

Comportamiento de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo reventón por características agronómicas y de calidad de grano

Agronomic characteristics and grain quality of the common 'popping' bean (*Phaseolus vulgaris* L.)

Juan M. Otálora¹, Gustavo A. Ligarreto² y Arturo Romero³

Resumen: El frijol común tipo reventón, ñuña o nuña, se caracteriza por la capacidad de expansión de los cotiledones al ser sometidos al calor, lo que convierte este tipo de frijol común en un recurso genético innovador, con perspectivas interesantes como snack o pasabocas para los mercados locales y de exportación. Dado su origen y selección en los Andes suramericanos, este material podría adaptarse a diferentes zonas alto andinas de las cordilleras colombianas y convertirse en un producto que diversifique y abra expectativas comerciales para los habitantes locales de la región. En este trabajo se evaluaron 29 cultivos de frijol reventón originarios de Perú y Bolivia, por características agronómicas, químicas del grano y propiedades funcionales de reventamiento, buscando correlacionar y seleccionar las variables de mayor incidencia en la caracterización. La información obtenida permitió agrupar las accesiones, de acuerdo a las características mencionadas, en dos conglomerados en un dendrograma. Las variables que generaron mayor información de las accesiones fueron las de precocidad y rendimiento, seguidas por las relativas a calidad nutricional y porcentaje de expansión; de las variables nominales se destacaron el color de las alas, el color predominante del limbo, el color de las vainas y la forma de la semilla. Las accesiones seleccionadas por precocidad fueron la G12185A y G7369; las accesiones que mejor rendimiento presentaron por planta fueron G12575, G12586, G7245 y G24886, mientras que las accesiones promisorias por porcentaje de expansión fueron G23729, G12570, G12623, G23715, G23736, G23742, G23767B, G12605, G23693 y G23695.

Palabras claves adicionales: precocidad, rendimiento, calidad nutricional, ñuña

Abstract: The common 'popping' bean is characterised by its cotyledons' ability to expand on being subjected to heat, making this type of common bean an innovative genetic resource, having interesting prospects as snack food or candy for both local and export markets. Given its origin and selection in the South-American Andes, this bean could adapt itself to high Andean areas in the Colombian cordillera and become a product diversifying itself and providing commercial prospects for the region's local inhabitants. This work evaluated the bean's agronomic and chemical characteristics, growth and functional popping properties of 29 popping bean accessions from Peru and Bolivia by correlating and selecting the variables having the greatest affect on characterisation. The information so obtained allowed the accessions to be grouped according to the aforementioned characteristics into two conglomerates. The variables providing the most information regarding the accessions were precocity and yield, followed by nutritional quality and percentage of expansion. Shell colour, predominant limb colour, pod colour and seed form featured amongst the nominal variables. Accessions selected for yield presented for plant were G12575, G12586, G7245 and G24886. Accessions having promising expansion percentage were G23729, G12570, G12623, G23715, G23736, G23742, G23767B, G12605, G23693 and G23695.

Additional keys words: precocity, yield, nutritional quality, common 'popping' bean

Fecha de recepción: 8 de noviembre de 2005
Aceptado para publicación: 11 de mayo de 2006

¹ Instructor, Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena), Fusagasugá (Colombia). e-mail: jmotalora@senavirtual.edu.co

² Profesor asociado, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: galigarretom@unal.edu.co

³ Profesional especializado, Instituto Colombiano de Tecnología de Alimentos (ICTA), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. e-mail: romeroicta@yahoo.es

Introducción

LA INVESTIGACIÓN EN FRÍJOL cobra importancia por tratarse de la leguminosa más cultivada en el mundo, con 57% de la oferta (Corporación Colombia Internacional, 2000). En 1988 Colombia participó con 0,7% de la producción mundial de frijol seco, equivalente a 114.503 t y una tasa de crecimiento promedio anual de 1,9% entre 1991 y 1998. Como principal factor que explica este comportamiento se destaca la mejora en el rendimiento, que pasó de 808 kg·ha⁻¹ en 1992 a 945 kg·ha⁻¹ en 1998 (Corporación Colombia Internacional, 2000). Según Proexport (2003), para 2001 se sembraron en el país 115.556 ha, con una producción total de 124.247 t y una producción por hectárea de 1.075 kg, mostrando que la tendencia es al crecimiento de la producción interna; el consumo anual per capita es 3,87 kg.

Dentro de la cultura tradicional andina, el cultivo de frijol se relaciona con pequeñas explotaciones de tipo minifundista, menores a 5 ha; se estima en 65.000 el número de familias que producen esta especie en Colombia (Ligarreto, 2001), lo que genera un ingreso bruto de \$98.922.935, además de 12,5 millones de jornales directos, en los que participaron cerca de 125.000 productores (Proexport, 2003). De esta manera, el cultivo de frijol es parte de la tradición de autoconsumo y se siembra en asociación con otras especies comunes en la zona (Zimmerer, 1992).

En la gran variedad de accesiones de frijol común, los frijoles reventonados man gran interés por la capacidad de expansión de sus cotiledones, que aumentan en volumen de 30% a 50% al ser calentados de forma rápida (Tohme et al., 1995). Este tipo de frijol se consume tostado en las zonas productoras del norte de Perú, como golosina y pasabocas, mezclado con algunos tipos de maíz; también se utiliza en algunas conmemoraciones religiosas, como en el día de San Isidro, fiesta de tributo al patrón de la agricultura en la región del Cuzco (Voyses, 1999).

Sin embargo, el potencial de este tipo de frijol aún es poco explorado, pues no se le ha dado la importancia como producto innovador dentro de la economía tradicional de los pueblos andinos; tanto así, que sólo se concentra en pequeños cultivos de las zonas de tierras altas de Perú y de Bolivia. Ante esto, la posibilidad de establecer y desarrollar producciones de frijol reventón en zonas diferentes de la tradicional se convierte en una interesante posibilidad, que aún requiere de un programa de investigación y extensión en otros lugares de los Andes americanos.

Otro aspecto interesante es la apertura de nuevos mercados en el ámbito internacional como producto exótico, dirigido a los consumidores como un pasaboca nutritivo y delicioso, procesado en diferentes presentaciones y, en algunos casos, dirigido a los mercados de legumbres deshidratadas del mercado naturista de Estados Unidos o como producto ecológico para los mercados europeos (RAFI, 2001).

El frijol reventón hace parte del interés de varias empresas norteamericanas especializadas en la producción de leguminosas, tanto así que en la actualidad existe toda una discusión por la patente 6.040.503 del Gobierno de Estados Unidos, concedida el 21 de marzo de 2000 a la empresa de alimentos Appropriate Engineering and Manufacturing. La patente, según la Rural Advancement Foundation International (RAFI, 2001), le permite a esta empresa tener el monopolio sobre los híbridos de frijol nuña que puedan ser cultivados con éxito fuera de los Andes; la patente incluye por lo menos 33 accesiones de nuña que se han cultivado y cosechado durante siglos en Bolivia, Perú, Ecuador y Colombia, desconociendo el papel de los habitantes de esta región en su selección y conservación.

En este contexto Colombia es un lugar probable para el cultivo de frijol reventón, por las condiciones de adaptación de este producto a las regiones altoandinas de las cordilleras. Ensayos realizados por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en el departamento del Cauca, demostraron que las zonas de producción pueden expandirse del área tradicional sin perder las características biológicas de crecimiento y desarrollo de la planta, ni el tamaño, color y sabor de la semilla y sin afectarse las características de expansión en el proceso de reventamiento del grano (Van Beem et al., 1992).

Sin embargo, aspectos de aclimatación, adaptación y rendimiento, así como las características nutricionales y funcionales en frijol reventón, no se han evaluado en otras regiones del país; se cuenta con reportes de investigación en otras regiones de Suramérica (Gallegos, 1988; National Research Council, 1989; Febres, 1992; Gamarra et al., 1996; Alvarado, 1997; Céspedes, 2002). En este sentido, la evaluación y caracterización de estos genotipos, con la utilización de los descriptores varietales cuantitativos y cualitativos y el análisis de las propiedades químicas y de calidad de grano, se convierten en metodologías útiles para describir las variedades de interés, generando valor agregado al germoplasma (Ligarreto, 2001).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el comportamiento de variables agronómicas, químicas y funcionales de 29 accesiones de frijol común, tipo reventón, con el fin de establecer los genotipos sobresalientes para ser utilizados como progenitores en programas de fitomejoramiento y/o como posibles variedades para entregar a los productores.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. La primera parte, que corresponde a la evaluación agronómica de los materiales en campo, se llevó a cabo en los invernaderos de la facultad de Agronomía (Bogotá, Colombia) a 2.540 msnm, durante el transcurso de 2003, y la fase de análisis químico y de variables de calidad de grano se realizó en el laboratorio de análisis fisicoquímico del ICTA (Instituto Colombiano de Tecnología de Alimentos).

Se trabajó con semillas de 29 cultivares de frijol, tipo reventón, existentes en el banco de germoplasma de la Unidad de Recursos Genéticos del CIAT. En la tabla 1 se presenta la relación de los materiales estudiados. De cada cultivar de frijol se sembró en campo un surco de 20 semillas separadas a una distancia de 20 cm y los surcos, a 1 m entre sí. El manejo agronómico consistió en la fertilización con un compuesto grado 13-26-6, la aplicación de insecticida granulado al momento de la siembra y tres aplicaciones foliares para el control de insectos comedores de follaje. La incidencia de enfermedades se evaluó de acuerdo a su presencia durante el experimento; sólo se presentó afección de mildew (*Erysiphe polygoni*) y se valoró la incidencia como el número de plantas por parcela que presentaron áreas de presencia del patógeno.

La caracterización agronómica consistió en una evaluación del material vegetal, teniendo presente tanto variables cualitativas como cuantitativas. La guía de evaluación se basó en los descriptores varietales de frijol desarrollados por Muñoz et al. (1993). Se valoraron tres plantas tomadas al azar en cada parcela experimental. Algunos de los descriptores no fueron usados porque no presentaban variabilidad. En total, se evaluaron 21 caracteres cualitativos (binarios y categóricos) durante los estados fenológicos de plántula, floración, madurez fisiológica y cosecha (tabla 2).

La caracterización química, como análisis proximal completo, se hizo usando semillas crudas provenientes

Tabla 1. Material genético utilizado de frijol tipo reventón.

Accesión	País de origen	Departamento
G7245	Perú	Ancash
G7369	Perú	Apurímac
G11764D	Perú	Cajamarca
G12113	Perú	Ayacucho
G12185A	Perú	Ayacucho
G12192	Perú	Cajamarca
G12564	Perú	Cajamarca
G12570	Perú	Cajamarca
G12575	Perú	Cajamarca
G12586	Perú	Cajamarca
G12589	Perú	Cajamarca
G12605	Perú	Cajamarca
G12623	Perú	Ancash
G16136	Perú	Apurímac
G16905	Perú	Ayacucho
G19645	Perú	Cajamarca
G23602	Perú	Apurímac
G23621	Bolivia	Cochabamba
G23693	Perú	La Libertad
G23695	Perú	Cajamarca
G23696	Perú	Cajamarca
G23715	Perú	La Libertad
G23721	Perú	La Libertad
G23729	Perú	Cajamarca
G23736	Perú	La Libertad
G23742	Perú	La Libertad
G23745	Perú	La Libertad
G23767B	Perú	Huanaco
G24886	Perú	La Libertad

de los cultivares recién cosechados, según recomendación y protocolos de la Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 1980). Para el análisis proximal se tomaron 20 semillas de cada variedad y se molieron completas (cotiledones, embrión y testa); cada muestra de harina se guardó en envases de vidrio herméticos.

Las metodologías de cuantificación de las variables químicas se desarrollaron con dos repeticiones en cada uno de los procedimientos con cada material. En este análisis se determinaron las variables de humedad (agua libre), proteína bruta, grasa cruda, cenizas totales, fibra y, por diferencia, el porcentaje de carbohidratos.

Tabla 2. Descriptores varietales cuantitativos y cualitativos usados en la colección de frijol estudiada.

Variables cuantitativas	Medida de evaluación	Variables cualitativas	Escala de evaluación*
Días hasta la emergencia	d	Color de las alas	1 a 7
Época hasta la floración	d	Color del limbo del estandarte	1 a 8
Longitud de tallo	cm	Patrón de distribución	1 a 2
Nudos por planta	unidad	Venación en flor	1 a 2
Época hasta la madurez fisiológica	d	Color del cuello del estandarte	1 a 9
Días hasta la cosecha	d	Color del cáliz	1 a 8
Longitud de las vainas	cm	Hábito de crecimiento	1 a 4
Longitud del ápice de las vainas	cm	Incidencia del mildeo	1 a 9
Vainas por planta	unidad	Color de las vainas en la madurez	1 a 11
Semillas por vaina	unidad	Patrón de distribución de las vainas	1 a 2
Peso de 100 semillas	g	Perfil de las vainas	1 a 4
Rendimiento por planta	g	Tipo de ápice de las vainas	1 a 2
Rendimiento por parcela	g	Grado de curvatura	1 a 3
Expansión	mL	Consistencia de la vaina	1 a 3
Reventamiento	porcentaje	Color primario de la semilla	1 a 20
Tiempo de reventamiento	s	Color secundario de la semilla	1 a 20
Humedad	porcentaje	Distribución del color primario	1 a 2
Proteína	porcentaje	Aspecto de la testa	1 a 3
Grasa	porcentaje	Venación de la semilla	1 a 2
Fibra	porcentaje	Color alrededor del hilum	1 a 2
Ceniza	porcentaje	Forma de la semilla	1 a 9
Carbohidratos	porcentaje		

*De acuerdo con Muñoz *et al.* (1993).

La cuantificación de las características funcionales de los cotiledones es la que genera el interés particular en este tipo de accesiones de frijol común. Estos materiales presentan una serie de posibilidades y alternativas como producto alimenticio innovador, por lo que se planteó una metodología que describiera la caracterización del reventamiento a través de la medición de las siguientes variables: porcentaje de reventamiento, porcentaje de expansión y tiempo transcurrido para el reventamiento del primer grano. La medición se realizó con dos repeticiones en un horno microondas (Samsung MW 1260SA), por la baja utilización de combustible o acompañantes (aceites, margarinas) para la cocción del frijol reventón.

El procedimiento utilizado fue tomar 20 semillas de cada material y colocarlas dispersas sobre el plato del microondas; se procedió a un tiempo de cocción de 2 min. Luego, se contó el número de semillas en las que los cotiledones generaron rompimiento de la testa, y este valor se expresó como;

$$\text{Reventamiento (\%)} = (N_1 \cdot 100) / N_0$$

donde N_1 es el número de granos con rompimiento de la testa por causa de la expansión de los cotiledones y N_0 es el número de semillas en la muestra original.

En la medición del porcentaje de expansión se tomaron 20 semillas de cada material, se midió el volumen de cada semilla, se colocaron sobre el plato del microondas y se procedió a un tiempo de cocción de 2 min. Una vez reventado el 50% de las semillas, lo que se determinó visualmente, se procedió a tomar un número de 5 semillas al azar para realizar en ellas la medición, basada en el método utilizado por Van Beem y Spaeth (1990), en el que se utiliza una aproximación de medición de embrión antes y después de la expansión expresado de la siguiente manera:

$$V = 4/3 \cdot \pi \cdot A \cdot B \cdot C$$

donde A es el ancho de la semilla (medición de los dos cotiledones juntos); B, el valor del largo de la semilla

(largo de un cotiledón) y c , el valor de la medición del alto de la semilla (ancho del cotiledón). De la diferencia de los volúmenes v_1 y v_2 se deduce el porcentaje de expansión, donde v_1 es igual al volumen de semilla antes de entrar al microondas y v_2 el volumen de semilla después de 2 min en el microondas.

El procedimiento utilizado para medir la variable tiempo de reventamiento fue tomar el tiempo (s) cuando la mitad (50%) de las 20 semillas de cada material, colocadas sobre el plato del microondas en forma de cruz, abrieron su testa por causa del tratamiento de calor; la evaluación fue visual luego de 2 min.

Una vez obtenidos los datos, se analizaron bajo la metodología de componentes principales, con el fin de identificar las variables de mayor representatividad y con mayor aporte para el análisis de caracterización de las accesiones. Finalmente, se realizó un análisis de clasificación por conglomerados, utilizando el programa SPAD (Système Portable pour l'Analyse de Données), para agrupar los individuos de acuerdo a las variables de mayor incidencia en un dendrograma o diagrama de árbol.

Resultados y discusión

Análisis de correlación y componentes principales

Los valores de la matriz de correlación más altos fueron $r = 0,713$, representado por las variables de porcentaje de reventamiento y porcentaje de expansión (v_{20} y v_{21}) y $r = -0,71$, representado por las variables porcentaje de humedad y porcentaje de carbohidratos (v_{14} y v_{19}). Las variables días hasta la floración y días hasta la madurez fisiológica (v_3 y v_4) se asocian con índice de correlación de $r = 0,70$.

Por el alto número de correlaciones entre variables que resultan importantes en el estudio, se realizó el análisis de componentes principales para seleccionar las variables relevantes en la clasificación. En la tabla 3 se muestran los 28 componentes principales que presentan variabilidad para las 29 accesiones de frijol reventón, según las variables de estudio, donde el primer componente presenta un valor característico de 7,21 y sintetiza el 18,99% de la varianza acumulada; el valor característico del componente 12 es 1,07, sintetizando hasta este punto el 84,92% de la varianza acumulada. En el análisis de resultados sólo se incluyen los componentes con valores propios mayores a 1 ($\lambda > 1$).

Tabla 3. Elección de componentes para los caracteres cuantitativos y cualitativos de 29 accesiones de frijol común Phaseolus vulgaris L., tipo reventón.

Componente	Valor característico	Proporción (%)	Acumulado (%)
1	7,21	18,99	18,99
2	3,85	10,13	29,12
3	3,43	9,03	38,15
4	3,16	8,32	46,47
5	2,58	6,81	53,28
6	2,53	6,67	59,95
7	2,35	6,21	66,16
8	1,89	4,99	71,15
9	1,65	4,34	75,49
10	1,37	3,61	79,10
11	1,13	2,98	82,08
12	1,07	2,84	84,92
13	0,93	2,45	87,37
14	0,74	1,96	89,33
15	0,61	1,63	90,96
16	0,57	1,51	92,47
17	0,48	1,28	93,75
18	0,47	1,24	94,99
19	0,41	1,10	96,09
20	0,37	0,99	97,09
21	0,25	0,68	97,77
22	0,23	0,61	98,37
23	0,17	0,46	98,83
24	0,12	0,34	98,18
25	0,12	0,33	99,51
26	0,09	0,26	99,76
27	0,064	0,17	99,93
28	0,025	0,07	100,00

La tabla 4 relaciona los vectores característicos para los primeros 12 componentes provenientes de la matriz de varianzas y covarianzas que determinan la asociación con las variables originales. El vector característico asociado al primer componente, con un acumulado de 18,99%, está representado por las variables días hasta la floración (v_3), días hasta la madurez fisiológica (v_4) y días hasta la cosecha (v_5), con valores absolutos de 0,279, 0,316 y 0,287, respectivamente; estas características son determinantes en la duración de las etapas de desarrollo.

Los materiales sembrados fuera de su área de origen, en diferentes regiones de Perú y Bolivia, presentan va-

Tabla 4. Elección de las variables de mayor importancia en los 12 primeros componentes principales.

Variable	Componentes principales											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
v3*	0,279	0,199	0,050	0,032	-0,064	-0,051	0,054	0,073	-0,0004	-0,015	0,144	-0,157
v4	0,316	0,094	0,068	0,050	0,003	0,028	-0,035	-0,115	0,0047	0,055	-0,158	0,053
v5	0,287	0,145	-0,049	0,045	0,186	-0,046	-0,086	-0,065	0,048	-0,444	0,068	0,204
v6	0,126	0,323	-0,177	0,089	0,186	-0,049	-0,174	0,060	0,138	0,1975	-0,035	-0,0035
v11	-0,148	0,306	-0,145	0,124	-0,189	0,072	-0,054	0,171	0,142	-0,016	0,132	-0,211
v38	-0,146	0,063	-0,390	0,063	0,104	-0,063	0,097	0,062	0,140	0,043	0,096	-0,045
v27	0,098	0,158	0,378	0,070	-0,042	-0,206	-0,005	-0,058	-0,207	0,016	0,094	0,010
v10	0,112	-0,164	-0,031	0,366	-0,178	0,104	0,114	0,156	-0,110	-0,089	0,103	0,102
v16	-0,095	0,151	0,062	-0,315	0,043	-0,221	0,031	0,306	0,101	-0,174	0,101	-0,161
v8	0,018	-0,179	0,041	0,297	-0,022	-0,072	0,292	0,206	-0,006	0,079	0,223	0,292
v25	-0,224	-0,672	-0,033	-0,017	0,3837	0,330	0,036	-0,020	-0,166	0,090	-0,241	0,047
v17	-0,025	-0,026	0,091	0,224	0,358	0,097	-0,138	0,189	-0,234	-0,063	0,131	-0,141
v26	-0,094	0,016	0,246	-0,131	0,004	0,307	0,169	0,056	0,151	0,202	-0,019	-0,182
v2	0,1058	0,012	-0,064	-0,195	0,056	0,084	0,374	0,192	0,071	-0,294	-0,074	-0,268
v24	-0,062	0,180	0,029	-0,199	0,073	0,180	0,003	0,368	-0,0002	0,154	0,079	0,191
v18	0,175	0,100	0,012	0,115	0,199	-0,922	-0,014	-0,160	0,4401	-0,019	0,117	-0,002
v23	-0,120	0,216	-0,032	-0,100	0,063	0,266	-0,032	0,249	-0,209	0,347	0,112	0,205
v30	0,181	-0,046	-0,037	-0,100	0,029	0,245	-0,223	0,019	0,309	0,048	0,410	-0,123
v21	0,172	0,195	0,158	-0,146	-0,176	0,044	-0,084	0,101	0,123	-0,120	-0,271	0,338

*Variables: v3, días hasta la floración; v4, días hasta la madurez fisiológica; v5, días hasta la cosecha; v6, longitud de vainas; v8, vainas por planta; v10, rendimiento por planta; v11, peso de 100 semillas; v17, porcentaje de fibra; v18, porcentaje de ceniza; v21, porcentaje de expansión; v23, color de alas; v24, color predominante del limbo del estandarte; v25, patrón de distribución predominante del color del limbo del estandarte; v26, color predominante del cuello del estandarte; v27, hábito de crecimiento; v30, color de vainas; v38, forma de la semilla.

riacionessignificantesensuperiodovegetativo(Gallegos, 1988;Febres, 1992; Gamarra et al., 1996; Alvarado, 1997; Céspedes,2002)y la descripción de algunos de estos materiales es muy similar a los utilizados en este estudio.

El vector asociado al segundo componente, con un aporte de 10,13% y un acumulado de 29,12%, está representado por las variables longitud de vainas (v6) y peso de 100 semillas (v11), con valores absolutos de 0,323 y 0,306, respectivamente. Las vainas poseen diferencias de tamaño, color y grado de dehiscencia. De acuerdo con Voysest (1999), el color, el tamaño y el estado sanitario del grano son características que influyen decisivamente en el grado de aceptación de las nuevas variedades.

El tercer componente, con un aporte de 9,03% y un acumulado de 38,15%, está representado por las variables forma de semilla (v38), hábito de crecimiento del tallo (v27), con valores absolutos de -0,390 y 0,378, respectivamente. La forma de la semilla es uno de los caracteres externos que presenta gran variabilidad. El hábito de crecimiento del tallo fue tipo iv y una sola accesión es de

hábito tipo iii, pero este carácter diferencia drásticamente otras relaciones dentro de la morfología de la planta y en los ciclos fenológicos de cada una de las etapas.

La variable rendimiento por planta (v10) caracteriza el cuarto componente, con un aporte de 8,32%, un valor acumulado de 46,47% y un valor absoluto de 0,366. El quinto componente es de estructura reproductiva y calidad nutricional, representado por las variables que corresponden a patrón de distribución del color del limbo del estandarte y al porcentaje de fibra (v25 y v17), con un aporte de 6,81%, un valor acumulado de 53,28% y valores absolutos de 0,383 y 0,358, respectivamente. La variable color del cuello del estandarte (v26), con un acumulado de 59,95%, un valor absoluto de 0,307 y un aporte de 6,67%, describe al sexto componente.

El séptimo componente se caracteriza por un aporte de 6,21% y un valor acumulado de 66,16%, representado por la variable días hasta la emergencia (v2) con un valor absoluto de 0,374. El componente octavo se caracteriza por un aporte de 4,99% y un valor acumulado

de 7,15%, representado por la variable color del limbo del estandarte (v24), con un valor absoluto de 0,368. El componente noveno, con un acumulado de 75,49% y un aporte de 4,34, es representado por la variable porcentaje de ceniza (v18), con un valor absoluto de 0,44.

La variable asociada al décimo componente, con un aporte de 3,61% y un acumulado del 79,10%, es color de alas (v23), con un valor absoluto de 0,34. El undécimo componente de estructuras morfológicas está asociado a la variable de color de las vainas (v30), con un valor absoluto de 0,41, y el componente principal décimo segundo acumula un porcentaje de 84,92%, representado por la variable porcentaje de expansión (v21).

La figura 1 indica el comportamiento de las 29 accesiones en los dos primeros componentes (CP1 y CP2), que acumulan 29,12% de la variabilidad. Los cultivares que se encuentran en el cuadrante A presentan ciclos fenológicos más cortos, vainas de longitud corta y aparentemente menor peso en las 100 semillas; el individuo 24 se distancia del resto porque tiene mayor peso de 100 semillas y sus vainas son las de mayor longitud. Los cultivares de la nube B reúnen características más cercanas a los valores de las variables en estudio.

Identificación de las 29 accesiones de frijol

La información obtenida de los 12 componentes principales indica que se debe profundizar la clasificación de los individuos. El tipo de análisis de conglomerados

que se utilizó para diferenciar y agrupar las accesiones, con base en las características morfológicas, químicas y funcionales de las 29 accesiones de frijol reventón, fue el análisis de distancias algorítmicas con el programa SPAD (Becúe, 2000), a partir de las coordenadas de los ejes factoriales, cuyo resultado generó una clasificación en un dendrograma.

Para el análisis del dendrograma de la figura 2, se evaluaron sólo dos grupos principales que se separan visualmente y cuyos promedios se ilustran en la tabla 5.

El primer grupo (I) está conformado por las ocho accesiones: G7369, G16136, G23602, G23621, G12113, G23729, G12185A y G16905. En este grupo las variables fenológicas se caracterizan por los siguientes valores: 15 d hasta la emergencia, 79 d hasta la floración, 145 d hasta la madurez fisiológica y 186 d hasta la cosecha; en este grupo las accesiones son más precoces, alcanzando la madurez fisiológica 38 d antes que el grupo II. Es interesante el hecho de que la maduración de cosecha se acerque a los resultados de la variedad mejorada en el Perú 'Q'osco Poroto', con 180 d en promedio, según Voysest (1999).

Las variables relacionadas con rendimiento tienen los siguientes valores: 9,12 cm de longitud de las vainas, 42,07 vainas por planta, rendimiento por planta de 63,82 g y peso de 100 semillas de 53,3 g; la variable peso de 100 semillas es mayor 13,5 g, en comparación con el grupo II. Alvarado (1997) encontró en los 12 materiales evaluados para esta variable

un promedio de 60,2 g, debido a que su testigo denominado 'ñuña pavita' presentaba valor de 92,8 g por 100 semillas, aumentando la variación; esto no permite diferenciar los materiales en estudio. Según Céspedes (2002), el componente que contribuye más al rendimiento de grano seco en frijol reventón es la variable peso de 100 semillas.

La variable nutricional porcentaje de grasa (v16), conformada por los constituyentes lipídicos 'libres', es la proporción que puede ser extraída por los disolventes menos polares, según Kirk et al. (1996); por su parte, el porcentaje de fibra (v17) cuenta con el mayor residuo orgánico insoluble

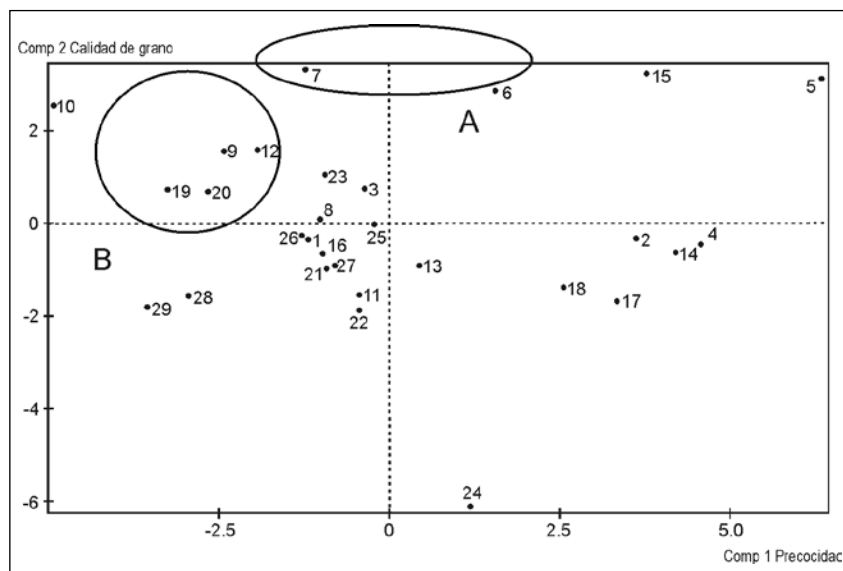


Figura 1. Acciones de frijol en el primer plano factorial. Los números del plano corresponden a las accesiones.

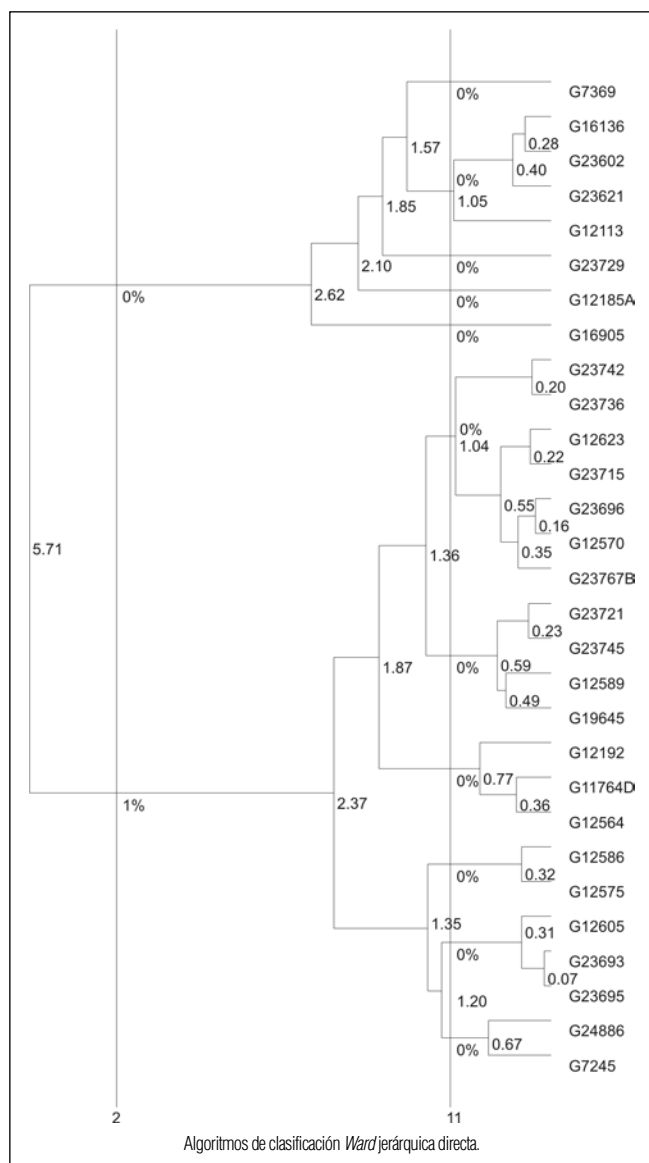


Figura 2. Clasificación jerárquica para las 29 accesiones de frijol reventón.

y comestible, que consiste principalmente en celulosa y cierta proporción de hemicelulosa, y el porcentaje de ceniza (v18) se considera como una medida general de calidad o grado -por ejemplo, en té, harina y gelatina comestible- y a menudo es un criterio útil en la identificación de la autenticidad de ciertos alimentos; según Kirk et al. (1996), estas variables presentan valores respectivos de 1,86, 1,76, y 3,55. Los valores de porcentaje de grasa y porcentaje de fibra son superiores a los del grupo II, mientras que el porcentaje de ceniza es inferior en 0,6% al del grupo II.

La variable de porcentaje de expansión, con 46,4%, es menor, aunque la accesión G23729, que pertenece al

primer grupo, es la que mayor capacidad de expansión tiene; lo que indica que este análisis debe discriminar aún más a los grupos.

Las plantas de este grupo se caracterizan principalmente en su flor por: color de alas (v23), blanco con pigmento rosado; color predominante del limbo del estandarte (v24), blanco con pigmento rosado; patrón de distribución predominante del color del limbo del estandarte (v25), no uniforme; color predominante del cuello del estandarte (v26), verde. El hábito de crecimiento (v27) de este grupo es IV, el color de sus vainas (v30) es crema y su forma de semilla (v38), ovoide.

El segundo grupo (II) está conformado por 21 accesiones: G23742, G23736, G12623, G23715, G23696, G12570, G23767B, G23721, G23745, G12589, G19645, G12192, G11764D, G12564, G12586, G12575, G12605, G23693, G23695, G24886 y G7245. En este grupo las

Tabla 5. Comportamiento de los dos grupos de frijol identificados por las variables de mayor relevancia.

Variables	Grupo	
	I	II
v2 Días hasta la emergencia	15	17
v3 Días hasta la floración	79	89
v4 Días hasta la madurez fisiológica	146	184
v5 Días hasta la cosecha	186	207
v6 Longitud de vainas	9,12	9,51
v8 Vainas por planta	42,07	46,96
v10 Rendimiento por planta	63,82	78,25
v11 Peso de 100 semillas	53,30	39,80
v16 Porcentaje de grasa	1,86	1,75
v17 Porcentaje de fibra	1,76	1,70
v18 Porcentaje de ceniza	3,55	3,81
v21 Porcentaje de expansión	46,38	69,00
v23 Color de alas	6 (blanco con pigmento rosado)	1 (blanco)
v24 Color predominante del limbo del estandarte	7 (blanco con pigmento rosado)	5 (lila)
v25 Patrón predominante de distribución del color del limbo del estandarte	2 (no uniforme)	1 (uniforme)
v26 Color predominante del cuello del estandarte	1 (verde)	1 (verde)
v27 Hábito de crecimiento	IV (voluble)	IV (voluble)
v30 Color de vainas	1 (crema)	6 (habano o café claro)
v38 Forma de la semilla	2 (ovoide)	1 (redonda)

variables fenológicas se caracterizan por los siguientes valores: 17 d hasta la emergencia, 89 d hasta la floración, 183 d hasta la madurez fisiológica y 207 d hasta la cosecha; en este grupo las accesiones son menos precoces, su ciclo fenológico es mayor en número de días que el primer grupo.

El rendimiento en este grupo II se caracteriza por los siguientes valores: vainas de 9,51 cm de longitud; 46,9 vainas por planta; rendimiento por planta de 78,25 g y peso de 100 semillas de 39,80 g. Las variables nutricionales porcentaje de grasa (v16), porcentaje de fibra (v17) y porcentaje de ceniza (v18) tienen valores de 1,75, 1,70, y 3,81, respectivamente. Los valores de porcentaje de grasa y porcentaje de fibra son inferiores al grupo II, en tanto que el porcentaje de ceniza es superior en 0,26% al del primer grupo. La variable porcentaje de expansión (v21), con 69,00%, es mayor que el del primer grupo en 22,61%.

En las variables cualitativas, las plantas de este grupo se caracterizan en su flor por: color de alas (v23), blanco; color predominante del limbo del estandarte (v24), lila; patrón de distribución predominante del color del limbo del estandarte (v25), uniforme; color predominante del cuello del estandarte (v26), verde. El hábito de crecimiento (v27) de este grupo es IV, el color de sus vainas (v30) es habano o café claro y su forma de semilla (v38), redonda.

Conclusiones

Las variables que dan mayor información con respecto al comportamiento de las accesiones fueron la precocidad en el ciclo de vida y el rendimiento, representado por la longitud de la vaina, el número de vainas por planta y el peso de 100 semillas; las variables de calidad nutricional que se destacaron fueron: porcentaje de grasa, porcentaje de fibra y porcentaje de ceniza y también, la variable funcional de porcentaje de expansión, que permite diferenciar con mayor claridad los grupos de conglomerados en las dos particiones analizadas. De las variables nominales cabe destacar los descriptores cualitativos de la flor: el color de alas, el color predominante del limbo del estandarte, el color de las vainas y la forma de la semilla.

Los materiales más promisorios de frijol precoces fueron las accesiones G12185A y G7369. Las accesiones que presentaron el mejor rendimiento por planta fueron G12575, G12586, G7245 y G24886, mientras

que entre las accesiones promisorias por porcentaje de expansión se destacaron: G23729, G12570, G12623, G23715, G23736, G23742, G23767B, G12605, G23693 y G23695.

De otra parte, el potencial del frijol tipo reventón debe analizarse en un futuro estudio de mercado que permita evaluar la capacidad de aceptación en el gusto de los consumidores nacionales e internacionales. Además, es necesario conocer los niveles de digestibilidad de los componentes nutricionales de las accesiones seleccionadas.

Literatura citada

- Alvarado, G. 1997. Caracterización y correlación fenotípica de frijol reventón (*Phaseolus vulgaris* L.) en la localidad de Caracancha (Huarochi, Lima). Trabajo de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina (Perú). 98 p.
- Association of Official Agricultural Chemists [AOAC]. 1980. Methods for analysis. Washington, DC.
- Becúe, M. 2000. Manual de introducción a los métodos factoriales y clasificación con SPAD. Servei d'estadística, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona (España). 60 p.
- Céspedes, R. 2002. Evaluación de rendimiento de frijol nuña (*Phaseolus vulgaris*, fabaceae) bajo diferentes sistemas de cultivos, Chiquisaca (Ancash). Trabajo de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina (Perú). 81 p.
- Corporación Colombia Internacional [CCI]. 1999. Boletín mensual del Sistema de información de precios del sector agrario (SIPSA) N° 30, septiembre. <http://www.cci.org.co>
- Corporación Colombia Internacional [CCI]. 2000. Perfil del producto, frijol. <http://www.cci.org.co>
- Febres, M. 1992. Ensayo comparativo de seis colecciones de frijol 'nuña' (*Phaseolus vulgaris*, fabaceae) en condiciones de costa. Trabajo de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina (Perú). 87 p.
- Gallegos, L. 1988. Caracterización fenotípica de 22 variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo nuña en la costa central. Trabajo de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina (Perú). 90 p.
- Gamarra, M., J. Puma, J. Arana y V. Ortiz. (1996). Qosqo poroto (INIA). Primera variedad de frijol reventón, poroto, nuña o numia, para los valles interandinos de la Sierra. Boletín divulgativo. Instituto Nacional de Investigación Agraria, Proyecto regional de frijol para la zona Andina (INIA-PROFIZA). 25 p.
- Kirk, R., H. Egan y R. Sawyer. 1996. Composición y análisis de alimentos de Pearson. 2ª edición. Ed. CECOSA, México DF.
- Ligarreto, A. 2001. Variabilidad genética en germoplasma de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) determinada por características morfológicas, fisiológicas, bioquímicas y moleculares. Tesis doctoral, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 175 p.
- Muñoz, G., G. Giraldo y J. Fernández de Soto. 1993. Descriptores varietales: arroz, frijol, sorgo. Publicación N° 177. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali. 170 p.
- National Research Council, 1989. Lost crops of the Incas: little known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. National Academy Press, Washington, DC.

- Pla, L.E. 1986. Análisis multivariado: método de componentes principales. Secretaría General de la OEA. Programa regional de desarrollo científico y tecnológico, Washington, DC. 87 p.
- Proexport. (2003). Estudio de mercado de frijol en Colombia. <http://www.proexport.gov.co>.
- Rural Advancement Foundation International [RAFI]. (2001). Communicate. <http://www.rafi.org>
- Tohme, J., O. Toro, J. Vargas y D.G. Debouck. 1995. Variability studies in Andean nuña common beans (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae). *Econ Bot.* 49, 78-95.
- Van Beem, J., J. Kornegay y L. Lareo, 1992. Nutritive value of the nuña popping bean. *Econ. Bot.* 46, 164-170.
- Van Beem, J. y S.C. Spaeth. 1990. Popping in nuña beans (*Phaseolus vulgaris*, Fabaceae) grown outside traditional areas. *Econ. Bot.* 44, 133-135.
- Voyses, O. 1999. New prospects for an ancient crop. *Growing affinities* (december), 14-15.
- Zimmerer, K. 1992. Biological diversity and local development 'popping beans' in the central Andes. *Mountain Research and Development* 12 (1), 47-61.