

REVISION SOBRE LA CALIDAD DEL GRANO DE FRIJOL^{1,2}

*Ricardo Bressani*³

Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá
(INCAP),
Guatemala, Guatemala, C.A.

RESUMEN

Acorde con el título, este documento constituye una revisión de los factores que influyen sobre la calidad del grano de frijol, calidad que está determinada por factores de aceptabilidad del consumidor, por su facilidad de cocción, y por su valor nutritivo. Estos factores, a su vez, son afectados por la constitución genética del grano, así como por los factores ambientales de producción. Por consiguiente, el mejoramiento que se logre en la calidad del grano de frijol, será el resultado de la interacción que se establezca entre las diferentes disciplinas, o sea entre fitomejoradores, agrónomos, científicos en ciencia de alimentos y nutrición. Los factores señalados están influenciados por los eventos que ocurren en los diversos eslabones de la cadena alimentaria. El artículo analiza el efecto del procesamiento en la calidad nutritiva, y hace una breve revisión del problema de dureza a la cocción que afecta la aceptabilidad del grano por parte del consumidor. Asimismo, considera el

Manuscrito original recibido: 3-4-90.

- 1 Este trabajo fue presentado en el Primer Taller Internacional sobre Parámetros Nutricionales y Aceptabilidad del Frijol Común, organizado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en Cali, Colombia, el 10 y 11 de octubre de 1988.
- 2 El presente trabajo fue financiado con fondos del Programa Frijol/Caupí - CRSP - Título XII.
- 3 Coordinador de Investigación en Ciencias Agrícolas y de Alimentos en Ciencias Agrícolas y de Alimentos del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), Apartado Postal 1188, Guatemala, Guatemala, C.A. e Investigador Principal del Programa Frijol/Caupí - Título XII, CRSP.

problema de la baja digestibilidad de la proteína y los efectos que se han asociado a los taninos, así como la utilización de los carbohidratos. Finalmente, se formulan ciertas recomendaciones dirigidas a mejorar la calidad nutritiva del frijol, que es la fuente proteínica más importante para grandes grupos de la población mundial.

INTRODUCCION

Hasta hace poco, salvo algunas excepciones, los fitomejoradores del frijol le habían dado poca importancia al concepto de la calidad del grano. Este concepto, sin embargo, fue introducido hace mucho tiempo en los programas de mejoramiento genético y agronómico de cereales, particularmente trigo, estimulados por las industrias procesadoras del grano para obtener mayor rendimiento de harina, y que ésta proporcionara un pan con calidades tecnológicas y sensoriales acordes a las demandas del consumidor. Un enfoque similar se le ha dado al arroz. En el pasado, el único objetivo de los programas de fitomejoramiento había sido la producción total o el aumento de dicha producción. Hoy día, sin embargo, las características de calidad representan un área muy importante dentro de los objetivos de producción para la mayoría de las cosechas de alimentos, entre ellos los cereales, las leguminosas, los tubérculos y otros productos alimenticios, tanto de origen animal como vegetal. Los consumidores están demostrando creciente interés al respecto, y están más conscientes del valor nutritivo de la calidad de almacenamiento, y del uso de ingredientes artificiales y/o naturales en la elaboración de alimentos procesados y envasados. La calidad del grano cobrará más importancia cada día en el fitomejoramiento genético de alimentos, en los sistemas de producción y en su utilización como fuente de materiales de actividad biológica (1 - 5).

Las características de calidad de los granos básicos representan un problema serio, puesto que abarcan un gran número de atributos deseables que guardan relación con las propiedades físicas, químicas, tecnológicas y nutricionales del grano, que no necesariamente tienen relación positiva con el endurecimiento o entre ellas mismas. Más aún, en muchos casos no están bien definidas y presentan dificultades en su cuantificación. Por consiguiente, primero que todo, para lograr establecer estándares de calidad del grano, se necesita identificarlos. Estos deben definirse en términos físicos, químicos, funcionales y nutricionales a manera de poder proponer una metodología relativamente sencilla; no aplica lo mismo sin embargo, a las otras características de la calidad del grano. El problema es difícil para la mayoría de los granos, y significativamente mayor en el caso de las leguminosas, aún dentro de una misma especie, dada la diversidad de preferencias del consumidor. En este trabajo, por lo tanto, se tratará de dar un panorama, a manera de identificar y definir lo que serían algunas de las características del frijol común que deben tenerse en cuenta en la calidad del grano. Además se hará una revisión general de los aspectos que influyen sobre el valor nutritivo del frijol.

Calidad del Grano de Frijol

La identidad de algunas características de la calidad del grano del frijol común desde el punto de vista de la cadena alimentaria, se exponen en la Tabla 1 (2,3 6-8). En la producción, el agricultor espera redimientos altos y estables de las cosechas de frijoles para que él pueda negociar, y así poder contar con un ingreso atractivo. Según hecho bien conocido, estos atributos se logran a través de investigaciones genéticas y agronómicas con variedades que tienen resistencia en las enfermedades y con el desarrollo de prácticas culturales adecuadas. En el tiempo de cosecha, el agricultor también desea contar con vainas que hayan llegado todas a su estado de madurez, con variedades que tengan un ciclo corto de crecimiento, con semillas que se desprendan fácilmente de la vaina, y que tengan uniformidad de tamaño y color. Una vez almacenados los granos, el agricultor desea que los frijoles sean resistentes al ataque de insectos (9-11), que mantengan su color, y posiblemente lo más importante, que sean resistentes al desarrollo de la condición de dureza para cocinar, a modo de poder proporcionar al consumidor un grano aceptable. El usuario, por su parte, ya sea un ama de casa o una industria de alimentos, desea procesar un frijol de hidratación rápida, bajo tiempo de cocción, que produzca un caldo espeso, que tenga buen sabor y textura, con granos moderadamente reventados, de cáscara delgada y con buena estabilidad de color. Finalmente, los frijoles deben tener buena aceptabilidad —una característica muy difícil de identificar—, ya que depende de los antecedentes culturales del consumidor (7, 8). El procesamiento debe ser efectivo a fin de eliminar los factores antinutricionales sin afectar la biodisponibilidad de otros nutrientes (12). Los frijoles también deben tener una disponibilidad alta de nutrientes, especialmente de proteína, y deben ser suplementos efectivos para otros alimentos básicos, particularmente para los cereales (4, 5). Nuestra misión es poder lograr éstos y otros atributos a través de su identificación y definición, y cuantificarlos por medio del desarrollo de una metodología de evaluación apropiada. Todo ello representa un enfoque multi- e interdisciplinario que requiere de la participación de científicos de la agricultura y de la ciencia y tecnología de alimentos, y nutrición (2).

Los Componentes Químicos y la Cadena Alimentaria

La importancia de un enfoque multi- e interdisciplinario de la calidad del grano del frijol es tan básico que debe expandirse a través de la información que se detalla en la Tabla 2, aunque sea obvio para muchos. La Tabla en cuestión muestra de nuevo la cadena alimentaria; en ella se presentan bloques que encierran los nombres de varios de los compuestos químicos presentes en el grano, los que, unidos, dan como resultado el rendimiento. Estos compuestos químicos son afectados por muchos factores, por ejemplo, por la constitución genética de la planta, las condiciones ambientales de producción, las prácticas agrícolas, y la nutrición de la planta (13-15). La semilla está biológicamente activa durante el almacenamiento, y

TABLA 1

**IDENTIDAD DE ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LA CALIDAD
DEL GRANO DE FRIJOL COMUN**
(*Phaseolus vulgaris*)

Area	Atributo
Producción	Rendimiento alto y estable Ciclo corto de producción Secamiento homogéneo de la vaina
Cosecha	Buena separación del grano de la vaina y recuperación del grano Tamaño y color uniforme
Almacenamiento	Resistencia a insectos y al desarrollo de dureza para cocinar Estabilidad de color
Procesamiento (En el hogar y en la industria)	Hidratación rápida Corto tiempo de cocción Textura suave y homogénea Caldo de cocción espeso Estabilidad de color Granos de cáscara delgada
Utilización biológica	Buena aceptabilidad (específico del sitio) Libre de factores antinutricionales Alta digestibilidad y calidad proteínica

esta actividad influye en la reactividad de los compuestos químicos del grano (17, 18). Factores externos como la humedad, la temperatura y la luz, influyen en la actividad biológica del grano, y los cambios que se suscitan pueden pasar desapercibidos, y, por lo tanto, son difíciles de evaluar. Los mismos compuestos químicos son muy susceptibles a cambio durante el procesamiento pero estos cambios pueden controlarse mediante el uso de condiciones adecuadas de procesamiento (19-23). Por último los compuestos químicos se convierten en nutrientes cuando el alimento es ingerido por el individuo. La utilización de los nutrientes depende de los efectos individuales de los eslabones específicos de la cadena alimentaria sobre el alimento, pero la utilización biológica también dependerá de la interacción de los nutrientes que se encuentran en los frijoles y de cualquier otro alimento consumido con ellos (21-25). Por consiguiente, para obtener características de calidad deseables en los frijoles, se requiere de los esfuerzos conjuntos de muchas disciplinas que, hasta la fecha, no se han efectuado como se debería. Todos los eslabones de la cadena alimentaria afectan la calidad, y los compuestos químicos definen esta calidad, ya sea física, de procesamiento, o de utilización. Lo que es más, estos compuestos químicos ofrecen los

medios para evaluar y cuantificar los factores de calidad del grano. Los científicos de alimentos y nutrición han trabajado en un vacío en lo que se refiere al frijol común, hecho que también aplica al científico agrícola. Uno de los objetivos de este trabajo es por lo tanto, establecer fuertes relaciones entre disciplinas de acuerdo a los eslabones de la cadena alimentaria, para alcanzar la calidad deseable del grano de frijol.

Componentes de la Calidad del Grano de Frijol Común

Como sucede con la mayoría de los granos, y desde el punto de vista de utilización nutricional, la calidad del grano de frijol puede clasificarse en tres grandes áreas, que son: las relacionadas con producción por unidad de área (6, 7); aquéllas relacionadas con características de aceptabilidad por el consumidor (7, 8), y aquéllas relacionadas con el valor nutritivo (21, 22, 24, 25), según se indica en la Tabla 3. Las características de aceptabilidad son muy difíciles de definir y controversiales para medir, puesto que en gran medida dependen de características con gran asociación con el comportamiento y patrones culturales de las diferentes poblaciones. En todo caso, los puntos de vista del consumidor en cuanto a las características de aceptabilidad del grano crudo y procesado son básicas (7-8). De todas las características de aceptabilidad, el defecto de endurecimiento del grano, es, sin lugar a dudas, el más importante (18, 23, 26-29). Otros atributos de aceptabilidad incluyen el espesor del líquido de cocción (30), la adherencia de la masa en los frijoles fritos, el tamaño de la partícula y el color del producto (7, 8). La integridad de los frijoles después de cocidos es importante para la aplicación industrial y posiblemente a nivel del hogar.

Los componentes nutricionales de aceptabilidad, algunos no reconocidos por el consumidor, según se observa en la misma Tabla 3 han sido clasificados en dos grandes grupos: factores positivos y factores negativos. Los factores positivos, a su vez, están relacionados con la nutrición e incluyen un nivel alto de concentración proteínica con alto contenido de lisina, lo que lo hace un suplemento proteínico excelente para los cereales (5, 21, 22, 25). El componente positivo relacionado con la salud incluye el efecto que la ingesta de frijoles ejerce sobre la disminución de colesterol (31), posiblemente debido al alto contenido de fibra dietética (32) y a los hallazgos de que la ingesta de frijoles ayuda a mantener niveles bajos de glucosa sanguínea en los diabéticos (33).

Los factores negativos se han clasificado en dos grupos: los factores antinutricionales, que incluyen los inhibidores enzimáticos, hemaglutinas, factores de flatulencia, taninos y ácido fítico (12). En lo que a nutrición se refiere, los factores negativos incluyen la digestibilidad proteínica (34-37) y de carbohidratos (38-41), la deficiencia de aminoácidos azufrados (4, 19, 22, 24) y posiblemente el alto nivel de fibra dietética (FD) (31, 32, 40). Aun cuando hoy día la fibra dietética es objeto de gran interés para las poblaciones del mundo desarrollado, su importancia para las poblaciones de países en vías de desarrollo debe estudiarse más a fondo, debido a que las dietas

TABLA 2

COMPUESTOS QUIMICOS Y LA CADENA ALIMENTARIA

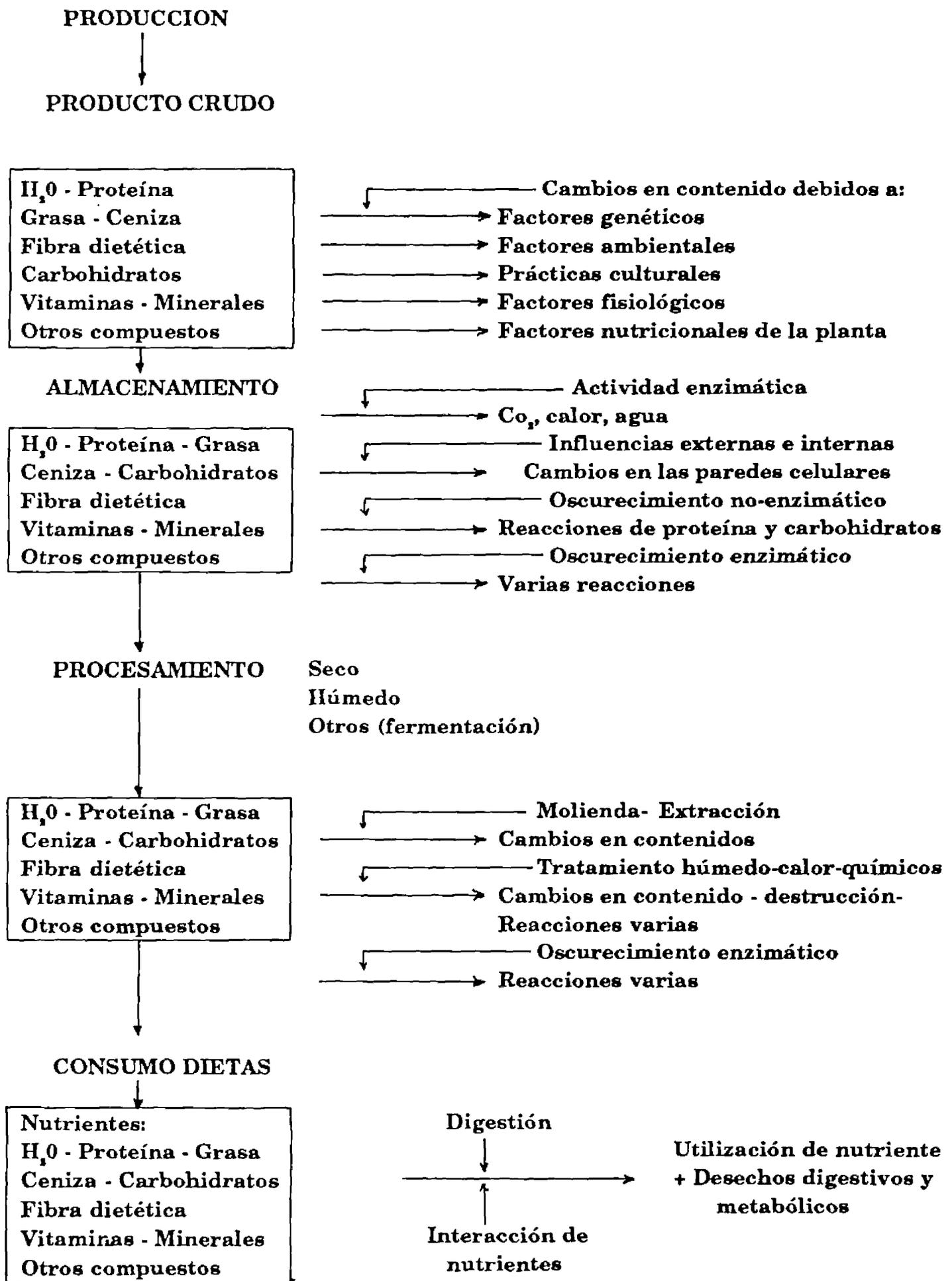


TABLA 3

**COMPONENTES DE ACEPTABILIDAD Y DE CALIDAD
NUTRICIONAL DEL FRIJOL COMUN**

COMPONENTES DE ACEPTABILIDAD

Apariencia, color, sabor, tamaño (Específicos de sociedad)

Tiempo de cocción (Dureza del grano resistente a la cocción)

Textura

Productos derivados: e.g. caldo de cocción
frijoles colados, fritos y otros

Integridad del frijol después de cocido

COMPONENTES NUTRICIONALES

Positivos	1. Relacionados con nutrición	Alto contenido proteínico Alto contenido de lisina Proteína suplementaria excelente para cereales
	2. Relacionados con salud	Buena fuente de fibra dietética Reduce colesterol plasmático Reduce azúcar en la sangre
Negativos	1. Factores antinutricionales	Inhibidor enzimático Hemaglutininas Factores de flatulencia Taninos Acido fítico
	2. Relacionados con nutrición	Digestibilidad proteínica baja Deficiencia de AA azufrados Fibra dietética puede reducir biodisponibilidad de nutrientes Biodisponibilidad de carbohidratos

habituales se componen de alimentos vegetales que aportan suficiente fibra, y por sus implicaciones en cuanto a reducir la biodisponibilidad de nutrientes en las dietas que muy a menudo son de baja calidad (31, 42).

Efecto del Procesamiento

Antes de abordar la calidad nutritiva de las leguminosas de grano, es importante discutir brevemente los efectos del procesamiento, puesto que éste desempeña un papel muy importante en la

aceptabilidad y en el valor nutritivo del frijol. La Tabla 4 resume los efectos principales de procesamiento. La forma más corriente de consumir leguminosas de grano es sometiéndolas a un proceso térmico. Aunque la razón principal de la cocción es la de suavizar el grano, los efectos van más allá de los cambios en estructura física y de textura (12, 19-24, 43-46).

TABLA 4
PRINCIPALES EFECTOS NUTRICIONALES
DE PROCESAMIENTO

-
1. *Proceso térmico (con agua):*
 - a. Inactiva los inhibidores de enzimas y lectinas
 - b. Reduce los niveles de otros antinutrientes - taninos
 - c. Aumenta la digestibilidad de proteínas y carbohidratos
 - d. Aumenta la calidad proteínica
 - e. Calor excesivo reduce la biodisponibilidad de lisina y de azufrados.
 - f. El agregado de sales puede reducir la calidad proteínica.
 2. *Proceso térmico (seco):*
 - a. Temperatura alta, corto tiempo similar a cocinar con agua
 - b. Temperatura alta, largo tiempo baja la calidad nutritiva
 3. *Germinación y fermentación:*
 - a. Aumenta el contenido de vitaminas
 - b. Reduce los factores de flatulencia
 - c. Otros efectos observados son controversiales (e.g. calidad)
 4. *Descascarado y cocinado:*
 - a. Aumenta la digestibilidad proteínica
 - b. Aumenta la calidad de la proteína
 - c. Disminuye el contenido de taninos y de fibra dietética
-

Los procesos comúnmente usados en el hogar incluyen el cocinar los frijoles a presión atmosférica, la cocción a presión, y las frituras. La cocción en agua se hace con frijoles sin remojo o después de un tiempo variable de remojo. A menudo, en los hogares rurales la cocción se repite de tres a cuatro veces, una vez al día, hasta que la cantidad preparada se haya consumido (42). Esta práctica es importante desde el punto de vista de aceptabilidad y de nutrición. La cocción con agua, con o sin presión, aumenta la calidad proteínica

y la digestibilidad de la proteína y de carbohidratos, e inactiva los inhibidores de proteasa y amilasa, así como las lectinas (12). El proceso también reduce la concentración de otros factores antinutricionales tales como los taninos (47, 48). La desaparición y redistribución de los taninos es de mucho interés, ya que podría estar contribuyendo a reducir el valor nutritivo del alimento. Por otro lado, la fibra dietética aumenta aproximadamente de 24 a 30% atrapando probablemente parte de la proteína. Esto, sin embargo, todavía está por demostrarse. Poco se sabe de los cambios en las vitaminas y los minerales, aunque la biodisponibilidad del hierro disminuye (42, 49). El exceso de cocción en húmedo, así como la cocción en seco, si se efectúan por períodos prolongados de tiempo —de 15 a 20 minutos—, disminuye el valor nutritivo, reduciendo la disponibilidad de los aminoácidos (19-21). La germinación y la fermentación que en América Latina no se practican a menudo en el caso de los frijoles, aumentan el contenido de vitaminas y reducen los factores de flatulencia, mientras que el descascarado del grano, seguido de cocción aumenta la calidad proteínica y la digestibilidad (21). Este incremento es mayor que cuando los frijoles se cuecen enteros. El efecto, posiblemente, se debe tanto a la remoción de la fibra cruda presente en la cáscara, como a la remoción de los taninos que contiene la cáscara de los frijoles (47).

Deben tenerse en mente los efectos de procesamiento en relación con las metas de aceptabilidad y de valor nutritivo de las leguminosas ya que las condiciones utilizadas para cualquier proceso en particular, pueden dar resultados que se presten a confusión. Aun cuando se conocen los efectos generales, todavía no se han determinado las condiciones óptimas de procesamiento, y los mecanismos todavía deben comprenderse, dados los resultados, particularmente con sustancias como los taninos, la fibra dietética, las proteínas y los carbohidratos.

Comentarios sobre Componentes Específicos de Aceptabilidad

No obstante que la necesidad de definir y de medir los atributos sensoriales en el frijol común representa un esfuerzo importante para determinar la calidad del grano y para ayudar a los programas de producción, a la fecha, el consumidor tiene un número de procedimientos subjetivos que lo ayudan en la selección y compra de frijoles (7, 8, 30). De éstos, parecería que el defecto de dureza sea el que posiblemente tenga más importancia entre los factores de aceptabilidad (7, 8). En la Tabla 5 se enumeran algunas observaciones generales sobre el defecto de dureza (21, 50-54). Este defecto tiene implicaciones importantes para el consumidor, en vista de que el costo de energía para hacer comestibles los frijoles aumenta significativamente, lo que lo convierte en un alimento caro cuando se llega a consumir. Aun cuando al consumidor no le interese su valor nutritivo, el tiempo prolongado de cocción disminuirá su potencial nutricional. Además, las pérdidas físicas de frijoles causadas por este defecto, son altas. Existe consenso en cuanto a que este defecto se desarrolla por el almacenamiento de los frijoles a temperaturas

elevadas y humedad relativa, y que su característica principal es que las células no logran separarse (17, 18, 23, 27, 29). La absorción de agua es igual de alta en los frijoles duros de cocer como en los de fácil cocción, y el defecto es diferente al del problema de cáscara dura. Existe evidencia experimental sugerente de que la composición genética es importante, pero también existe evidencia de que los efectos ambientales influyen grandemente (53) y que, ajenos a ello, existe una fuerte interacción genética-ambiental. Asimismo, se cuenta con alguna evidencia sobre los efectos benéficos que causa la aplicación de potasio y sodio al suelo, pero se necesitan más estudios al respecto (28). También se le debe prestar mayor atención a los procesos de manejo de frijoles después de la cosecha y antes de su almacenamiento, puesto que la evidencia limitada con que se cuenta sugiere que esto es importante para retrasar el desarrollo de dicho defecto.

TABLA 5

ALGUNAS OBSERVACIONES GENERALES DEL DEFECTO DE DUREZA PARA COCCION

-
1. El defecto se desarrolla durante el almacenamiento de las leguminosas a elevadas temperaturas y humedad relativa. El resultado es un frijol que requiere de largos períodos de cocción.
 2. Recientemente se han descrito otros tratamientos como tratamiento a un pH ácido que también inducen al defecto de difícil cocción.
 3. La característica principal es un descenso de la separación celular que involucra la lamela media de la pared celular, pero también ocurren cambios en los contenidos celulares, en la estructura de la proteína y del almidón, la fibra neutro-detergente y la fibra ácido-detergente.
 4. La absorción de agua en los frijoles con dureza de difícil cocción es tan alta como en los frijoles de fácil cocción, pero la distribución es diferente, con acumulación abajo de la cáscara y no en el cotiledón. La cáscara de la semilla tiene una alta capacidad de absorción de agua.
 5. La cáscara dura en frijoles es impermeable al agua pero son más fáciles de cocer que los frijoles con dureza de cocción.
 6. Los cultivares de frijol presentan una gran variedad en la tasa y grado de desarrollo del defecto de dureza de difícil cocción. Se ha demostrado que las diferencias genéticas tienen significancia estadística.
 7. Varios informes han demostrado efectos ambientales importantes en el problema de dureza de difícil cocción, así como la interacción genética y ambiental.
 8. La adición de potasio y sodio al suelo y otras prácticas culturales y de cosecha han demostrado que reducen o influyen en el tiempo de cocción de las leguminosas.
-

Se ha efectuado bastante trabajo sobre el mecanismo que lleva al grano a endurecimiento para cocer, y todavía existe desacuerdo en este rubro entre los investigadores (18, 29, 50-52). La Tabla 6 reseña cuatro mecanismos, todos los cuales son válidos. Sin embargo, el mecanismo más complejo o sea el de ruta múltiple, parece cubrir todas las posibilidades actuales. Aunque es de interés saber cómo se desarrolló el defecto, deberían emprenderse estudios de las etapas fisiológicas previas al desarrollo del frijol. Para aplicaciones prácticas, habría que efectuar más estudios sobre el efecto que tiene la aplicación de potasio y sodio en el suelo, así como del papel que juega la composición genética. Hoy día ya existe interés por prevenir el defecto de endurecimiento como lo muestran las actividades que se exponen en la Tabla 7. Algunas han tenido éxito a nivel de laboratorio, pero la implementación puede ser más difícil de lograr (23, 55). Los frijoles son un artículo alimenticio caro, y las medidas preventivas no deben elevar su precio, ni interferir con su uso en el hogar y con otras aplicaciones. Es posible que una combinación de mejores líneas genéticas, con prácticas culturales adecuadas y mejores condiciones de almacenamiento serían las mejores formas de controlar o prevenir el defecto. Finalmente, se están haciendo esfuerzos por utilizar los frijoles duros de cocer. En la Tabla 8 se exponen algunos sistemas de procesamiento. Entre éstos se incluyen el agregado de sales como el bicarbonato de sodio, carbonato de potasio, y otros que reducen el tiempo de cocción (56, 57). La cocción a presión y la cocción por extrusión, sin embargo, también pueden ser útiles en ciertas situaciones. Con frijoles muy dañados o muy duros de cocer, tanto la extrusión como la tostación han rendido productos que sirven para la alimentación animal según lo indican los resultados de estudios con aves. Cada vez más aumentan las opciones para utilizar frijoles duros de cocer, por lo que las pérdidas podrán mermar conforme se vaya efectuando e implementando la transferencia de tecnología.

TABLA 6

RESUMEN DE LOS MECANISMOS QUE LLEVAN AL DEFECTO DE DUREZA DE COCCION

-
1. **Hidratación limitada de la proteína intra-celular (Vindiola, Seib, Hose-ney) (50).**
 2. **Insolubilización péctica de la lamela media por los iones de Ca y/o mg después de la acción combinada de metil-esterasa, pectina y fitasa (Jones y Boulter) (29).**
 3. **Unión cruzada de compuestos fenólicos (lignificación) y proteína en la lamela media (Varriano-Marston & Jackson). J. Food Sci, 46: 1379; 1981.**
 4. **Un mecanismo múltiple que involucra los procesos bioquímicos (2 y 3 arriba mencionados (Hinks & Stanley) (51).**
-

TABLA 7

ALGUNAS ACTIVIDADES PARA PREVENIR EL DEFECTO DE DUREZA DE DIFICIL COCCION

-
1. Almacenamiento adecuado - baja temperatura y humedad relativa
 2. Aplicación de calor para destruir la actividad enzimática
 3. Remojo en soluciones de cloruro de sodio
 4. Selección genética todavía por confirmar
 5. Prácticas culturales todavía por confirmar
 6. Adición de flúor
-

TABLA 8

UTILIZACION DE FRIJOLES DE DUREZA DE DIFICIL COCCION

-
1. Adición de sales
 2. Cocinar a presión
 3. Cocinar por extrusión
 4. Molienda mecánica y cocción por diferentes procedimientos
 5. Alimentos para animales - por medio de un abrasador o extrusor
-

Resumen sobre la Digestibilidad Proteínica del Frijol

Respecto al componente nutricional de la calidad del grano, tanto los atributos positivos como los negativos son de gran interés. Los positivos por naturaleza deben ser preservados en los programas de fitomejoramiento y producción, y aquéllos de carácter negativo deben corregirse en todo lo que sea posible, sin afectar la producción por unidad de área. Entre estos efectos la digestibilidad de la proteína se considera un problema de suma importancia. El problema se expone en la Tabla 9 como un resumen de los estudios efectuados en sujetos humanos sobre la digestibilidad proteínica llevados a cabo (4, 21, 22, 24, 34-36, 44-46). Los frijoles blancos acusan los valores más altos (59.8%), seguidos por los negros y los rojos (51.4

TABLA 9

DIGESTIBILIDAD DE LA PROTEINA DE LOS FRIJOLES EN SUJETOS HUMANOS

Muestra de frijol	No. de sujetos Adulto	Digestibilidad aparente de la proteína, %
Negro (J)	12	49.6 ± 10.2
Colorado	12	55.7 ± 16.2
Blanco	12	62.1 ± 10.1
50/50 (B/W)	12	57.4 ± 9.1
Negro	12	53.4 ± 7.2
Queso	12	76.2 ± 4.9
Negro	12	51.0 ± 11.4
Colorado	12	50.2 ± 6.1
Blanco	12	58.6 ± 5.5
Negro	8	54.6 ± 4.1
Negro-colado	9	48.4 ± 4.8
Carne	5	82.1 ± 2.7

y 52.9%, respectivamente). El promedio de las dos proteínas de origen animal es 79.1%, que es significativamente más alto.

Los valores para mezclas de frijoles con arroz y maíz o plátano se citan en la Tabla 10. Los valores permanecen bajos y la digestibilidad aumenta ligeramente cuando se consumen frijoles y cereales juntos. Por ejemplo, para 82% arroz/18% frijol negro, la digestibilidad es de 59.4% mejorada con el agregado de 10% de leche. Los valores de digestibilidad también son bajos en los niños (58-60).

Las razones de estos valores bajos se desconocen. La Tabla 11 compendia el alcance de los conocimientos sobre este problema. Existe evidencia sobre el papel que juegan los taninos (48); sobre el rol que desempeña la cáscara de la semilla, debido probablemente a su contenido de taninos y fibra dietética, y sobre el caldo de cocción que también es rico en taninos (61). Estudios no publicados indican que el agregado a la caseína de un extracto de hidróxido de sodio de frijoles cocidos, disminuye su digestibilidad. La fracción del hidróxido de sodio de los frijoles cocidos puede ser una proteína resistente a la degradación enzimática. Datos recientes han sugerido que la fibra dietética aumenta durante la cocción, uniendo de 19-30% de la proteína total del grano que posiblemente no es digerible. Si esta proteína se tiene en cuenta, la digestibilidad aumenta hasta alrededor del 80% y cerca de 100% cuando se utiliza nitrógeno endógeno fecal. Frecuentemente se encuentran niveles residuales de inhibidores de tripsina en los frijoles cocidos, y su rol si existe alguno, todavía es desconocido. El ácido fítico puede ligar la proteína tornándola no disponible.

TABLA 10

DIGESTIBILIDAD PROTEINICA EN HUMANOS, DE MEZCLAS DE ALIMENTOS QUE CONTIENEN FRIJOL

Mezcla de alimentos	%	Sujeto No.	Digestibilidad aparente de la proteína
Frijol y plátano		9 A	50.4 ± 11.4
Frijol (18) arroz (82) (45 kcal)		10 A	59.1 ± 7.4
Frijol (18) arroz (82) (45 kcal)		10 A	59.6 ± 6.0
Frijol-Arroz = 10% Leche (45 kcal)		10 A	65.3 ± 7.6
Frijol-Arroz = 10% Leche (50 kcal)		10 A	64.6 ± 10.3
Arroz			81
Frijol (13) maíz (87)		6 A	60
Frijol		6 A	61
Maíz		-	77
Frijol (13) maíz (87)		4 N	72
Maíz		6 N	75

A = Adulto N = Niños.

Resultados recientes de otros estudios han revelado que de todos los aminoácidos esenciales, la lisina es el aminoácido con la mayor disponibilidad, lo que podría explicar el excelente efecto suplementario que ejerce sobre los granos de cereales (62).

Las implicaciones de la baja digestibilidad de la proteína del frijol deben ser consideradas desde varios puntos de vista. La Tabla 12 presenta cálculos sobre la proteína utilizable en una hectárea de tierra, asumiendo una producción de 1,000 kg de frijoles/hectárea. Sobre la base del contenido promedio de proteína en el frijol, alrededor de 23%, y en el promedio de digestibilidad de la proteína de sujetos humanos, de 54.7%, una hectárea de tierra dará 125.8 kg de proteína utilizable, equivalente a 547 kg de frijol de los 1,000 producidos. Si esto se corrige por la calidad proteínica, el equivalente de rendimiento del grano sería de 378 kg de los 1,000 kg producidos. Por consiguiente, si se incluye el costo de la producción del frijol, resulta más que obvio que el costo de la proteína utilizable o de la proteína

TABLA 11

**ALGUNAS OBSERVACIONES SOBRE LA DIGESTIBILIDAD DE
LA PROTEINA DEL FRIJOL**

1. Los taninos aumentan la producción de nitrógeno fecal, ya sea a través de la proteína de enlace durante la cocción, o a través de la inhibición de las enzimas digestivas
2. La remoción de la capa de la semilla, del caldo de cocción y del extracto de hidróxido de sodio de los frijoles cocidos aumenta la digestibilidad de la proteína
3. La fibra dietética aumenta de los frijoles crudos a cocidos, uniéndose de 19-30% de la proteína no digerible
4. Debe establecerse el rol de los inhibidores de tripsina así como del ácido fítico
5. La presencia de proteínas resistentes a la degradación enzimática (?)
6. La disponibilidad alta de lisina en los estudios *in vitro* en adultos humanos

TABLA 12

**IMPLICACIONES DE LA BAJA DIGESTIBILIDAD PROTEINICA
DEL FRIJOL EN LA AGRICULTURA**

	Por ha
Producción, kg	1,000.0
Proteína (23% b.p.s.), kg	230.0
Digestibilidad, %	54.7
Digestibilidad proteínica, kg	125.8
	(equiv. 547 kg de proteína)
Valor biológico, %	69.2
Proteína utilizable, kg	87.0
Equivalente productivo, kg	378.0

digerible del frijol sea alto, al estimarlo de esta forma junto con los costos de producción, el costo es más alto para el consumidor al agregarle el costo de cocción.

Pero los frijoles no se consumen solos, generalmente van acompañados de maíz, arroz u otros alimentos. La mezcla de cereal y frijoles acusa un valor de digestibilidad menor que la calculada con

base en los niveles de los componentes de la mezcla, según se demuestra en la Tabla 13. La baja digestibilidad de la proteína del frijol domina, o bien factores de los frijoles también afectan la digestibilidad de la proteína de los cereales.

La baja digestibilidad de la mezcla aumenta la eficiencia de uso de la tierra.

Un tercer aspecto que merece ser comentado es la posible relación que existe entre la fibra dietética (FD) y la digestibilidad de la proteína del frijol, por los efectos que se han informado tiene la FD en la salud. Sin embargo, en nuestros países, la FD puede obtenerse de un gran número de fuentes de alimentos, y no necesariamente de los frijoles.

No existe ninguna duda de que la digestibilidad de la proteína constituye un problema importante en los frijoles por lo que para comprender y resolver el problema, deben incrementarse los estudios en este rubro. Un aumento del contenido proteínico no es la solución ideal; a título de ejemplo en la Tabla 14 se presentan algunos argumentos en contra de ese enfoque. Existe una relación negativa bien definida entre producción y contenido proteínico y metionina, lo que resulta en una proteína de calidad más baja. Además, la digestibilidad de la proteína de los frijoles de más alto contenido de este nutriente que los normales, es tan baja como la digestibilidad de la proteína en frijol de un contenido normal.

TABLA 13

DIGESTIBILIDAD PROTEINICA DETERMINADA Y CALCULADA DE MEZCLAS DE CEREALES Y FRIJOL COMUN

Sistema alimentario	Digestibilidad de la proteína, %	Sistema alimentario	Digestibilidad de la proteína, %
Maíz (100%)	77	Arroz (100%)	81
Frijol (100%)	60	Frijol (100%)	60
87% Maíz + 13% Frijol (calculado)	75	82% Arroz + 18% Frijol (calculado)	77
87% Maíz + 13% Frijol (determinado)	61	82% Arroz + 18% frijol (determinado)	59

TABLA 14

**ARGUMENTO EN CONTRA DE CONTENIDO DE PROTEÍNA
MAYOR DE PROMEDIO EN LEGUMINOSAS**

-
1. **Correlación negativa entre contenido de proteína y rendimiento.**
 2. **Correlación negativa entre contenido de proteína y aminoácidos azufrados.**
 3. **Menor calidad proteína en leguminosas con contenido mayor de proteína.**
 4. **Menor efecto complementario de la proteína con granos de cereal.**
 5. **Menor efecto suplementario de la proteína con cosechas farináceas o tubérculos.**
 6. **Ningún cambio en la digestibilidad de la proteína.**
-

Resumen sobre Taninos

Para terminar con este resumen general, es importante considerar los taninos. En la Tabla 15 se presenta así, un resumen de la información disponible al respecto (47). Los taninos están presentes en la cáscara de la semilla, y los frijoles blancos contienen cantidades pequeñas o no cuantificables de ellos. Son útiles para la semilla durante la germinación, porque la ayudan a resistir la infestación de hongos en el suelo. Una vez cocidos, sin embargo, la distribución cambia. Por ejemplo, para frijoles negros 19% se encuentra en el caldo de cocción, 60% permanece en el grano, y 21% no se han podido localizar (47). Los taninos aumentan la excreción de nitrógeno fecal y, por lo tanto, disminuyen la digestibilidad (46). Inhiben las enzimas digestivas, y probablemente reaccionan con la proteína. Aun cuando no existe suficiente evidencia a ese particular, se ha sugerido que influyen en la aceptabilidad. Su ingesta reduce el apetito y se dispone de cierta evidencia sugestiva de que aumentan los requerimientos de aminoácidos azufrados. Los taninos en el caldo de cocción deshidratado causan una alta mortalidad en ratas (62). Es, pues, sin ninguna duda, un área que requiere mayor investigación.

Resumen sobre los Carbohidratos de los Frijoles

El mayor componente químico en las leguminosas es la fracción de carbohidratos la que representa hasta 60% del peso total de la semilla. Más aún, los carbohidratos no han sido estudiados tan extensamente como la proteína y los diferentes inhibidores. Algunos

de los hallazgos al respecto se exponen en la Tabla 16. El almidón es el carbohidrato más abundante del frijol común, en el que la amilosa puede contribuir con una porción significativa. Aun cuando el total de azúcares representa un pequeño porcentaje del total de los carbohidratos, estos son los causantes del malestar que producen cuando se consumen (24, 25, 38, 39).

TABLA 15

PRINCIPALES HALLAZGOS DE TANINOS EN LEGUMINOSAS

1. Están presentes principalmente en la capa de la semilla.
 2. El descascarar reduce los taninos significativamente hasta más de 75% para la mayoría de las leguminosas.
 3. El descascarar aumenta la digestibilidad de la proteína y la calidad proteínica.
 4. El remojo en agua reduce el contenido de taninos, más aún a un pH alcalino.
 5. El cocinar con agua cambia la distribución de los taninos adentro del grano, con grandes cantidades en el caldo de cocción.
 6. La cocción a presión es menos efectiva que la cocción atmosférica para reducir los taninos.
 7. La germinación reduce el contenido de taninos.
 8. Los taninos inhiben un número de enzimas, reduciendo la digestibilidad proteínica y la de otros nutrientes.
 9. Su consumo reduce la ingesta del alimento.
 10. Pueden interferir con la utilización de nutrientes a nivel metabólico y son mortales en ingestas altas en ratas.
 11. Su contenido en las leguminosas es dependiente genéticamente.
-

Juegan un papel importante en el procesamiento, y su digestibilidad es variable y difícil de evaluar usando técnicas *in vitro*. También desempeñan un papel importante durante el procesamiento de los frijoles o en los frijoles ya procesados. Sus propiedades funcionales principales incluyen, expansión, solubilidad, absorción de agua, gelatinización, pastizaje, absorción de aceites, textura y sabor. La fracción CHO del frijol común merece que se le preste mucho más atención.

TABLA 16

HALLAZGOS GENERALES EN LA DIGESTIBILIDAD DE CARBOHIDRATOS EN LAS LEGUMINOSAS

-
1. Se cuenta con pocos valores analíticos
 2. La digestibilidad varía entre las leguminosas
 3. Los valores de digestibilidad *in vivo* son más altos que los valores *in vitro*
 4. Las leguminosas en estado de madurez secas tienen valores de digestibilidad menores que los granos inmaduros.
 5. El procesamiento, especialmente el hervido, da como resultado mayores valores de digestibilidad *in vitro*
 6. Juegan un papel importante durante el procesamiento - sus propiedades funcionales principales incluyen: expansión, solubilidad, absorción de agua, gelatinización, pastizaje, absorción de aceites, textura y sabor
-

RECOMENDACIONES

Necesidades de Estudio

1. Se necesita una asociación más cercana entre los productores y los científicos en el área de alimentación y nutrición, para lograr un grano de frijol común, de buena calidad.
2. Debe prestársele más atención a los sistemas de almacenaje sencillos y económicos, incluyendo aquéllos asociados con la eliminación de humedad y de manejo antes de almacenar los granos.
3. Deben continuarse los estudios de las características de aceptabilidad del frijol, así como una asociación con los efectos fisiológicos.
4. Debe seguir abordándose el problema de endurecimiento para cocer, pero no tanto de los granos maduros y secos. También debe investigarse su asociación con herencia genética, así como los efectos culturales y ambientales, y los de fisiología de la planta.
5. Los estudios de prevención del fenómeno de endurecimiento a la cocción deben aumentarse con tecnologías que sean efectivas, pero de implementación fácil y económica. Esto también incluye el uso de frijoles duros para cocer.
6. Debe continuarse prestándole atención a los inhibidores del frijol común (IT), especialmente a aquéllos que muestran actividad después de cocidos.

7. Los taninos de los frijoles deben estudiarse más a fondo. Se necesitan más datos sobre los efectos fisiológicos en el consumidor. También son importantes los efectos en cuanto a reducir la biodisponibilidad de nutrientes, o en el aumento de las necesidades de nutrientes.
8. Se necesita conocer mejor la significancia de la fibra dietética en los frijoles, cómo se forma, así como su composición, especialmente asociada con la digestibilidad de la proteína.
9. La digestibilidad proteínica requiere de estudios adicionales sobre los factores inherentes en la semilla o sobre el proceso que la hace tan baja. Deben establecerse sus implicaciones en el consumo de la dieta.
10. Aun cuando no se ha dicho mucho sobre la bioutilización de los carbohidratos, es un campo que necesita de mayor investigación. Lo mismo es cierto para el contenido de aminoácidos de la proteína.
11. Finalmente, se necesita con urgencia desarrollar alimentos basados en frijol. Es una actividad que si tiene éxito, puede resultar en un incentivo para que los agricultores aumenten la producción, y así sus ingresos.

SUMMARY

OVERVIEW ON BEAN GRAIN QUALITY

As the title states, the present document is a review of the factors which may influence the bean grain quality. This quality is determined by factors such as acceptability by the consumer, cookability characteristics and by its nutritive value. At the same time, these factors are affected by the genetic constitution of the grain as well as by the environmental conditions of production. Therefore, the improvement obtained on the bean-grain quality will be measured through the interaction established among the different disciplines, such as genetists, agronomists and scientists in food science and nutrition. The above-mentioned factors are influenced by the events that occur in the different links of the food chain. This article analyzes the effect of processing on the nutritive quality of the grain and, likewise, a brief review of the hard-to-cook problem which affects the acceptability of the grain by the consumer is made. It also considers the low protein digestibility problem and the effects that have been associated to tannin content, as well as the carbohydrate utilization. Finally, some recomendations are suggested to improve the nutritional quality of beans, which is the most important protein source for large segments of the worldwide population.

BIBLIOGRAFIA

1. Gibbs, M. & C. Carlson (Editors). Crop Productivity Research Imperatives Revisited. Washington, D.C. National Research Council, 1985.
2. Hulse, J.H., K.O. Rachie & L.W. Billingsley. Nutritional Standards and Methods of Evaluation for Food Legume Breeders. Ottawa, Canadá, IDRC, 1977.

3. Hawtin, G.C., K.O. Rachie & J.M. Green. Breeding strategy for the nutritional improvement of pulses. In: **Nutritional Standards and Methods of Evaluation for Food Legume Breeders**. J.H. Hulse, K.O. Rachie & L. W. Billingsley (Eds.). Ottawa, Canada, IDRC, 1977, p. 43-51.
4. Bressani, R. & L.G. Elías. Tentative nutritional objectives in the major food crops for plant breeders. In: **Nutritional Standards and Methods of Evaluation for Food Legume Breeders**. J. H. Hulse, K.O. Rachie, and L. W. Billingsley (Eds.). Ottawa, Canada, IDRC, 1977, p. 51-61.
5. Bressani, R. The incorporation of nutritional goals in agricultural research in developing countries. **Benson Institute Rev.**, 10: 18-28, 1987.
6. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). **Potentials of Field Beans and other Food Legumes in Latin America**. Cali, Colombia, CIAT, 1973.
7. Lareo, L.R. Acceptability parameters and nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). In: **Acceptability and Nutrition on Quality of Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.)**. A bibliography. L.R. Lareo and F. González V. (Eds.) Cali, Colombia, CIAT, 1988.
8. Ríos, B., R. Diamant & B. Watts. The influence of sensory attributes on the acceptability of 20 lines of Guatemalan black beans. In: **Bean Network. Proceedings of the Third Workshop held in Termas de Panimavida, Chile. 25-28 Nov. 1987**. Ottawa, Canada, IDRC, 1988, p. 187-202.
9. Pabon R., L.A., C.J. Aguirre & J.A. Reyes I. Resistencia de diez y siete variedades comerciales de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en almacenamiento al ataque del gorgojo pintado de los granos (*Zabrotes subfasciatus* Boh.). **Acta Agronómica**, 26: 39-45, 1976.
10. Tahhan, O.&G. Harri. Infestation of faba bean seeds by *Bruchus dentipes* Baudi (*Coleoptera: Bruchidae*). **FABIS Newsletter** No. 3, April, 1981.
11. Ellis, R.H., P.K. Agrawal & E.E. Ross. Harvesting and storage factors that affect seed quality in pea, lentil, faba bean and chickpea. In: **World Crops: Cool Season Food Legumes**. R. J. Summerfield (Ed.). London, Kluwer Academic Publishers, 1988, p. 303-339.
12. Liener, I.E. Toxic factors in edible legume and their elimination. **Am. J. Clin. Nutr.**, 11: 281-298, 1962.
13. Linares, S,C.M. de Bosque, L.G. Elías & R. Bressani. Características tecnológicas y nutricionales de 20 cultivares de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). I. Características físicas del grano. **Turrialba**, 31: 1-10, 1981.
14. Mendoza de Bosque, C,S. Linares, L.G. Elías & R. Bressani. Características tecnológicas y nutricionales de 20 cultivares de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). II. Características químicas y nutricionales del grano. **Turrialba** (Aceptado para publicación, 1990).
15. Bressani, R., L.G. Elías & M.E. de España. Posibles relaciones entre medidas físicas, químicas y nutricionales en frijol común (*Phaseolus vulgaris*). **Arch. Latinoamer. Nutr.**, 31: 550-570, 1981.
16. Paredes-López, O., R. Montes-Rivera J. González-Castañeda, & M.G. Arroyo-Figueroa. Comparison of selected food characteristics of three cultivars of bean *Phaseolus vulgaris*. **J. Food Technol.**, 21: 487-494, 1986.
17. Paredes-López, O., I. Barradas & C. Reyes-Moreno. Prediction of the effect of storage conditions on water content and water activity of common beans. **J. Food Sci.**, 54 (5): 1373-1376, 1989.
18. Jones, P.M.B. & D. Boulter. The analysis of development of hard bean during storage of black beans (*Phaseolus vulgaris*). **Plant Foods Human Nutr.**, 33: 77-85, 1983.
19. Bressani, R., L.G. Elías & A.T. Valiente. Effect of cooking and of amino acid

- supplementation on the nutritive value of black beans (*Phaseolus vulgaris*). *Br. J. Nutr.*, 17:69-78, 1963
20. Almas, K. & A.E. Bender. Effect of heat treatment of legumes on available lysine. *J. Sci. Food Agric.*, 31: 448-452, 1980.
 21. Bressani, R., J.E. Braham & L.G. Elías. Effects on nutritional quality of food legumes from chemical changes through processing and storage. In: **Chemistry and World Food Supplies: The New Frontiers**. Chemrawn II. L. W. Shemilt (Ed.). New York, N. Y., Pergamon Press, 1983, p. 491-503.
 22. Bressani, R. Research needs to up-grade the nutritional quality of common beans (*Phaseolus vulgaris*). *Plant Foods Human Nutr.*, 32: 101-110, 1983.
 23. Aguilera, J.M. & A. Steinsapir. Dry processes to retard quality losses of beans (*Phaseolus vulgaris*) during storage. *Canad. Inst. Food Sci. Technol. J.*, 18: 72:78, 1985.
 24. Tobin, G. & K.J. Carpenter. The nutritional value of the dry bean (*Phaseolus vulgaris*): A literature review. *Nutr. Abst. Revs.*, 48: 919-936, 1978.
 25. Bressani, R. & L.G. Elías. Seed quality and nutritional goals in pea, lentil, faba bean and chickpea breeding. In: **World Crops: Cool Season Food Legumes**. R. J. Summerfield (Ed.), London, Kluwer, Academic Publishers, 1988, p. 381-404.
 26. Yousef, M.M. & A.M. El-Tabey. Cooking quality of faba beans (*Vicia faba*). *FABIS Newsletter*, No. 3, April 1981.
 27. Bourne, M. Size, density and hardshell in dry beans. *Food Technol.*, 21: 335-338, 1967.
 28. Wassimi, N., S. Abu-Shakra & A.H. Hallab. Effect of mineral nutrition on cooking quality of lentils. *Canad. J. Plant Sci.*, 58: 165, 1968.
 29. Jones, P.M.B. & D. Boulter. The cause of reduced cooking rate in *Phaseolus vulgaris* following adverse storage conditions. *J. Food Sci.* 48: 623-626, 649, 1983.
 30. Bressani, R., D.A. Navarrete, A. García-Soto & L.G. Elías. Culinary practices and consumption characteristics of common beans at the rural home level. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, 38: 925-934, 1988.
 31. Walker, A.F. Physiological effects of legumes in the human diet: A review. *J. Plant Foods*, 4: 5-14, 1982.
 32. Acevedo, E. & R. Bressani. Contenido de fibra dietética y digestibilidad del nitrógeno en alimentos centroamericanos: Guatemala. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, (Aceptado para publicación, 1990).
 33. Leeds, A.R. Legumes and gastrointestinal function in relation to diets for diabetics. *J. Plant Foods*, 4: 23-27, 1982.
 34. Bressani, R., L.G. Elías & M.R. Molina. Estudios sobre la digestibilidad de la proteína de varias especies de leguminosas. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, 27: 215-231, 1977.
 35. Bressani, R., L.G. Elías & J.E. Braham. Reduction of digestibility of legume protein by tannins. *J. Plant Foods*, 4: 43-55, 1982.
 36. Bressani, R., D.A. Navarrete, E. Hernández, O. Gutiérrez, E. Vargas & L.G. Elías. Studies on the protein digestibility of common beans (*Phaseolus vulgaris*) in adult human subjects In: **International Association for Quality Research on Food Plants. 5. Joint Congress Proceedings**. Kiel, Federal Republic of Germany. Christian-Albrechts-Universitat, 1982, p. 269-287.
 37. Geervani, P. & F. Theophillus. Effect of home processing on the protein quality of selected legumes. *J. Food Sci.*, 45: 707-710, 1980.
 38. Geervani, P. & F. Theophillus. Studies on digestibility of selected legume carbohydrates and its impact on the pH of the gastrointestinal tract in rats. *J. Sci. Food Agric.*, 32: 71-78, 1981.
 39. Geervani, P. & F. Theophillus. Influence of legume starch on protein utilization and availability of lysine and methionine to albino rats. *J. Food Sci.*, 46: 817-819, 1981.

40. Pea-Valdivia, C.b. & M.L. Ortega-Delgado. Unavailable carbohydrate in common bean cotyledon (*Phaseolus vulgaris* L.) Cemario Group. *Qual. Plant, Plant Foods Human Nutr.*, **34**: 87-95, 1984.
41. Kataria, A. & B.M. Chauhan. Content and digestibility of carbohydrates of mung beans (*Vigna radiata* L.) as affected by domestic processing and cooking. *Plant Foods Human Nutr.*, **38**: 51-59, 1988.
42. Amaya, H., E. Acevedo & R. Bressani. Efecto del recalentamiento sobre la disponibilidad del hierro y el valor nutritivo de la proteína del frijol negro (*Phaseolus vulgaris*) cocido. *Arch. Latinoamer. Nutr.* (Aceptado para publicación 1990).
43. Lowgren, M. The effect of slow-cooking on the trypsin inhibitor and hemagglutinating activities and *in vitro* digestibility of brown beans (*Phaseolus vulgaris*, var. Stella) and kidney beans (*Phaseolus vulgaris*, var. Mont calm). *Plant Foods Human Nutr.*, **36**: 147-154, 1986.
44. Aw, T.L. & B.G. Swanson. Influence of tannins on *Phaseolus vulgaris* protein digestibility and quality. *J. Food Sci.*, **50**: 67-71, 1985.
45. Wolzak, A., R. Bressani & R. Gómez-Brenes. A comparison of *in vivo* and *in vitro* estimates of protein digestibility of native and thermally processed vegetable proteins. *Plant Foods Human Nutr.* **31**: 31-43, 1981.
46. Bressani, R., E. Hernández & J.E. Braham. Relationship between content and intake of bean polyphenolics and protein digestibility in humans. *Plant Foods Human Nutr.*, **38**: 5-21, 1988.
47. Bressani, R. & L.G. Elías. The nutritional role of polyphenols in beans. In: *Polyphenols in Cereals and Legumes*. J.H. Hulse (Ed.). Ottawa, Canada, IDRC, 1980, p. 61-72.
48. Bressani, R., A. García-Soto, L. Estrada Ligorria & J. Sosa. Preliminary study of the factors that determine nutrient composition of bean-cooking broth. *Plant Foods Human Nutr.*, **38**: 297-308, 1988.
49. García-López, S. & C. Jane Wyatt. Effect of fiber in corn tortillas and cooked beans on iron availability. *J. Agr. Food Chem.*, **30**: 724-727, 1982.
50. Vindiola, O.L., P.A. Seib & H.C. Hoseney. Accelerated development of the hard-to-cook state in beans. *Cereal Foods World.*, **31**: 538-552, 1986.
51. Hincks, M.J. & D.W. Stanley. Multiple mechanisms of bean hardening. *J. Food Technol.*, **21**: 731-750, 1986.
52. Hincks, M.J. & D.W. Stanley. Lignification: Evidence for a role in hard-to-cook beans. *J. Food Biochem.*, **11**: 41-58, 1987.
53. Paredes-López, O., C. Reyes-Moreno, R. Montes-Rivera & A. Carabez-Trejo. Hard-to-cook phenomenon in common beans-influence of growing location and hardening procedures. *Internat. J. Food Sci. Technol.*, **24**(5): 535-542, 1989.
54. Paredes-López, O., E.C. Maza-Calvino & J. González-Castañeda. Effect of the hardening phenomenon on some physico-chemical properties of common bean. *Food Chem.*, **31**: 225-236, 1989.
55. Molina, M.R., M.A. Baten, R.A. Gómez-Brens, K.W. Kings & R. Bressani. Heat treatment: A process to control the development of hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris*). *J. Food Sci.*, **41**: 661-666, 1976.
56. Iyer, V., D.K. Salunkhe, S.K. Sathe & L.B. Rockland. Quick-cooking beans (*Phaseolus vulgaris*) I. Investigations on quality. *Plant Foods Human Nutr.*, **30**: 27-43, 1980.
57. Molina, M.R., M.E. Rizo, M.A. Baten & R. Bressani. Prevención del endurecimiento del frijol y aprovechamiento del grano endurecido. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, **32**: 368-400, 1982.
58. Bressani, R., D.A. Navarrete & L.G. Elías. The nutritional value of diets based on starchy foods and common beans. *Plant Foods Human Nutr.*, **34**: 109-115, 1984.

59. Vargas, E., R. Bressani, D.A. Navarrete, J.E. Braham & L.G. Elías. Digestibilidad de la proteína y energía de dietas elaboradas a base de arroz y frijoles en humanos adultos. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, 34: 109-129, 1984.
60. Vargas, E. R., Bressani, D.A. Navarrete, J.E. Braham & L.G. Elías. Digestibilidad de la proteína y energía de dietas elaboradas a base de arroz y frijoles en humanos adultos. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, 34: 109-129, 1984.
61. Braham, J.E. & R. Bressani. Effect of bean broth on the nutritive value and digestibility of beans. *J. Sci. Food Agr.*, 36: 1028-1034, 1985.
62. Blanco, A. & R. Bressani. Biodisponibilidad de aminoácidos de frijol (*Phaseolus vulgaris*). *Arch. Latinoamer. Nutr.* (Aceptado para publicación 1990).