

Revisión bibliográfica INDICADORES DE LA CALIDAD EN EL GRANO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)

Yuliem Mederos[✉]

ABSTRACT. Quality is the group of chemical and physical characteristics, related with the nutritious-sanitarium, industrial and commercial value of the agricultural product, that can be dedicated for human or animal feeding. The present work deals with the topics related to physical and nutritional quality in common beans, particularly *Phaseolus vulgaris* L., highlighting its characteristics as well as the importance they have for human health. This work allowed to identify the contents of total proteins, fiber, starches, micronutrients, water absorption capacity, anti-nutritional factors as well as cooking time and storage conditions, as the main indicators and parameters of bean quality; the content of anti-nutritional factors as well as the cooking time conditioned and storage time having a particular importance inside them all.

Key words: *Phaseolus vulgaris*, quality, nutritive value, cooking, protein content

RESUMEN. La calidad es el conjunto de características químicas y físicas, relacionadas con el valor nutritivo-sanitario, industrial y comercial del producto agrícola, que puede ser dedicado para la alimentación humana o animal. El presente trabajo trata los temas relacionados con la calidad física y nutricional de los granos de frijol, en particular de la especie *Phaseolus vulgaris* L. destacando sus características, así como la importancia que estas revisten en la salud humana. Este trabajo permitió identificar como los principales indicadores y parámetros de calidad en el grano de frijol a los contenidos de proteínas totales, fibra, almidones, micronutrientes, la capacidad de absorción de agua, los factores antinutricionales, el tiempo de cocción y las condiciones y el tiempo de almacenamiento, teniendo una particular importancia dentro de todos ellos el contenido de factores antinutricionales, así como el tiempo de cocción sujeto a las condiciones y el tiempo de almacenamiento.

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris*, calidad, valor nutritivo, cocción, contenido de proteínas

INTRODUCCIÓN

El frijol constituye uno de los alimentos básicos en Cuba (1) y es esencial en muchos países del continente americano, junto con el arroz y la harina de maíz (2). La importancia fundamental que presenta este grano es el de ser una excelente fuente de proteínas, aminoácidos esenciales y hierro. Se considera que contiene más del doble de proteínas y casi igual cantidad de carbohidratos que los cereales (1).

La calidad en el cultivo del frijol a finales de los 70 e inicios de los 80 venía dada por el desarrollo de una tecnología, que permitiera lograr au-

mentos en los rendimientos del cultivo, así como en la producción de un germoplasma mejorado con capacidad de buen rendimiento y alta resistencia a las plagas importantes en los cultivos. Estos nuevos materiales debían tener la aceptación voluntaria del consumidor, en cuanto al tipo de grano y su calidad culinaria, dado que cada país tiene preferencias particulares con respecto al color y la forma del grano, y que los materiales mejorados debían ser probados en un amplio rango de condiciones ambientales (3).

En la actualidad, las características de calidad del grano, unidas al alto rendimiento y la resistencia a las plagas que presenta el cultivo, son muy importantes para los consumidores y productores de frijol. Por ello, los Programas de Mejoramiento Genético de Frijol, en diversos lugares del mundo, en especial América,

le dan importancia a las características físicas, químicas y culinarias del grano como criterios adicionales de selección, al reconocer que la trascendencia de sus propiedades influye en su aceptación comercial. Esto abre la posibilidad de ofrecer mejores variedades tanto a productores como a consumidores (3).

Dentro de la especie *Phaseolus vulgaris* L. existen diferentes tipos de granos y el valor comercial está influido por características como el tamaño, color, uniformidad del grano, además del tiempo de cocción, sabor y espesor del caldo (4).

Por otra parte, el valor nutrimental de esta leguminosa está 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; de ahí que constituya un alimento bási-

Yuliem Mederos, Reserva Científica del Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, La Habana, Cuba, CP 32 700.

✉ yuliemed@yahoo.com, yuliem@inca.edu.cu

co en la dieta de los latinoamericanos en general (3). Los frijoles además de ser fuente de proteínas, son fuente de hierro, potasio, magnesio, zinc, fibra, almidones, ácido fólico y tiamina (5, 6), que aparecen en cantidades significativas, lo que unido al hecho de ser una gran fuente de proteínas, le permite ser utilizado como alternativa en sustitución de carnes y otros productos proteicos (7).

En Cuba, la bibliografía relacionada con el tema es escasa, por lo que no se puede precisar a partir de qué año se comienzan a tener en cuenta las características referentes a la calidad culinaria y nutricional del grano en este país.

En el presente trabajo se abordará el tema relacionado con los indicadores fundamentales que se miden en la determinación de la calidad culinaria y nutricional del grano del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Dentro de los indicadores que determinan la calidad culinaria del grano se verá el porcentaje de testa, la capacidad de absorción de agua, el tiempo de cocción, las condiciones y el tiempo de almacenamiento, mientras que dentro de los que determinan la calidad nutricional se abordará el contenido de factores antinutricionales, así como de proteínas, micronutrientes, almidones y fibra. Se le prestará especial atención a la importancia que los frijoles presentan en la prevención y el control de algunas enfermedades.

INDICADORES QUE INTERVIENEN EN LA CALIDAD NUTRICIONAL DE LOS FRIJOLES

Contenido de proteínas. El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una especie muy importante, debido a su gran composición nutricional y representa la principal fuente de proteínas (20 al 40 %) de bajo costo en la dieta del hombre (8), lo que contribuye positivamente en la importancia que tiene. 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 % (9). Las variedades de *Phaseolus vulgaris* L. más consumidas en Latinoamérica, presentan un contenido de proteína promedio del 20 %, con un intervalo de variación del 19.3 al 35.2 % (10). Sin embargo, el nivel de digestibilidad de la proteína que oscila entre el 52 y 75 % y la relación de la eficiencia proteínica (PER) (0.7-1.5) son menores comparado con la caseína, que es la proteína de referencia (digestibilidad=9.2 %, PER=2.9), siendo PER la relación que existe entre la ganancia en peso y la cantidad de proteína ingerida (11).

Las proteínas vegetales pueden clasificarse de acuerdo con su solubilidad en: solubles en agua, denominadas albúminas (ALB), solubles en soluciones salinas, globulinas (GLB), solubles en soluciones tanto ácidas como básicas, glutelinas (GLT) y, por último, las solubles en soluciones alcohólicas, prolaminas (PRL) (12). Por lo general, la mayor proporción de proteína en granos de leguminosas se encuentra en forma de GLB, seguida por ALB y en menor cantidad como GLT y PRL (13) y se ha encontrado que en dependencia de la proporción de cada una de las fracciones proteínicas en los granos, será la calidad nutrimental de la proteína total.

La proteína del frijol presenta un alto contenido de lisina (6.4-7.6 g.100 g⁻¹ de proteína) y de fenilalanina más tirosina (5.3-8.2 g.100 g⁻¹ de proteína), es decir, satisface todos los requerimientos mínimos recomendados por la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) o por la Organización Mundial de la Salud (OMS) (11); sin embargo, el frijol es deficiente en los aminoácidos azufrados metionina y cisteína (14).

Para efectuar la determinación del contenido de proteínas en granos de frijol, se obtiene el contenido de nitrógeno por el método del micro-Kjeldahl (15), y con este valor se realiza la conversión de nitrógeno a proteína, multiplicando el contenido de nitrógeno por el factor 6.25. De esta forma, queda calculado el contenido de la proteína en el grano de frijol.

Contenido de carbohidratos. Los carbohidratos constituyen la fracción principal en los granos de las leguminosas, del 55 al 65 % del peso seco en promedio. De ellos, el almidón y otros polisacáridos (fibra dietética) son los principales constituyentes, con cantidades pequeñas pero significativas de oligosacáridos (16).

Almidón. Representa más del 50 % del peso de la semilla de frijol (17), y es el carbohidrato dominante en la dieta humana; de ahí la importancia que este posee (18, 19). Es considerado un carbohidrato disponible, que puede ser completamente digerido y absorbido en el intestino delgado. Sin embargo, una fracción del almidón resiste la hidrólisis por las enzimas digestivas humanas, sigue su tránsito por el intestino delgado, y llega al intestino grueso donde es fermentado por la microflora del colon. Esta fracción, llamada almidón resistente (AR), se define como la suma del almidón y los productos de la degradación de este no absorbidos en el intestino delgado de individuos sanos (20). La clasificación principal del AR está basada en la naturaleza del almidón y las características físicas del alimento (21). Se destacan tres grupos: el AR1 correspondiente a los almidones físicamente inaccesibles, o sea, almidones atrapados dentro de una matriz celular, como en las leguminosas (22). El AR2 está integrado por gránulos nativos de almidón, cuya cristalinidad los hace menos susceptibles a la hidrólisis enzimática, como los almidones de papa cruda y plátano (23, 24). Los AR3 son las fracciones de almidón retrogradado, formadas en alimentos cocinados y almacenados a temperatura ambiente o baja (25). El almidón puede ser determinado con el método multienzimático usando Termamyl® y amiloglucosidasa (26).

Fibra. Comprende un grupo heterogéneo de polisacáridos tales como celulosa, hemicelulosa, pectina y algunas otras sustancias que no corresponden al grupo de carbohidratos, tales como la lignina, cuya característica genérica es que no pueden ser digeridas por el organismo humano (27),

ya que son resistentes a la hidrólisis de las enzimas digestivas humanas, pero que pueden ser fermentadas por la microflora colónica, dando lugar a H_2 , CH_4 , CO_2 , H_2O y ácidos grasos de cadena corta (28). Sin embargo, a través del tracto gastrointestinal pueden interactuar con diferentes elementos y captar agua. Este hecho hace de la fibra un elemento muy importante en el proceso de la digestión; de ahí la importancia que esta presenta en la salud humana, ya que limita y/o disminuye la velocidad de absorción de algunos nutrientes, y favorece el tránsito intestinal. Dadas estas características, la fibra permite una absorción más lenta de la glucosa, lo cual condiciona índices glicémicos moderados y, por lo tanto, contribuye a controlar la hiperinsulinemia (29, 30), y disminuye las concentraciones del colesterol en la sangre hasta el 10 % (11).

Los resultados de las investigaciones señalan que las leguminosas son una excelente fuente de fibra dietética (31) y constituyen la pared divisoria celular de los vegetales consumidos por los humanos (32). Los polisacáridos ingeridos con las comidas reducen la glucosa posprandial, siendo su efecto fundamental el incremento de la viscosidad de las preparaciones ingeridas, disminuyendo de esta manera la tasa inicial de transporte y como consecuencia la disponibilidad de nutrientes en el intestino (33).

En el proceso de cocción de los alimentos, un mismo tipo de tratamiento térmico puede tener efectos diferentes en el contenido de fibra dietética, ya que la cocción promueve el rompimiento de sus componentes (celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina), además de propiciar la interacción y el enlace de estas sustancias con proteínas y lípidos, así como la generación de cambios cualitativos y/o cuantitativos sustanciales, que varían la composición total de la fibra dietética, al comparar el alimento crudo con el cocido (34).

Los cambios ejercidos por el tratamiento térmico en los componentes de la fibra de las leguminosas fa-

vorecen la acción de la fibra dietética *per se*, lo que sumado al consumo masivo que tienen las leguminosas por la población de escasos recursos, revisten de gran importancia a este rubro dentro de los hábitos alimentarios, por contribuir al mantenimiento de un estatus nutricional menos precario de la población en general (31).

En el colon es donde la fibra ejerce sus máximos efectos, además de diluir el contenido intestinal, sirve de sustrato para la flora bacteriana, capta agua y fija cationes. La fermentación colónica de la fibra produce energía, cuyo valor oscila entre 1 y 2.5 cal.g⁻¹. por lo que el valor energético de la fibra dependerá de su grado de fermentabilidad, de manera que las fibras con gran capacidad de fermentación producirán más energía que las poco fermentables; las fibras en las legumbres pertenecen al grupo de las fermentables (28).

El proceso de fermentación de la fibra en el colon es fundamental. Gracias a él es posible el mantenimiento y desarrollo de la flora bacteriana, así como de las células epiteliales. En el colon ocurren fundamentalmente dos tipos de fermentación: sacarolítica y proteolítica. La fermentación sacarolítica es la más beneficiosa para el organismo y produce principalmente los ácidos grasos de cadena corta, acético, propiónico y butírico, en una proporción molar casi constante 60:25:15. Estos ácidos grasos se generan en el metabolismo del piruvato, producidos por la oxidación de la glucosa a través de la vía glucolítica de Embden-Meyerhof. La fermentación proteolítica produce, en cambio, derivados nitrogenados como aminas, amonio y compuestos fenólicos, algunos de los cuales son carcinógenos (28).

El consumo de frijol como fuente de fibra produce una mayor saciedad, debido a varias causas: mayor volumen de alimentos, mayor tiempo de ingestión, lo que produce una mayor sensación de plenitud intestinal, niveles elevados de colecistocinina, relacionado con reducciones en los niveles plasmáticos de glucosa e

insulina en pacientes diabéticos (35, 36). El método más usual para realizar la determinación de la fibra es el de Soxhlet (37).

Contenido de factores antinutricionales. Como es conocido, los frijoles representan una gran fuente de proteína, que oscila entre el 20 y 30 %; sin embargo, estas presentan un bajo valor nutricional, debido a su baja digestibilidad y biodisponibilidad de los aminoácidos azufrados, factores que están relacionados con la propia estructura de la proteína, y por la presencia de factores antinutricionales implicados en la baja digestibilidad de las proteínas en el frijol. Estos factores antinutricionales pueden considerarse como una característica negativa presente en el grano de frijol (38, 39).

Estas sustancias pueden inhibir enzimas digestivas, dañar la mucosa intestinal o modificar los nutrientes, obstaculizando de esta manera su absorción (40). Entre los llamados factores antinutricionales podemos incluir a los oligosacáridos, taninos, inhibidores de tripsina, inhibidores de proteasa, las lectinas y el ácido fítico, que se relaciona con la baja digestibilidad de la proteína y reducción de la biodisponibilidad de los minerales, entre otros. A pesar de los efectos negativos de los factores antinutricionales, la evidencia científica ha demostrado su papel benéfico en la prevención y el tratamiento de enfermedades crónico-degenerativas, con base en el contenido nutricional y los componentes fitoquímicos del frijol común (11).

La deficiencia de aminoácidos azufrados en los frijoles podría considerarse otro factor antinutricional, debido a su relación con el bajo aprovechamiento de hierro y zinc, ya que se ha demostrado que dichos aminoácidos, junto con la vitamina C, juegan un papel fundamental en la asimilación de estos minerales (11, 41).

En los frijoles del tipo Bowman-Birk, los inhibidores de proteasa presentan una estructura compacta y elevada resistencia a la inactivación térmica; ellos son los responsables de la reducción de la digestibilidad

in vitro de la fracción albumínica, y de las mezclas que contienen albúminas y faseolina (39). Con respecto a su determinación, la literatura no es conclusiva y no existe, como en el caso de la soya, una metodología establecida y completamente aceptada, para la evaluación de la inactividad térmica de los inhibidores en frijol.

Los métodos que normalmente se usan están basados en la determinación espectrofotométrica de la inhibición *in vitro* de la acción de la tripsina purificada en un sustrato, natural o sintético, causado por un extracto del alimento en cuestión. Para altos valores de inhibición, como es el caso de las muestras crudas, los resultados son confiables, precisos y reproducibles, sin embargo para valores bajos, hay un decremento de la precisión y la ocurrencia de inhibiciones no específicas, causados por otros componentes de la muestra que ha sido tomada (42).

Los compuestos fenólicos o taninos encontrados en la testa del frijol son térmicamente estables (38) y parcialmente responsables de la actividad inhibitoria de la tripsina en frijoles crudos, y principalmente en frijoles cocidos donde los inhibidores proteicos se encontrarían desnaturalizados y por tanto inactivos (43). Se ha encontrado que el contenido de polifenoles es independiente del almacenamiento y de la época de siembra, y que es de 7 a 11 veces mayor en la testa o tegumento que en el resto del grano (44). Los compuestos fenólicos pueden ser extraídos con metanol (80 %) como extractor y cuantificados de acuerdo con el método de Folin-Denis (37).

Los taninos son ampliamente citados como importantes antinutrientes que precipitan al hierro en la preparación de la comida o en el intestino. La variabilidad en el contenido de taninos está dada por la variación en el color del grano, ya que los taninos están estrechamente relacionados con los pigmentos de la testa, por lo que las alteraciones en el contenido de taninos pueden ser evaluadas dentro de las clases de colo-

res. Por ejemplo, los frijoles blancos presentan un bajo porcentaje de taninos; sin embargo, los frijoles oscuros y coloreados (rojos y negros) presentan un mayor porcentaje de taninos y mayores variaciones dentro de las clases de colores que entre las propias clases (45). Además, la variación en los valores medidos del contenido de taninos puede ser atribuida a otros factores tales como: tamaño de los granos, condiciones de manipulación del material y la metodología utilizada. La selección y adecuada preparación de las muestras puede evitar que estos compuestos se oxiden, o que se encuentren disponibles para la formación de nuevos complejos con otros componentes del grano, contribuyendo a una disminución de su concentración; otro factor que podría estar relacionado con esa variación es la presencia de compuestos del grupo de las antocianinas, las cuales son más propensas a la oxidación de compuestos del tipo, taninos condensados poliméricos (46).

Las asociaciones entre proteínas y taninos son dependientes de las características de ambos tipos de compuestos. Los factores que determinan la relativa afinidad de las proteínas por los taninos son el tamaño de la molécula, su composición aminoacídica y el pH. Las proteínas más grandes tienden a enlazarse más fuertemente a los taninos. También lo logran con relativa facilidad las pequeñas ricas en prolina, debido a que tienen una estructura abierta de fácil acceso para la formación de enlaces de hidrógeno (47).

Los complejos que se forman entre taninos y proteínas pueden a su vez ser solubles o no. Si el tanino está presente en exceso, toda la proteína a su alcance se insolubilizará; sin embargo, si la que está en exceso es la proteína, el complejo suele permanecer en disolución. El pH tiene también gran influencia en el proceso: mientras más cercano está al punto isoeléctrico de la proteína, mayor será el grado de precipitación del complejo. Esto resulta de gran importancia para el entendimiento del

papel de los taninos en la digestión, por cuanto el pH varía de una a otra región del tracto digestivo (47, 48).

La familia de la rafinosa, formada por oligosacáridos de bajo peso molecular (rafinosa, estaquiosa y verbascosa), es considerada también un factor indeseable del frijol (49); estos carbohidratos simples no son hidrolizados en las primeras etapas de la digestión y terminan fermentados en ácidos grasos de cadena corta y gases en el colon que provocan problemas de flatulencia (11). Sin embargo, es necesario señalar que esos mismos oligosacáridos favorecen el crecimiento de bifidobacterias, que se ha demostrado disminuyen el riesgo de padecer cáncer de colon (27).

La flatulencia, producto del efecto de los elementos antinutricionales presentes en la dieta, es el factor que disminuye el consumo de leguminosas a mayor escala; sin embargo, las amas de casa atenúan este inconveniente sometiendo los granos a una serie de procedimientos caseiros que merman esta condición negativa, entre ellos se puede citar el remojo previo a la cocción (50, 51).

Contenido de micronutrientes. Las legumbres comestibles en general contienen cantidades apreciables de hierro y otros minerales, tales como calcio, fósforo y zinc (11). Aunque las legumbres son frecuentemente citadas como complemento a los cereales en términos de contenido de aminoácidos, ellas también hacen una importante contribución a la nutrición por el aporte de micronutrientes y vitaminas (11).

El contenido de zinc en los frijoles es uno de los más altos dentro de las fuentes vegetales, casi igual al que presentan los productos lácteos, aunque inferior al presente en las carnes. Evaluaciones realizadas a colecciones de frijoles revelan rangos en el contenido de zinc que van desde 21 a 54 mg.L⁻¹ con una media de 35 mg.L⁻¹ (52).

La deficiencia de hierro se ha relacionado principalmente con la anemia; este micronutriente además forma parte de un gran número de enzimas que intervienen en la pro-

ducción de energía y en el buen funcionamiento de la respuesta inmune en el ser humano. El frijol aporta aproximadamente el 40 % de hierro a la dieta de las personas que basan su alimentación en esta leguminosa y en el maíz; sin embargo, se ha estimado que del total de hierro presente en el frijol, solo se asimila hasta el 20 %, por lo que su contribución es baja (11). El contenido total de minerales se determina mediante los métodos descritos por la *American Association of Cereal Chemistry* (53).

INDICADORES QUE DETERMINAN LA CALIDAD EN LOS FRIJOLES

Calidad culinaria. A continuación se presentan los indicadores:

* Contenido de testa

Se denomina tegumento o testa a la capa más externa del grano que protege a los cotiledones de los factores externos. El porcentaje de testa es una característica relacionada con la acción de ser una cubierta protectora a la invasión de patógenos y desde el punto de vista sensorial con la textura del frijol cocido (3).

El porcentaje de testa es determinante en el tiempo de cocción del frijol y otras leguminosas (54). Este indicador presenta la menor variabilidad entre genotipos y representa entre el 5.5 y 11.4 % del peso del grano (3, 6). La impermeabilidad de la testa no solo está dada por el porcentaje de esta, ya que otros compuestos o estructuras intrínsecas pudieran afectar la imbibición (55). El contenido de testa se determina mediante la separación de esta estructura del grano luego de un remojo y posterior secado a 80°C (3). Más adelante, se enriquece la información acerca de este indicador por medio de la relación que se establece con otros.

* Capacidad de absorción de agua y tiempos de cocción

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 (3), lo cual permite evaluar el grado de permeabilidad del grano de frijol durante el remojo y detectar el fenómeno de testa dura, relacionado con tiempos de cocción prolongados (56).

La capacidad de absorción de agua (CAA) se determina registrando el peso inicial de las muestras y el peso final luego de remojarlas por 18 horas, y se puede cuantificar mediante la siguiente fórmula (3):

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

Este parámetro varía en dependencia de la variedad (3), mostrándose un amplio rango de variación que va desde el 6.1 al 126 % (4).

Otra característica de las leguminosas es la capacidad que tienen de incrementar su volumen y peso unas, dos o tres veces del original, durante el proceso de cocción, debido al debilitamiento y lisis de las membranas celulares, que recubren aproximadamente el 60 % de las células del amiloplasto que la estructuran, variando de esta manera su composición (31).

Los tiempos de cocción pueden prolongarse por dos procesos diferentes relacionados con la absorción de agua por parte de las semillas: el primero "Testa dura" que se manifiesta, como se describió arriba, cuando las semillas no absorben suficiente agua durante la cocción y por tal razón al ser cocinadas no se ablandan. Esto puede estar dado por la baja permeabilidad de la testa al agua. El segundo proceso se denomina "Difícil de cocinar" y se manifiesta en aquellas semillas que absorben suficiente agua, pero fallan al ablandarse luego del remojo y posterior tiempo de cocción (57).

El tiempo de cocción corto es una característica que ha sido seleccionada durante los procesos de domesticación y representa un atributo de la calidad culinaria (58). Observaciones realizadas en la cuantificación de los tiempos de cocción de los frijoles comunes salvajes de Durango,

México, mostraron oscilaciones entre 10-30 min por debajo o 50-60 min por encima de otras semillas domesticadas (59).

Con respecto al remojo de los frijoles, este presenta un efecto muy marcado sobre el tiempo de cocción. En promedio, el tiempo necesario para alcanzar el 90 % de la cocción se reduce cerca del 40 % y el tiempo para alcanzar el 100 % de cocción se reduce en un 20 %. Este efecto del remojo es de conocimiento público desde hace mucho tiempo y tiene una aplicación práctica, ya que el ama de casa puede disminuir el tiempo de cocción de los frijoles, contribuyendo al ahorro de energía y combustible requeridos para la elaboración de los alimentos (60).

Uno de los métodos para la determinación del tiempo de cocción consiste en remojar una muestra de 25 semillas por 18 horas y pasar las semillas remojadas a un cocedor Mattson-200. El tiempo de cocción quedará registrado cuando 20 de las 25 semillas (80 %) hayan sido atravesadas por las agujas del equipo colocado en el recipiente con agua en ebullición (17).

Efecto del almacenamiento. La velocidad e intensidad en el deterioro gradual, irreversible y acumulativo del grano que ocurre durante su almacenamiento dependerá del tiempo, la temperatura del almacenamiento, las características intrínsecas del grano y principalmente la humedad de este (61). La pérdida de la calidad en los frijoles comunes es expresada en un incremento de la dureza del grano, con el consiguiente aumento en los tiempos de cocción, además de alteraciones indeseables en el sabor y color de la testa (7). Este incremento en la dureza no solo alarga el tiempo necesario para la preparación de los alimentos, sino que aumenta el gasto de energía, disminuye el valor nutritivo y, en muchos casos, provoca la pérdida total del grano al aumentar tanto el tiempo de cocción, que hace impracticable su utilización (60). Por lo que un factor muy importante en la determinación de la calidad del grano, es el plazo transcurrido luego de la recolección, ya

que los consumidores generalmente prefieren consumir el producto en fechas cercanas a su cosecha, debido a que sus cualidades culinarias se ven sensiblemente afectadas a medida que pasan los meses de almacenamiento (7).

Como regla general, se ha encontrado que mientras mayores sean la temperatura y humedad de almacenamiento, mayor será el endurecimiento en un tiempo dado. Se ha encontrado que los frijoles pueden ser almacenados durante cinco meses a 25°C y 15.4 % de humedad, sin que se detecten problemas de endurecimiento (60). También se conoce que durante el almacenamiento ocurre un aumento en el oscurecimiento del tegumento en las semillas, y un incremento en el contenido de los compuestos fenólicos a partir de los ocho meses (7).

Existe un incremento en la actividad de la enzima peroxidasa durante el período de almacenamiento y una diferencia en su expresión, relacionado con el momento de cosecha anticipada y normal del grano, siendo mayor en el almacenamiento con la colecta anticipada; así mismo el mayor oscurecimiento del tegumento o testa durante el almacenamiento podría estar relacionado con la oxidación de los compuestos fenólicos por la peroxidasa (7).

LOS FRIJOLES EN LA SALUD

Los frijoles, como ya se conoce, constituyen una importante fuente de alimentos para la población de escasos recursos, pero la ciencia ha ayudado a descubrir la importancia que este alimento revierte en la salud humana.

Los frijoles contribuyen a la prevención y el tratamiento de patologías, como son las enfermedades cardiovasculares, la diabetes y el cáncer, que constituyen serios problemas de morbimortalidad. Esto se debe tanto a su aporte de micronutrientes (particularmente ácido fólico y magnesio) como por su alto contenido de fibra, aminoácidos azufrados, taninos, fitoestrógenos y

aminoácidos no esenciales (27). De acuerdo con esto, una gran gama de fitoquímicos han sido relacionados con la disminución del riesgo de cáncer (62); entre ellos podemos encontrar al ácido fólico, que reduce el riesgo de contraer cáncer, especialmente en colon y mamas (63), probablemente por su efecto antioxidante (11).

La menor digestibilidad de la proteína del frijol puede contribuir a la prevención de la osteoporosis, debido a que está asociada a una menor producción de iones hidrógeno durante la hidrólisis de los aminoácidos de esta proteína vegetal, en comparación con la digestibilidad de la proteína de la carne. En consecuencia, la menor digestibilidad del frijol mejora la retención relativa de calcio en el sistema óseo (11).

El consumo diario de frijoles disminuye la concentración del colesterol sérico. Su efecto cardioprotector parece estar relacionado en orden de importancia con los siguientes factores: contenido y tipo de fibra soluble, proporción y cantidad de aminoácidos, cantidad de oligosacáridos no digestibles, isoflavonas, fosfolípidos, ácidos grasos, fitoesteroles, saponinas y otros factores aún desconocidos (35), además de poseer un alto contenido en ácido fólico, tiamina (11, 59) y niacina (11), vitaminas que reducen los niveles de homocisteína sérica, lo que reduce el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares (59).

Con respecto a los factores antinutricionales, existen informes que muestran la función de los inhibidores de tripsina, taninos y lectinas en la prevención o los tratamientos de ciertas enfermedades (11); por ejemplo, los inhibidores de tripsina confieren protección contra el rotavirus (63), inhiben la carcinogénesis (64) y pueden ser utilizados como agentes quimioprotectores (65). En estudios clínicos y de laboratorio, entrando en contradicción con el papel tóxico atribuido a los inhibidores de tripsina, se ha encontrado que no se produce ninguna toxicidad, aun cuando se han dosificado en altas concentracio-

nes (66). Los taninos son reconocidos como agentes antioxidantes (67), anticancerígenos (68) y antimutágenos efectivos (69); las lectinas de frijol influyen en la disminución del crecimiento de linfomas no-Hogking (11, 70) y pueden ser utilizadas para el diagnóstico de cáncer como marcadores de tumores, al identificar células que se encuentran en las primeras etapas de diferenciación a células cancerosas (11, 71).

En resumen, se puede decir que el frijol es un alimento rico en vitaminas y minerales, lo que le confiere una gran importancia desde el punto de vista nutricional; dada su variada composición y al efecto beneficioso que las sustancias que lo componen ejercen en la salud, está considerado un alimento nutracéutico (11), de fácil adquisición e indispensable en la dieta de los sectores pobres de la población con limitados recursos. Es un alimento que debe consumirse fresco, para evitar los efectos indeseables que el almacenamiento pudiese ocasionar y su calidad viene dada por un conjunto de características químicas y físicas relacionadas con el mejor valor nutritivo-sanitario, industrial y comercial del producto agrícola. Teniendo en cuenta la importancia que encierra el grano de frijol común, tanto por su valor nutricional como por las amplias características positivas que influyen en su aceptación, y por la amplia difusión que en nuestro país mantiene este cultivo, se recomienda su consumo como una vía alternativa de alimentación.

REFERENCIAS

1. Mila, J. A y Faure, B. Avances del mejoramiento de variedades de frijol común *Phaseolus vulgaris* L. en el tomeguín. Estación Experimental de Papa Y Granos "El Tomeguín". Ministerio de la Agricultura. La Habana, Cuba. Septiembre 1984.
2. Buxade, C. /et al./ Enciclopedia práctica de la agricultura y la ganadería. Oceanun/Centrum, 2004, p. 353-382.

3. Pérez, P. /et. al./ Caracterización física, culinaria y nutricional de frijol del altiplano subhúmedo de México. *Arch Latinoamer Nutr*, 2002, vol. 52, no. 2.
4. Jacinto, H.; Acosta, J. A. y Ortega, A. Caracterización del grano de variedades mejoradas de frijol en México. *Agric Tec Mex*. 1993, vol. 19, no. 2, p.167-179.
5. USDA. US Department of Agriculture. Base de datos sobre composición de alimentos. <<http://www.nal.usda/fnic>>, 2000.
6. Santalla, M. /et al./ Breeding for culinary and nutritional quality of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in intercropping systems with maize (*Zea mays* L.). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 1999, vol. 3, no. 4, p. 225-229.
7. Oliveira, A. de, Patto, C. y Duarte, A. Efeitos da época de colheita e do tempo de armazenamento no escurecimento do tegumento do Feijoo (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, 2002, vol. 26, no. 3, p. 545-549.
8. Gallegos, S. /et al./ Extracción y caracterización de las fracciones proteínicas solubles del grano de *Phaseolus lunatus* L. *Arch Latinoam Nut*. 2004, vol. 54, no. 1.
9. Bressani, R.; Méndez, J. y Scrimshaw, N. W. Valor nutritivo de los frijoles centroamericanos III. *Arch Venez Nutr*, 1960, vol. 10, p. 71-84.
10. Nabhan, G.; Weber, C. y Berry, J. Variation in composition of Hopi Indian beans. *Ecology of Food and Nutrition*, 1985, vol.16, p. 135-152.
11. Guzmán, S. /et al./ Calidad alimentaria y potencial nutracéutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultura Técnica en México*, 2002, vol. 28, no. 2, p. 159-173.
12. Osborne, T. B. The vegetable protein. New York. Longmans Green and Co. 1924
13. Nikokyris, P. N y Kandylyis, K. Food protein fractions in various solvents of ruminant foodstuffs. *J Sci Food Agric* 1997; vol. 75, p. 198-204
14. Reyes, C. y Paredes, O. Hard-to-cook phenomenon in common beans-A review. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 1993, vol. 59, p. 1356-1361.
15. Concon, J. M. y Soltess, D. Rapid micro-Kjeldahl digestion of cereal grains and other biological materials. *Analytical Biochemistry*, 1973, vol. 53, p. 35-41.
16. Bravo, L.; Siddhuraju, P. y Saura, F. Effect of various processing methods on the *in vitro* starch digestibility and resistant starch content of Indian pulses. *J. Agric. Food Chem.*, 1998, vol. 46, p. 4667-4674.
17. Jacinto, C. /et al./ Caracterización de una población de líneas endogámicas de frijol común por su calidad de cocción y algunos componentes nutrimentales. *Agrociencia*, 2002, vol. 36, p. 451-459.
18. Björck, I. /et al./ Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. *Am. J. Clin. Nutr.* 1994, vol. 59, p. 699S-705S.
19. Skrabanja, V. /et al./ Influence of genotype and processing on the *in vitro* rate of starch hydrolysis and resistant starch formation in peas (*Pisum sativum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 1999; vol. 47, p. 2033-2039.
20. Asp, N. G. Resistant starch. Proceedings from the second plenary meeting of EURESTA. *European J. Clin. Nutr.*, 1992, vol. 46, (Suppl. 2).
21. Englyst, H.; Kingman, S. y Cummings, J. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European J. Clin. Nutr.*, 1992, vol. 46, (Suppl. 2), p. S33-S50.
22. Tovar, J.; Björck, I. y Asp, N. Incomplete digestion of legume starches in rats: A study of precooked flours containing retrograded and physically inaccessible starch fractions. *J. Nutr.*, 1992, vol. 122, p. 1500-1507.
23. Englyst, H. N. y Cummings, J. H. Digestion of polysaccharides of potato in the small intestine of man. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1987, vol. 45, p. 423-431.
24. Faisant, N. /et al./ Banana starch breakdown in the human small intestine studied by electron microscopy. *European J. Clin. Nutr.*, 1995, vol. 49, p. 98-104.
25. Noah, L. /et al./ Digestion of carbohydrate from white beans (*Phaseolus vulgaris* L.) in healthy humans. *J. Nutr.*, 1998, vol. 128, p. 977-985.
26. Holm, J. /et al./ A rapid method for the analysis of starch. *Starch/Starke*, 1986, vol. 38, p. 224-229.
27. Rodríguez, C. y Fernández, X. Los frijoles (*Phaseolus vulgaris*): Su aporte a la dieta del costarricense. *Acta Méd. Costarric*, 2003, vol. 45, no. 3.
28. García, P. P. Apuntes sobre la fibra. [Consultado el 13 de septiembre del 2005]. Disponible en <<http://nc.novartisconsumerhealth.es/pubs/Apuntes fibra view.pdf>>.
29. Ludwig, D. /et al./ Dietary fiber, weight gain, and cardiovascular disease risk factors in young adults. *J. Am. Med. Assoc.*, 1999; vol. 282, p. 1539-1546.
30. Chandalia, M. /et al./ Beneficial effects of dietary fiber intake in patients with type 2 diabetes mellitus. *New Eng J Med*, 2000; vol. 342, no. 19, p. 1440-1441.
31. Alfonso, C. Efecto del tratamiento térmico sobre el contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble en algunas leguminosas. *ALAN*, 2000, vol. 50, no. 3.
32. Hipsley, E. Dietary fibre and pregnancy toxemia. *Brit Med J.*, 1953, vol. 2, p. 420-423.
33. Jenkis, J. /et al./ Dietary fibre, fibre analogues tolerance: importance of viscosity. *Brit Med J.*, 1978, vol. 1, p. 1392-1394.
34. Carnvale, E. y Lintas, C. Dietary fibre: effect of processing and nutrient interactions. *Eur J Clin Nutr.*, 1995, vol. 53, p. 307-311.
35. Bourdon, I. /et al./ Beans, as a source of dietary fiber, increase cholecystokinin and apolipoprotein B48. Response to test meal in men. *J. Nutr.*, 2001, vol. 131, p. 1485-1490.
36. Serrano, J. y Goñi, I. Papel del frijol negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemalteca. *ALAN*, 2004, vol. 54, no 1.
37. AOAC. Official methods of analysis. 15th ed. Virginia:Assoc. Official Analysis Chemists (AOAC) 1995.
38. Bressani, R. Grain quality of common beans. *Food Rev. Int.*, 1993, vol. 9, p. 237-97.
39. Genovese, M. y Lajolo, F. Inativação de inibidores de proteases de leguminosas - uma revisão. *Bol. Soc. Bras. Ciênc. Tecnol. Alim.*, 2001, vol. 34.
40. Alfaro, Y. Elaboración de harina de pejibaye (*Bactris gasipaes* H. B.K.) para consumo animal. Tesis Licenciatura en Tecnología de Alimentos. San José Universidad de Costa Rica 1988, p. 128.
41. Frossard, E. /et al./ Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn, and Ca in plants for human nutrition. *J. Sci. Food Agric.*, 2000, vol. 80, p. 861-879.

42. Genovese, M. y Lajolo, F. Atividade inibitória de tripsina em produtos derivados de soja (*Glycine max*) consumidos no Brasil. *Ciênc. Tecnol. Alim.*, 1998, vol. 18, p. 309-12.
43. Fernández, R. /et al./ Trypsin inhibitors and hemagglutinins in beans (*Phaseolus vulgaris*) and their relationship with the content of tannins and associated polyphenols. *J. Agric. Food Chem.*, 1982, vol. 30, p. 734-739.
44. Tiburcio, G.T. Alteração na composição centesimal nos polifenólicos e na digestibilidade *in vitro* da proteína em seis variedades de feijão alado (*P. tetragonolobus*) após armazenamento. 1992. p. 54. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos)-Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Farmácia, Belo Horizonte.
45. Cardenas, H. /et al./ Evaluación de la calidad de la proteína de cuatro variedades mejoradas de frijol. *Rev Cubana Aliment Nutr*, 2000, vol. 14, no. 1, p. 22-27.
46. Laderoza, M. /et al./ Polyphenol oxidase activity and alterations in colour and levels of condensed tannins during storage of new bean (*Phaseolus*) cultivars. *Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas*, 1989, vol. 19, no. 2, p. 154-164.
47. Hagerman, A. E. Chemistry of tannin-protein complexation. En: Chemistry and significance of condensed tannins. New York: Plenum Press, 1989, p. 323-334.
48. Haslam, E. Plant polyphenols. Vegetable tannins revisited. Cambridge:Cambridge University Press, 1989.
49. Geil, P. y Anderson, J. Nutritional and health implication of dry beans: a review. *J. Am. Coll. Nutr.*, 1994, vol. 13, p. 549-558.
50. Carmona, A. Aislamiento, cuantificación, purificación y caracterización parcial de los taninos de caraotas negras (*Phaseolus vulgaris*) variedad cubagua (dissertação). Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología, 1981.
51. Birch, G.; Cameron, A. y Spencer, M. Ciencia de los Alimentos. Buenos Aires:Editorial hemisferio sur, 1982, p. 117-129.
52. Beebe, S.; González, A. y Rengifo, J. Research on trace minerals in common bean. International Food Policy Research Institute, 1999.
53. AACCC (American Association of Cereal Chemistry). Approved methods of analysis, 6th ed. St. Paul:American Association of Cereal Chemists, 1976.
54. Krista, C.; Dessert, S. y Bliss, F. Genetic improvement of food quality factors. En: Common Beans: Research for Crop Improvement. CAB International in association with CIAT, U.K., 1994, p. 649-678.
55. Egley, G. Water-impermeable seed coverings as barriers to germination. En: Recent advances in the development and germination of seeds. New York:Plenum Press. 1989, p. 207-223.
56. Castellanos, J. y Guzmán, S. Effect of hard shell in cooking time of common beans in the semiarid highlands of Mexico. *Ann Rep Bean Improv Coop.*, 1994, vol. 37, p. 103-105.
57. Kigel, J. Culinary and nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* seeds as affected by environmental factors. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ*, 1999, vol. 3, no. 4, p. 205-209.
58. Peña, C. /et al./ Seed quality of a wild population and an improved cultivar of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) after storage. *Interciencia*, 1999, vol. 24, p. 8-13.
59. Avila, H. /et al./ Characterization of biochemical and cooking factors of wild, domesticated and introgressed common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Bean Improvement Cooperative*, 1996, vol. 39, p. 184-185.
60. Mora, M. Efecto de la humedad y temperatura sobre el endurecimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris*, L.) almacenado durante seis meses. *Agronom. Costarr.*, 1980, vol. 4, no. 2, p. 195-197.
61. Sartory, M. R. Armazenamento. En: Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba: Potafos, 1996, p. 543-562.
62. Hughes, J.; Ganthavorn, C. y Wilson, S. Dry beans inhibit azoxymethane-induced colon carcinogenesis in F344 Rats 1, 2, 3. *American Society for Nutritional Sciences*, 1997, p. 2328-2333.
63. Messina, M. Legumes and soybean: overview of their nutritional profiles and health effects. *Am. J. Clin. Nutr.*, 1999, vol. 70 (supp I), p. 439-450.
64. Katyal, R. /et al./ Soybean trypsin inhibitor confers protection against rotavirus infection in infant maize. *Trop. Gastroenter*, 2001; vol. 22, p. 207-210
65. Yavelow, J. /et al./ Bowman Birk soybean protease inhibitor as anticarcinogen. *Cancer Res*. 1983, vol. 43, p. 2454-2459.
66. Meyskens, F. L. Development of Bowmand-Birk inhibitor for chemoprevention of oral head and neck cancer. *Ann. New York Acad. Sci.*, 2001, vol. 952, p. 116-123.
67. Hagerman, A. /et al./ High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. *J Agric. Food Chem.*, 1998, vol. 46, p. 1887-1892.
68. Chung, K. /et al./ Tannins and human health: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutri.*, 1998, vol. 38, p. 421-464.
69. Cardador, A.; Castaño, E. y Loarca, G. Antimutagenic activity of natural phenolic compounds present in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) against aflatoxin B1. *Food Add. Contam.*, 2002, vol. 19, p. 62-69.
70. Pryme, I. /et al./ The growth of an established murine non-Hodgkin lymphoma tumour is limited by switching to a phytohemagglutinin-containing diet. *Cancer Lett*, 1999, vol. 146, p. 87-91.
71. Goldschmidt, D. /et al./ Contribution of quantitative lectin histochemistry to characterizing well-differentiated and poorly differentiated liposarcomas. *Anal. Quant. Cytol. Histol.*, 1997, vol. 19, p. 215-226.

Recibido: 17 de noviembre de 2005

Aceptado: 16 de octubre de 2006