

Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México

Patricia Pérez Herrera, Gilberto Esquivel Esquivel, Rigoberto Rosales Serna, Acosta-Gallegos Jorge A.

CEVAMEX-INIFAP, Chapingo-México

RESUMEN. En el mejoramiento genético de una especie se requiere de la caracterización de los progenitores utilizados en el mismo, a fin de conocer su utilidad como fuente genética de un carácter determinado, así como para planear las combinaciones apropiadas. La presente investigación tuvo como objetivo la caracterización de un grupo de 49 genotipos de *Phaseolus vulgaris* y uno de *Phaseolus coccineus*, en cuanto a las características físicas, de calidad culinaria y nutricional del grano. La variedad Blanco Tlaxcala (*P. coccineus*) presentó mayor tamaño de grano y menor contenido de proteína que los genotipos de *P. vulgaris*. El 86% de los genotipos evaluados mostraron tiempos de cocción menores a 115 min, característica relacionada con la capacidad de absorción de agua ($r=-0.78$ **). Redlands Pioneer e ICA Zerinja resultaron de cocción rápida y Perry Marrow, Kaboon e ICA Zerinja pueden ser utilizados para desarrollar variedades con bajo contenido de testa. Los genotipos G 2333, Negro Lolotla, REN 27 y J 117 mostraron alto contenido de proteína. BY 94022, Pinto Villa y Negro 150 presentaron la menor actividad de inhibidor de tripsina en frijol cocido. Se encontró suficiente variación genética en la mayoría de las características de calidad determinadas, por lo que existe la posibilidad de su mejoramiento a través de la recombinación y selección.

Palabras clave: Absorción de agua, tiempo de cocción, contenido de proteína, variación genética, mejoramiento.

SUMMARY. Physical, culinary and nutritional characterization in dry bean from the semiarid highlands of Mexico. In the improvement of a given crop species, knowledge on the grain quality and related traits in the progenitors used in the breeding process is needed to establish their usefulness as a source of a given character, and as well as to plan the proper combinations between progenitors. The aim of the present research was to characterize a group of 49 genotypes of *Phaseolus vulgaris* and one of *Phaseolus coccineus*, in relation to physical, cooking and nutritional grain traits. Cultivar Blanco Tlaxcala (*P. coccineus*) showed a larger grain size and lower protein content than any of the *P. vulgaris* cultivars. The 86% of the studied genotypes showed cooking times lower to 115 min, and a significant correlation between this trait and water sorption capacity ($r=-0.78$ **) was found. Cultivars Redlands Pioneer and ICA Zerinja could be used as source of low cooking time; and Perry Marrow, Kaboon and ICA Zerinja in the production of low shell content cultivars. Genotypes G 2333, Negro Lolotla, REN 27 and J 117 showed the highest grain protein content. On the other hand, BY 94022, Pinto Villa and Negro 150 had the lowest trypsin inhibitor activity. Results support the possible use of the above genotypes as sources of those grain traits. In general, large variability was found for most of the quality traits determined; therefore, there is scope for improvement through recombination and selection.

Key words: Seed water absorption, cooking time, protein content, genetic diversity, breeding.

INTRODUCCION

El grano de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) representa uno de los alimentos de importancia en México, ya que junto con el maíz aportan prácticamente la totalidad de las proteínas vegetales que consumen los estratos sociales de bajos ingresos de la ciudad y del campo, ocupando un lugar predominante dentro de la dieta. Además, esta leguminosa constituye un complemento nutrimental al consumo de los cereales, especialmente del maíz (1,2).

En el pasado, los programas de mejoramiento genético del frijol enfocaban sus esfuerzos a la obtención de materiales con buenas características agronómicas, como alto rendimiento por hectárea, resistencia a condiciones ambientales adversas y patógenos, de ciclo vegetativo corto

y uniformidad de planta y grano (1). No obstante, las características de calidad del grano son importantes para los consumidores de frijol. Por ello, en el Programa de Mejoramiento Genético de Frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP), se da importancia a las características físicas, químicas y culinarias del grano como criterios adicionales de selección. Se reconoce la trascendencia de las propiedades del grano que influyen en su aceptación comercial, además de los parámetros importantes desde el punto de vista nutricional. Lo anterior abre la posibilidad de ofrecer mejores variedades tanto a productores como a consumidores.

En frijol existen diferentes clases y su valor comercial es influenciado por características como tamaño, color y uniformidad del grano, además del tiempo de cocción, sabor

y espesor del caldo (3). Por otra parte, el valor nutrimental de esta leguminosa esta determinado en gran medida por el contenido de proteína y su digestibilidad, pues este grano es una de las principales fuentes de este nutrimento para la población de escasos recursos.

Con base en lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue caracterizar en términos de calidad del grano, a los progenitores utilizados en el Programa de Mejoramiento Genético de Frijol del INIFAP. La identificación de materiales con características de calidad sobresalientes permitirá su utilización para llevar a cabo las combinaciones adecuadas entre ellos.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó en el Laboratorio de Calidad de Frijol del CEVAMEX-INIFAP, ubicado en Chapingo, Mex. El germoplasma utilizado en este estudio consistió en 49 genotipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) y uno de frijol ayocote (*P. coccineus*) (Tabla 1). Estos se sembraron en el ciclo agrícola primavera-verano 1996 bajo condiciones de temporal más riego suplementario en el Campo Experimental Valle de México del INIFAP, situado a los 19°29'N, 98°53' O, 2240 msnm, y con una precipitación anual de 635 mm. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con dos repeticiones, la parcela experimental consistió de dos surcos de 6 m de longitud separados a 0.6 m. El experimento se sembró después de un riego de presiembra el día 20 de mayo

y antes de la siembra se fertilizó el suelo con una dosis de 100 kg/ha de cada uno, urea y superfosfato triple.

En madurez de cosecha los granos fueron separados de las plantas y almacenados bajo condiciones ambientales en la bodega del Programa de Frijol. Posteriormente se enviaron muestras de cada parcela y repetición al Laboratorio de Calidad, en donde muestras de 25 granos de frijol por parcela fueron analizados en cuanto a características físicas como el peso y volumen de 100 granos y el contenido de testa, el cuál se determinó mediante separación de esta estructura del grano después de un remojo del mismo y posterior secado a 60°C (4,5). La capacidad de absorción de agua (CAA) se determinó registrando el peso inicial de muestras de 25 granos y peso final luego de remojarlas en agua por 18 h y cuantificó mediante la siguiente fórmula (4,5):

$$CAA = \frac{(\text{Peso de muestra después del remojo} - \text{Peso inicial de muestra}) \times 100}{\text{Peso inicial de muestra}}$$

El tiempo de cocción se cuantificó de acuerdo al procedimiento de evaluación sensorial descrito por Elías, García-Soto y Bressani (5). Para ello se colocó en un equipo Labconco para determinación de fibra cruda, un vaso de Berzelius con 300 ml de agua destilada hasta alcanzar la ebullición. A éste se le agregó una muestra de 25 granos de frijol y mantuvo en ebullición hasta completar la cocción del grano. El tiempo de cocción se registró cuando el 90% de los granos presentaron una textura granular suave al paladar.

TABLA 1
Genotipos de frijol pertenecientes al grupo de Progenitores del Programa de Mejoramiento de Frijol del CEVAMEX-INIFAP, México. 1996

Blanco Tlaxcala ¹	Negro Tacaná	Pinto Bayacora	TLP 19
Bayomex	Negro 150	ICA Zerinzá	TLP 20
Bayo Zacatecas II	Negro 8025	Bola 60 días	TLP 22
Bayo Baranda	Ojo de Cabra Santa Rita	Ochenteño	A 193
Bayo Mecentral	Garbancillo Zarco	Chihuahua 86	G 122
Bayo Victoria	Amarillo de Calpan	Cacahuete 72	G 2333
Bayo Alteño	Flor de Mayo Bajío	Canario 107	G 4523
Bayo criollo del Llano	Flor de Mayo M 38	Durango 8	G 13746
Bayo INIFAP	FM 94006	Puebla 152	G 17717
BY 91023	Perry Marrow	Michigan Dark Red Kidney (MDRK)	G 19428
BY 94022	Redlands Pioneer	Satevó	J 117
Negro Perla	Pinto Villa	Kaboon	
Negro Lolotla	Pinto Zapata	REN 27	

¹ *Phaseolus coccineus* L

El porcentaje de sólidos en el caldo de cocción se evaluó por diferencia de peso, sometiendo 10 ml del caldo o licor de cocción a un secado a 60°C, en cajas de petri durante aproximadamente 48 h.

La evaluación del contenido de proteína se determinó en muestras molidas de frijol crudo (molino UDY con malla 0.4 mm) con un equipo Technicon Autoanalyzer II, usando el procedimiento descrito por Larry y Charles (6). La digestibilidad *in vitro* de la proteína se determinó por el método de Hsu, Vavak, Satterlee y Miller (7), en frijol cocido, sometido a secado a 60°C durante 72 horas y una molienda en un molino UDY (malla 0.4 mm). El nivel de inhibidor de tripsina se cuantificó en frijol cocido igualmente acondicionado, según el método descrito por Smith, Van Megen, Twaalfhoven y Hitchcock (8), en donde la actividad del inhibidor de tripsina se determinó a través de la pérdida de la actividad de la tripsina, bajo condiciones estándar.

Todas las determinaciones se realizaron por duplicado y los resultados se sometieron a un análisis de varianza, utilizando un diseño completamente al azar con dos repeticiones. En características en las cuales se detectaron diferencias significativas entre genotipos, se realizó la prueba de

comparación de medias de Tukey a un nivel de significancia de 0.05. Los resultados de ésta prueba no se incluyen en el trabajo, pero sí las figuras en las que se presentan los genotipos con valores estadísticamente más altos y más bajos para las características evaluadas (Figuras 1 a 6).

La digestibilidad *in vitro* de la proteína y la actividad del inhibidor de tripsina se cuantificaron en una sola repetición y por ello no fueron sometidas a análisis de varianza, sin embargo, si se presentan y discuten sus estadísticas básicas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los análisis de varianza detectaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) entre genotipos para todas las características evaluadas, la excepción fueron la digestibilidad *in vitro* de la proteína y la actividad del inhibidor de tripsina que no se analizaron por no contar con información a través de repeticiones. Se encontró una gran variabilidad entre genotipos en todos los parámetros estudiados (Tabla 2). Las diferencias fueron más notorias en la capacidad de absorción de agua y tiempo de cocción; resultados similares a los obtenidos por Jacinto, Acosta-Gallegos y Ortega (3).

TABLA 2
Estadísticas básicas de características de calidad evaluadas en 49 genotipos de *Phaseolus vulgaris* y uno de *P. coccineus*, var. Blanco Tlaxcala

Característica	<i>Phaseolus vulgaris</i>			DE	CV%	Blanco Tlaxcala
	Media	Mínimo	Máximo			
Peso 100 granos (g)	34,8	16,0	58,3	10,8	31,0	88,4
Volumen 100 granos (ml)	27,7	12,0	44,0	9,0	32,5	76,0
Capacidad de absorción de agua (%)	83,4	6,1	126,9	32,1	38,4	104,5
Testa (%)	8,2	5,5	11,4	0,9	11,1	8,7
Proteína (%)	23,5	20,4	29,0	2,0	8,7	18,4
Tiempo de cocción (min)	91,5	46,0	207,0	36,6	40,1	69,0
Sólidos en caldo (%) ¹	0,41	0,16	0,76	0,1	26,8	0,36
Digestibilidad <i>in vitro</i> (%)	85,3	82,1	89,1	1,8	2,1	86,2
Actividad de inhibidor de Tripsina (mg/g)	1,38	0,50	1,97	0,3	24,9	1,4

DE= Desviación estándar; CV = Coeficiente de variación (%)

¹ Incluye resultados de 46 genotipos que conservaron el grano íntegro después de la cocción

La digestibilidad *in vitro* de la proteína mostró la menor variación entre los genotipos estudiados. En el análisis estadístico del contenido de sólidos en caldo (tanto de estadísticas básicas, como análisis de varianza que se discute posteriormente) sólo se consideraron los resultados de 46 genotipos de *P. vulgaris* y 1 de *P. coccineus* que conservaron el grano entero después de la cocción, ya que los genotipos de *P. vulgaris* de grano grande Kaboon, Michigan Dark Red Kidney (MDRK) y A 193 presentaron valores muy altos para

este parámetro (5.7%, 5.7% y 1%) como resultado de la ruptura de grano antes de completarse su cocción.

Por otra parte, además de la digestibilidad *in vitro* de la proteína, los porcentajes de proteína y de testa mostraron los menores coeficientes de variación de todos los parámetros evaluados.

Los resultados obtenidos en la variedad Blanco Tlaxcala (*P. coccineus*) se presentan por separado en la Tabla 2, debido a sus características particulares en relación a los demás

genotipos estudiados de *P. vulgaris*.

En las Figuras 1 a 8, citadas en las siguientes secciones, se presentan los resultados obtenidos con genotipos de características contrastantes, para cada una de las variables analizadas.

Peso y volumen de 100 granos

La amplitud de las medias del peso y volumen de 100 granos de los genotipos de *P. vulgaris* estudiados se ubicaron en el intervalo de 16.0 a 58.3 g y 12.0 a 44.0 ml, respectivamente (Tabla 2). Estos resultados soportan la amplia variabilidad existente en los materiales analizados para dichos parámetros.

La variedad Blanco Tlaxcala de *P. coccineus*, comúnmente conocido como frijol ayocote, presentó el mayor tamaño de grano. Las semillas de *P. coccineus* son generalmente reniformes y de tamaño grande, siempre mayores a las de *P. vulgaris* (9). *P. coccineus* es una especie compatible con *P. vulgaris* y su inclusión en el grupo de progenitores tuvo por objetivo el desarrollo, a través de cruza interespecíficas, de genotipos de frijol con adaptación a sitios altos (>2400 msnm), en los que *P. coccineus* se adapta adecuadamente (9).

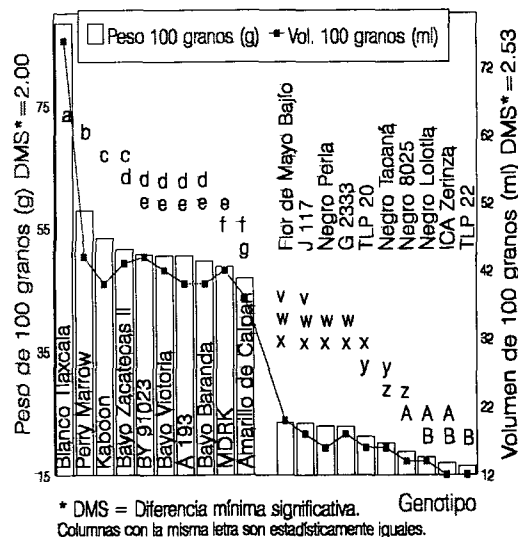
Dentro de los genotipos de *P. vulgaris* con grano más grande se encontraron genotipos de frijol tipo bayo, como Bayo Zacatecas, Bayo Victoria, Bayo Baranda y la línea BY 91023; materiales de grano blanco como Perry Marrow y Kaboon (diferenciales de antracnosis de origen andino, que poseen genes de resistencia a antracnosis muy efectivos en el Altiplano de México), además de la variedad Michigan Dark Red Kidney (MDRK) de grano rojo arriñonado, la línea A 193 (con grano rojo moteado crema) y la variedad criolla Amarillo de Calpan. Por otra parte, dentro de los genotipos de grano más pequeño predominaron los frijoles negros entre los que se encuentran Negro Lolotla (weedy type), Negro 8025, Negro Tacaná, Negro Perla y las líneas TLP 22 y TLP 20, además de los materiales ICA Zerinzza, G 2333, J 117 y Flor de Mayo Bajío, con diferente color y forma de grano (Figura 1). Estos resultados son similares a los obtenidos por Jacinto, Acosta-Gallegos y Ortega (1993), quienes al estudiar un grupo de 40 variedades mejoradas de frijol, encontraron que las variedades de frijol bayo se ubicaron dentro de las de mayor peso y volumen; mientras que las de grano más pequeño fueron las variedades de frijol negro tropical (3).

Capacidad de absorción de agua y contenido de testa

La capacidad de absorción de agua de los materiales estudiados mostró un amplio rango de variación, ubicándose entre valores promedio del 6.1% al 126.9% (Figura 2), con un C.V. del 38.4% (Tabla 2). De los 50 materiales analizados, 29 de ellos (el 57%) presentaron una absorción de agua su-

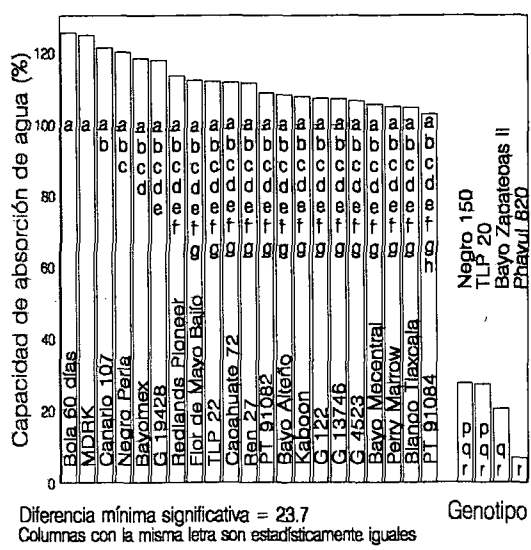
perior al 90%, que puede considerarse bastante adecuada para obtener tiempos de cocción menores a los 110 min; 12 genotipos absorbieron entre un 50% a 90% de su peso y sólo 10 menos del 50%; destacando la variedad criolla Durango 8 por su baja capacidad de absorción (6.8). Es conocida la baja capacidad de absorción de agua y dureza a la cocción de los genotipos de la región semiárida (10), de donde proviene la variedad Durango 8.

FIGURA 1
Genotipos con valores extremos de peso y volumen de 100 granos



* DMS = Diferencia mínima significativa. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales.

FIGURA 2
Genotipos con valores extremos de capacidad de absorción de agua

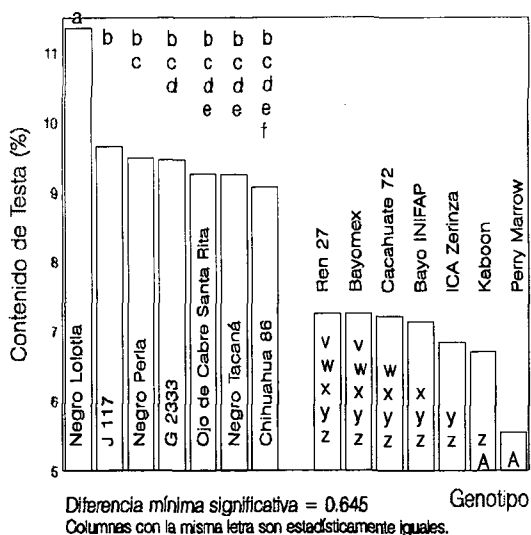


Diferencia mínima significativa = 23.7. Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales.

El contenido de testa fue el parámetro físico con menor variabilidad entre genotipos (C.V.= 11.1%), el cual representó entre un 5.5% a 11.4% del peso del grano (Tabla 2), encontrándose genotipos de frijol con contenidos de testa inferiores a los reportados por Jacinto, Acosta-Gallegos y Ortega (3). Dentro de los materiales evaluados, destacaron la variedad Negro Lolotla (weedy type) por su alto contenido de testa (11.4%) y los genotipos Perry Marrow, Kaboon, ICA Zerínza, Bayo INIFAP, Cacahuatate 72, Bayomex y REN 27, por contener una baja proporción de esta estructura, con valores inferiores al 7.5% (Figura 3).

FIGURA 3

Genotipos con valores extremos de contenido de testa



El contenido de testa, al parecer, fue una característica modificada en forma indirecta durante el proceso de domesticación, ya que los frijoles silvestres de *P. vulgaris* muestran diferentes grados de latencia, al parecer asociados a la impermeabilidad de la testa, similares al de Negro Lolotla (weedy type). Sin embargo, es probable que la impermeabilidad de la testa no sólo este dada por el porcentaje de la misma, ya que otros compuestos o estructuras intrínsecas de ésta, pudieran afectar la imbibición (11).

De acuerdo con los resultados de las Pruebas de Tukey (P=0.05) (datos no presentados), no se observó un patrón definido en la capacidad de absorción de agua de acuerdo al color o apariencia del grano. Sin embargo, en el caso del porcentaje de testa, dentro de los genotipos que presentaron el mayor peso de esta estructura del grano, se encontraron preferentemente frijoles negros brillantes (Negro Lolotla y N. Perla), negros opacos (N. Tacaná) y del tipo ojo de cabra (J 117, Ojo de Cabra Santa Rita y Chihuahua 86); mientras que aquellos grupos correspondientes a los de menor porcentaje de testa se ubicaron principalmente frijoles de color blanco tipo alubia (REN 27, ICA Zerínza y Kaboon).

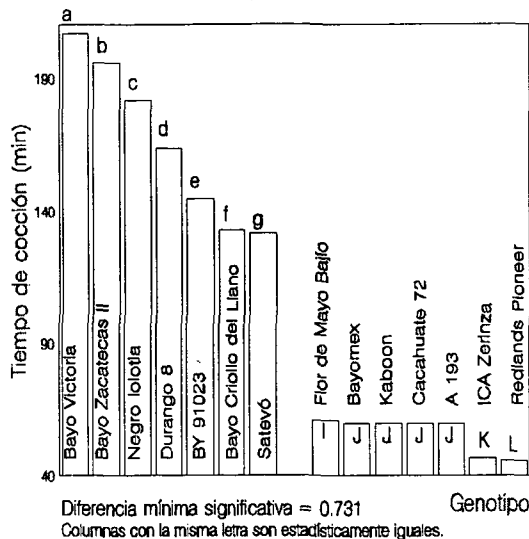
Tiempo de cocción

El tiempo de cocción constituye uno de los parámetros de calidad más importantes en el grano de frijol. La variabilidad observada en el tiempo de cocción fue alta (C.V.= 40.1%), con valores ubicados entre los 46 a 207 min (Tabla 2). Cuarenta y uno de los 50 genotipos evaluados (82%) mostraron tiempos de cocción menores a los 110 min. Sólo 7 genotipos superaron los 115 min de tiempo de cocción. De lo anterior se deduce que la mayoría de los materiales que se utilizan como progenitores en el programa de mejoramiento genético, poseen tiempos de cocción adecuados. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la calidad del frijol no sólo esta determinada por este parámetro, sino también por su apariencia, sabor, valor nutricional, etc. (3,12,13).

Los genotipos Redlands Pioneer e ICA Zerínza resultaron sobresalientes por su bajo tiempo de cocción de 46 y 47 min, respectivamente; así como las variedades Flor de Mayo Bajío, Cacahuatate 72, Kaboon y Bayomex, además de la línea A 193, que requirieron de un tiempo de cocimiento entre 60 y 61 min. Por lo anterior, estos genotipos deben utilizarse como progenitores para el desarrollo de variedades de rápida cocción (Figura 4). Además, Kaboon y A 193 son fuentes comprobadas de resistencia a la antracnosis (14).

FIGURA 4

Genotipos con valores extremos de tiempo de cocción



Por el contrario, las variedades Bayo Victoria, Bayo Zacatecas II, Negro Lolotla, Durango 8, la línea BY 91023, Bayo criollo del Llano y Satevó mostraron tiempos de cocción mayores a 130 min, con excepción de Negro Lolotla, todas provienen de la región del Altiplano semiárido de México; destacando las dos primeras variedades por requerir 207 y 196 min para cocerse, respectivamente.

La dureza a la cocción en los genotipos de frijol de la región semiárida de México ya ha sido señalada (3,10,15). Sin embargo, las variedades de lenta cocción arriba señaladas, poseen excelente adaptación a las condiciones erráticas climáticas de la región semiárida (resistencia a la sequía o estabilidad de rendimiento).

Espesor de caldo

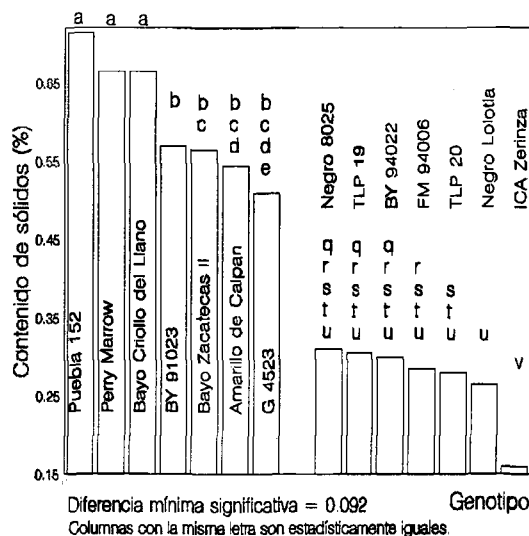
El espesor de caldo, evaluado en términos de porcentaje de sólidos en el caldo de cocción, presentó una variación entre el 0.16% al 0.76% en 47 de los 50 materiales estudiados, hecho que indica que la mayoría de los genotipos produjeron caldos poco espesos.

Los 3 genotipos restantes, Kaboon (tipo alubia), MDRK y A 193 (grano rojo y rojo moteado, respectivamente), presentaron porcentajes de sólidos en caldo de 5.71%, 5.70% y 0.99%, en el mismo orden. Lo anterior se debió a que los granos de estos materiales se rompieron antes de cocerse, favoreciendo la salida de sólidos del cotiledón hacia el caldo de cocción durante el tiempo restante requerido para completar la cocción, por lo anterior, dichos genotipos no se incluyeron en el análisis estadístico.

El rompimiento de los granos fue más notorio en las variedades Kaboon, que presentó un contenido relativamente bajo de testa (6.7%) y un tiempo de cocción corto (60 min), y en MDRK, con un porcentaje intermedio de testa (8.7%) y un tiempo de cocción ligeramente mayor (70 min). Esto sugiere que el contenido de testa no es factor determinante en la ruptura del grano durante la cocción, sino que la fragilidad de esta estructura y capacidad de hinchamiento del cotiledón al ser sometidos a la acción del calor en presencia de agua durante el cocimiento, pueden facilitar el rompimiento del grano; además de la naturaleza estructural del cotiledón que pueda favorecer la salida de sólidos al caldo de cocción. Lo anterior se refuerza en el hecho de que el genotipo A 193, con un contenido de testa intermedio (7.9%) y un tiempo de cocción de 60 min, a pesar de sufrir ruptura del grano durante el proceso de cocción, no permitió la salida de un porcentaje de sólidos tan grande como la variedad Kaboon, con el mismo tiempo de cocción.

Entre los 47 genotipos restantes, el mayor contenido de sólidos en el caldo lo presentaron genotipos de grano grande como Perry Marrow, Bayo Zacatecas, la línea BY 91023 y Bayo criollo del Llano; así como frijoles blancos tipo alubia con bajo porcentaje de testa (Perry Marrow y Kaboon). Entre los genotipos que produjeron los caldos más delgados se encuentran frijoles negros como Negro Lolotla (brillante) con el mayor porcentaje de testa (11.4%) y TLP 20, TLP 19 y Negro 8025 (opacos) (Figura 5), resultados que coinciden con datos reportados por otros autores (3).

FIGURA 5
Genotipos con valores extremos de sólidos en caldo de cocción

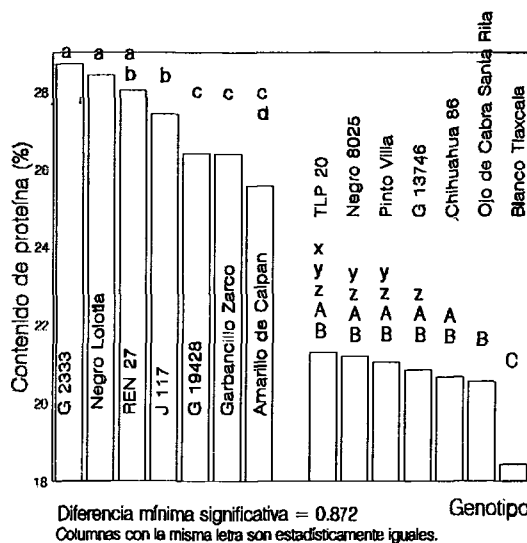


En nuestro país los frijoles negros se consumen preferentemente como frijoles refritos (16), por lo que la presencia de caldos ligeros para este tipo de materiales no afecta su aceptación por parte del consumidor. Por otra parte, en frijoles tipo bayo o alubia, la presencia de caldos más espesos resulta preferible desde el punto de vista sensorial.

Contenido de proteína

El contenido de proteína promedio de los materiales estudiados varió dentro de los límites de 20.4% a 29.0%, con un coeficiente de variación en los genotipos de *P. vulgaris* de 8.7% (Tabla 2 y Figura 6).

FIGURA 6
Genotipos con valores extremos de contenido de proteína



De acuerdo con Bressani, Mendez y Scrimshaw (17), la mayor parte de la literatura sobre el tema indica que los materiales de frijol presentan valores de proteína cruda en base seca que oscilan entre un 16% y 30%. Otros autores señalan que las variedades de *Phaseolus vulgaris*, más consumidas en Latinoamérica, tienen un contenido de proteína promedio del 20%, con un intervalo de variación del 19.3% al 35.2% (18), valores dentro de los cuales se ubicaron todos los materiales de *Phaseolus vulgaris* aquí evaluados.

La variedad Blanco Tlaxcala (*P. coccineus*), presentó un valor estadísticamente inferior (18.4%) a todos los demás genotipos estudiados, hecho que puede estar relacionado con el mayor tamaño del grano.

Los genotipos con mayor contenido de proteína fueron: G 2333, Negro Lolotla, REN 27, J 117, G 19428, Garbancillo Zarco y Amarillo de Calpan; mientras que los menores contenidos correspondieron a los genotipos Blanco Tlaxcala (*P. coccineus*), Ojo de Cabra Santa Rita, Chihuahua 86, G 13746, Pinto Villa, Negro 8025 y TLP 20 (Figura 6). Como puede observarse, el contenido de proteína no mostró relación con el color de grano.

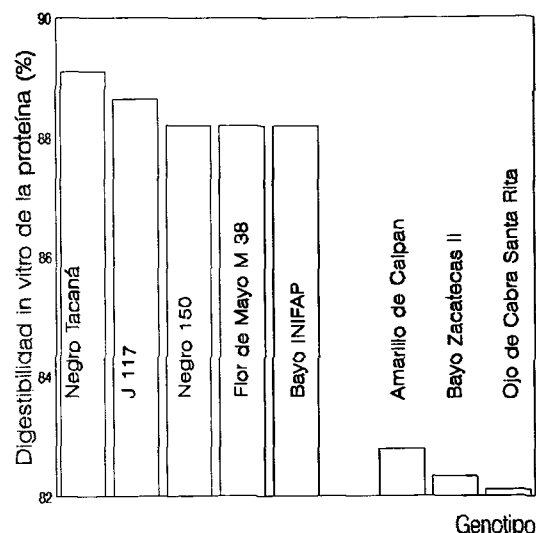
Digestibilidad *in vitro* de la proteína

La digestibilidad *in vitro* de la proteína del frijol cocido en los genotipos estudiados se ubicó en el intervalo de 82.1% a 89.1%, con un coeficiente de variación para los materiales de *P. vulgaris* del 2.1%, lo que indica que la digestibilidad en los diversos genotipos de frijol es similar, incluyendo a la variedad Blanco Tlaxcala, que presentó un valor de digestibilidad cercana al valor promedio obtenido para los genotipos de *P. vulgaris* (Tabla 2). Estos valores fueron ligeramente menores a los detectados por Jacinto y Campos (19) al evaluar esta característica en siete variedades y una línea de diversos tipos de frijol común cocido, quienes además indicaron que la digestibilidad *in vitro* de la proteína fue más alta en el frijol cocido (84.1% al 93.2%) que en el frijol crudo (76.0% a 82.2%).

Se sabe que con la cocción la digestibilidad de la proteína del frijol aumenta, probablemente como resultado del incremento en la biodisponibilidad de los aminoácidos que forman la proteína. Adicionalmente, la acción térmica reduce considerablemente la actividad de algunos factores antinutricionales del grano de frijol, como el inhibidor de tripsina y las lectinas o fitohemaglutininas (20,21).

Dentro de los genotipos con mayor digestibilidad se encontraron Negro Tacaná, J 117, Negro 150, Flor de Mayo M 38 y Bayo INIFAP con valores superiores al 88%, mientras que los genotipos con menor digestibilidad fueron Ojo de Cabra Santa Rita y Bayo Zacatecas II, y Amarillo de Calpan con valores inferiores al 83% (Figura 7).

FIGURA 7
Genotipos con valores extremos de digestibilidad *in vitro* de la proteína en frijol cocido



El 90% de los genotipos estudiados presentaron niveles de digestibilidad *in vitro* de la proteína entre el 83.0% al 86.9%, intervalo muy estrecho, en comparación con la variabilidad observada en otras características. La variedad Blanco Tlaxcala (*P. coccineus*), presentó un valor de digestibilidad del 86.2%, comparable con los niveles observados en el grueso de la población estudiada.

Debido a la escasa variación observada en este parámetro, es difícil suponer la posibilidad del mejoramiento hacia la obtención de genotipos con proteína de mayor digestibilidad. La baja variación observada puede ser además resultado del efecto causado por la cocción, al reducir o desactivar algunos factores antinutricionales presentes en el frijol crudo. No se descarta sin embargo, la posibilidad de la existencia de diferencias en el valor nutricional de los genotipos de frijol estudiados, en cuanto a la presencia y disponibilidad de aminoácidos particulares u otros factores antinutricionales no cuantificados en el presente trabajo.

Actividad del inhibidor de tripsina

La actividad de inhibidor de tripsina en el grano cocido de los 49 genotipos de *P. vulgaris* analizados se ubicó en el intervalo de 0.50 a 1.97 mg/g de muestra, con un coeficiente de variación intermedio (24.9%). Estos valores superan los reportados por Jacinto y Campos (19), quienes detectaron niveles de este factor antinutricional de 0.21 a 0.78 mg/g de muestra.

La variabilidad observada en este factor antinutricional indica la posibilidad de realizar mejoramiento hacia la obtención de variedades con baja actividad de inhibidor de tripsina resistente al efecto térmico originado por la cocción:

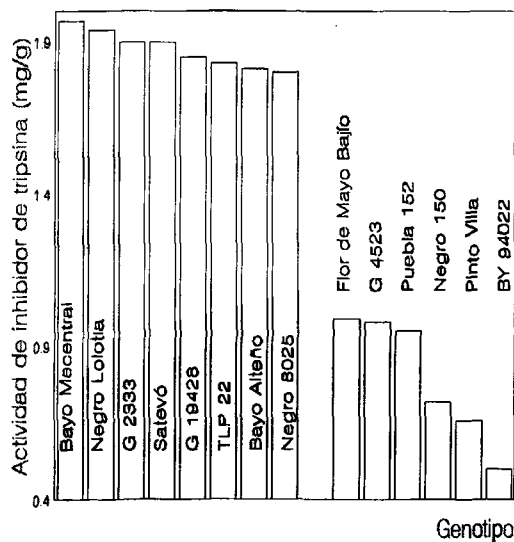
ya sea como resultado de una baja actividad de inhibidor inicial en el frijol crudo, o bien con una mayor susceptibilidad a la exposición al calor, durante el proceso de cocción del grano.

Sin embargo, la selección de estos materiales en grandes poblaciones, mediante el procedimiento utilizado en la presente investigación resultaría costoso, por lo que se sugiere utilizar este parámetro como criterio de selección de progenitores o bien en las últimas etapas de selección en generaciones avanzadas.

Los genotipos que destacaron por presentar los menores niveles de actividad del inhibidor de tripsina fueron BY 94022, Pinto Villa y Negro 150, con valores menores a los 0.75 mg/g; mientras que Bayo Mecentral, Negro Lolotla, G 2333 y Satevó presentaron los niveles más altos para este factor antinutricional (mayores o iguales a 1.90 mg/g), según se observa en la Figura 8.

FIGURA 8

Genotipos con valores extremos de actividad de inhibidor de tripsina en frijol cocido



La variedad Blanco Tlaxcala de *P. coccineus* presentó una actividad de inhibidor de tripsina cercana a la media de los genotipos de *P. vulgaris*.

Correlaciones entre características

El peso de 100 granos mostró una alta correlación positiva estadísticamente significativa con el volumen de 100 granos ($r= 0.99^{**}$), ya que ambos parámetros se encuentran relacionados con el tamaño de grano. En el caso de selección por tamaño del grano, cualquiera de esas dos características puede ser utilizada, puesto que ambas son fáciles de determinar.

El tiempo de cocción presentó una alta correlación

negativa estadísticamente significativa con la capacidad de absorción de agua ($r= -0.78^{**}$); esto indica que conforme el grano absorbe más agua durante el remojo previo a la cocción por un período de 18 h, el tiempo de cocción disminuye, tal como ha sido señalado por Castellanos y Guzmán-Maldonado (15) y Castellanos, Guzmán-Maldonado, González de Mejía y Acosta-Gallegos (13).

Otros autores han indicado que el porcentaje de testa es determinante en el tiempo de cocción del frijol y otras leguminosas (21-23); sin embargo la correlación observada entre estos dos factores fue baja ($r= 0.28$), de manera que la variación en los tiempos de cocción, depende en gran proporción de las diferencias en la capacidad de imbibición de las variedades de frijol, y no de otros componentes estructurales del grano, como es el porcentaje de testa, característica que podría estar más relacionada con la acción como una cubierta protectora a la invasión de patógenos y desde el punto de vista sensorial, con la textura del frijol cocido.

La capacidad de absorción de agua durante el remojo se puede utilizar en el proceso de selección para eliminar en generaciones tempranas aquellas líneas que absorben menor cantidad de agua. La capacidad de absorción de agua permite evaluar el grado de permeabilidad al agua del grano de frijol durante el remojo y detectar el fenómeno de testa dura, relacionado con tiempos de cocción prolongados (15).

Dado que la calidad del grano de frijol se ve influenciada, además del efecto genético, por un gran número de factores ambientales, como el tipo de suelo, región agroecológica de siembra, factores climáticos, manejo del cultivo, etc.; la calidad de esta leguminosa no sólo es reflejo de la información genética contenida dentro de un genotipo determinado, sino de la combinación de todo un conjunto de factores que deben tomarse en cuenta para la obtención de genotipos que satisfagan las necesidades de comercialización y del consumidor final.

CONCLUSIONES

La variedad Blanco Tlaxcala (*P. coccineus*) presentó el mayor tamaño de grano y más bajo contenido de proteína, valores característicos de esta especie, y diferentes a los de los genotipos de *P. vulgaris*.

La capacidad de absorción de agua y tiempo de cocción de la mayoría de los genotipos estudiados fueron adecuados (más del 90 % de agua absorbida y menos de 110 min). Lo anterior en parte asegura el progreso en este aspecto en el Programa de Mejoramiento Genético del Frijol.

Para incorporar caracteres de calidad, los genotipos Redlands Pioneer e ICA Zerinzta pueden utilizarse como fuente de rápida cocción; Perry Marrow, Kaboon e ICA Zerinzta pueden aprovecharse en la obtención de variedades

con bajo contenido de testa; mientras que desde el punto de vista nutricional: G 2333, Negro Lolotla, REN 27 y J 117 pueden emplearse como fuentes de genes para elevar el contenido de proteína y BY 94022, Pinto Villa y Negro 150 como fuentes de baja actividad de inhibidor de tripsina.

REFERENCIAS

1. Navarro SFJ. Marco de referencia del área. En: Frijol en el Noroeste de México (Tecnología de producción). Lépiz I.R. y S.F.J. Navarro (Eds). SARH, INIA, CIAPAN, CAEVAC. Comisión Permanente para la Investigación y Experimentación Agrícola en Sinaloa. Primera Edición. Culiacán, Sinaloa. México. 1983;p:1-28.
2. INEGI. Abasto y comercialización de productos básicos. Frijol. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Secretaría de Programación y Presupuesto. México. 1989;63 p.
3. Jacinto HC, JA Acosta-Gallegos y AJ Ortega. Caracterización del grano de variedades mejoradas de frijol en México. *Agric Tec Mex*. 1993;19(2):167-179.
4. Guzmán-Maldonado H, C Jacinto H y JZ Castellanos. Manual de métodos para determinar características de calidad en frijol Común (*Phaseolus vulgaris L.*). SAGAR, INIFAP, Campo Experimental del Bajío. México. 1995;77 p.
5. Elías LG, A García-Soto y R Bressani. Métodos para establecer la calidad tecnológica y nutricional del frijol *Phaseolus vulgaris*. Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP). Guatemala, C.A. 1986;42 p.
6. Larry LW and WG Charles. Total protein nitrogen measure automated technicon BD/AAL. Method Presented at the 88th Annual Meeting of the AOAC. 1974;50 p.
7. Hsu HW, DL Vavak, LD Satterlee and GA Miller. A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *J Food Sci*. 1977;42:1269.
8. Smith C, W Van Megen, L Twaalfhoven and C Hitchcock. The determination of trypsin inhibitor levels in foodstuffs. *J Sci Food Agric*. 1980;31:341-350.
9. Cárdenas RF. Clasificación preliminar de los frijoles en México. SARH, INIFAP. Folleto Técnico No. 81. 1984;59 p.
10. Castellanos JZ y JA Acosta-Gallegos. Calidad de cocción y contenido de proteína de 154 genotipos de frijol provenientes del altiplano semiárido. *Agrociencia*. (Serie Fitociencia) 1992;3:55-64.
11. Egley GH. Water-impermeable seed coverings as barriers to germination. In: Taylorson, R.B. (ed). Recent advances in the development and germination of seeds. Plenum Press. Series A: Life Sciences. Vol. 187. New York, USA. 1989;207-223.
12. Castellanos JZ, SH Guzmán-Maldonado, JA Acosta-Gallegos and JD Kelly. Effects of hardshell character on cooking time of common beans grown in the semiarid highlands of Mexico. *J Sci Food Agric*. 1995;69:437-443.
13. Castellanos JZ, SH Guzmán-Maldonado, E González de Mejía y JA Acosta-Gallegos. Efecto de la localidad de siembra sobre la aceptación sensorial y otras características nutricionales y de calidad del grano en frijol común. *Arch Latinoamer Nutr* 1995;45(1):50-55.
14. Pastor-Corrales MA. Estandarización de variedades diferenciales y de designación de razas de *Colletotrichum lindemuthianum* (Abstracts) *Phytopatology* 1991;81:694.
15. Castellanos JZ y SH Guzmán-Maldonado. Effect of hard shell in cooking time of common beans in the semiarid highlands of Mexico. *Ann Rep Bean Improv Coop*. 1994;37:103-105.
16. Castellanos ZJ, MH Guzmán, A Jiménez, C Mejía, RJJ Muñoz, JA Acosta-Gallegos, G Hoyos, SE López, ED González, PR Salinas, AJ González, VJA. Muñoz, HP Fernández y B Cáceres. Hábitos preferenciales de los consumidores de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) en México. *Arch Latinoamer Nutr* 1997;47(2):163-167.
17. Bressani R, J Méndez y NW Scrimshaw. Valor nutritivo de los frijoles centroamericanos III. *Arch Venez Nutr* 1960;10:71-84.
18. Nabhan GP, CW Weber and JW Berry. Variation in composition of Hopi Indian beans. *Ecology of Food and Nutrition* 1985;16:135-152.
19. Jacinto HC, EA Campos. Efecto de la cocción sobre algunas características nutricionales del frijol. *Agronomía Mesoamericana*. 1993;4:42-47.
20. Tobin G and KJ Carpenter. The nutritional value of the dry bean (*Phaseolus vulgaris L.*). *Nutr Abstracts and Rev*. 1978;48:920.
21. Krista C, Shellie-Dessert and FA Bliss. Genetic improvement of food quality factors. In: Common Beans: Research for Crop Improvement. Van Schoonhoven, A. and O. Voyest (eds.) CAB International in association with CIAT, U.K. p.1994: 649-678.
22. Singh KB, PC Williams and H Nakkoul. Influence of growing season, location and planting time on some quality parameters of Kabuli Chickpea. *J Sci Food Agric*. 1990;53:429-441.
23. Jacinto HC y HP Fernández. Efecto de las heladas sobre factores nutrimentales y de calidad de frijol. *Rev Fitotec Mex*. 1993;16:91-101.

Recibido: 06-04-2001

Aceptado: 01-03-2002