron los más estables a través del ambiente y los más discriminantes en la clasificación de las colectas, de los cuales los de mayor importancia fueron: el número de nudos, la longitud del tallo principal, la altura de cobertura, el número de vainas por planta, el peso de 100 semillas, el ancho de hojas primarias, los días a floración y el número de semillas por vaina. Estos presentaron la mayor contribución en la cuantificación de la variabilidad genética.

- El análisis por componentes principales mostró cómo los primeros tres componentes explicaron el 88.49% de la variación total, donde el primer componente aportó el 64.76%, el segundo el 14.79% y el tercero aportó el 8.94%. Se encontró que la mayoría de los componentes principales que aportaron en gran parte a la variación total, estaban estrechamente relacionados con el rendimiento.

- Mediante la evaluación cuantitativa, se encontró que las colectas del acervo Mesoamericano: Antioquia 21 Tenzano, Cauca 34 y Tolima 16, y acervo Andino: Perú 5 Poroto Largo y Cundinamarca 148 presentaron el mejor comportamiento agronómico y contrastabilidad genética respecto a los demás materiales evaluados. Por lo cual, se consideran de importancia en la conservación de la variabilidad genética y como posibles progenitores en el fitomejoramiento de la especie con adaptación a clima frío.

### BIBLIOGRAPHY

**Argüelles, J. 1990.** Selección de variables en cebada mediante el análisis de componentes principales. Revista ICA 25(4):355-365.

**Castiñeiras, L. y Rivero, N. 1988.** Variabilidad morfológica y fenológica en *Phaseolus vulgaris* L. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical (INIFAT), Habana, Cuba.

**Cardona, C., Flor, C., Morales, F. y Corrales, M.P. 1995.** Problemas de campo en los cultivos de frijol en el trópico. CIAT, Cali, Colombia.

**Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 1993.** Descriptores varietales: Arroz, frijol, maíz, sorgo. G. Muñoz y G. Fernández de Soto eds. Publicación No. 177, CIAT, Cali, Colombia.

**CIAT. 1979.** Annual Report. CIAT, Cali, Colombia.

**Debouck, D. G. 1985.** Morfología de la planta de frijol. CIAT, Cali, Colombia.

**Emigh, T. H. and Goodman, M.M. 1985.** Multivariate analysis in nematode taxonomy. Pages 197-204. *In: An advanced treatise on Meloidogyne*. Vol II Methodology. K. R. Barker, C. C. Carter, and J. N. Sasser eds. North Carolina State University Graphics. Raleigh, N.C.

**Eskridge, K.M. 1995.** Statistical analysis of disease reaction data using nonparametric methods. *Hort. Science* 30(3):478-481.

**Goodman, M. M. and Paterniani, E. 1969.** The races of maize III choices appropriate characters for racial classification. *Economic Botany* 23:265-273.

**Goodman, M. M. and Stuber, C. W. 1983.** Isozymes in Maize. pages 1-33. *In: Isozymes in plant genetics and breeding*. S. D. Tanksley, and T. J. Orton eds. Elsevier Scientific Public., Amsterdam.

**International Board for Plant Genetic Resources. 1982.** Descriptors for *Phaseolus vulgaris* L. IBPGR Secretariat, Rome, Italy.

**Johnson, R. A. and Wichern, D. 1988.** Applied Multivariate Statistical Analysis. 2nd. edition. Prentice Hall, Englewood, New Jersey, U.S.A.

**Hidalgo, R. 1991.** CIAT's World *Phaseolus* Collection. *In: Common beans: Research for crop improvement*. A. Van Schoonhoven & O. Voysest eds. CIAT, Cali, Colombia. 163-178.

**Mahalanobis, P. C. 1936.** On the generalized distance in statistics. *Proceedings of National Institute of Science, India*, 12:49-55.

**Martínez, O. J. 1983.** Evaluación de treinta y cuatro variedades de maní mediante técnicas multivariadas. *Revista ICA*, Santa Fe de Bogotá, Colombia 18(1):67-76.

**Martínez, W.O. 1995.** Análisis estadístico en biología molecular: Uso y aplicación en poblaciones vegetales. *Memorias Simposio Internacional de Estadística en Agricultura y Medio Ambiente "Conferencia Satélite"*. CIAT, Cali, Colombia. p. 152-170.

**Ministerio de Agricultura. 1996.** Informe Dependencia de Comercio Exterior.

**Pla, L. 1995.** Métodos multivariados en biometría. Departamento de Ambiente y Tecnología Agrícola, Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda". Venezuela.

**Robles, S.R. 1986.** 'Genética elemental y fitomejoramiento práctico. 1ª. Edición. Limusa, México.

**SAS Institute. 1995.** Procedures Guide. Release 6.10 Edition. SAS, Cary N.C., U.S.A.

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

**Tapia, B. H. 1987.** Informe Anual del Programa Nacional de Investigaciones en Frijol 1.985-1.986. CNIGB, Managua, Nicaragua.

**Tohme, J., Jones, P., Beebe, S., Iwanaga, M. and Toro, O. 1993.** Forming a Core collection of *Phaseolus vulgaris* L. 118-122. *In: Proceedings of the Second International Scientific Meeting of the Phaseolus Beans*. Advanced Biotechnology Research Network (BARN). W. M. Roca, J. E. Mayer, M. A. Pastor-Corrales, J. Tohme eds. CIAT, Cali, Colombia.

**Voysest, O. 1991.** Bean Cultivars: Classes and Commercial Seed Types. pp 124. *In: Common Beans: Research for Crop Improvement*. A. Van Schoonhoven & O. Voysest eds. CIAT, Cali, Colombia.

**Weir, B.S. 1996.** Genetic data analysis II. Sinauer Associates, Inc. Publisher. Sunderland, Massachusetts, USA. 444 p.

**Wood, D. and Lenné, J.M. 1999.** Agrobiodiversity: Characterization, utilization and management. CABI Publishing, Oxon, UK. 490 p.