

## CONOCIMIENTOS ACTUALES SOBRE EL PROCESO DE ENDURECIMIENTO DEL FRIJOL

*Luiz G. Elías*<sup>1</sup>

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

### INTRODUCCION

Una de las características de aceptabilidad más importantes que determinan la "calidad de cocción" de las leguminosas de grano es el tiempo que éste necesita para suavizarse durante el proceso de cocción. Esta característica es reclamada por el consumidor tanto a nivel casero como industrial, debido a las obvias implicaciones que ello tiene desde el punto de vista económico y organoléptico. Decimos económico, porque requiere un mayor gasto de combustible para el proceso de cocción, y organoléptico, porque en muchos casos el sabor del grano sufre también un deterioro notable. Además, desde el punto de vista industrial, los procesos unitarios que se utilizan para el procesamiento de los alimentos necesitan uniformidad en las características de la materia prima a usar. Por lo tanto, las diferencias en el tiempo de cocción contribuyen a cierta variabilidad en la calidad del producto procesado (1). Asimismo, hay que agregar el efecto negativo que dicho fenómeno tiene sobre la disponibilidad de este grano básico a la pobla-

---

1 Científico de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), Apartado Postal 1188, Guatemala, Guatemala, C. A.

ción, efecto que es más significativo si se recuerda los problemas que los profesionales en agronomía enfrentan para aumentar la producción de su cultivo. Con respecto a las características de cocción del frijol, pensamos que hay que considerar y diferenciar dos aspectos distintos de este fenómeno. Uno que se refiere a los cultivares recién cosechados, donde las diferencias en el tiempo de cocción se deben probablemente a factores inherentes a la semilla y que, a su vez, son debidos a aspectos de orden genético-agronómico, y el otro que se relaciona al desarrollo de un proceso de endurecimiento del grano debido a condiciones inadecuadas de almacenamiento, tales como: humedad del grano, temperatura, tiempo y humedad relativa del ambiente. Aunque los dos procesos de endurecimiento puedan estar hasta cierto punto interrelacionados, el presente trabajo concierne principalmente al segundo aspecto, o sea al deterioro de la "calidad de cocción" del frijol después de la cosecha; aún más específicamente, al frijol que se destina a fines alimentarios, y no para semilla (Figura 1). Como se observa en la Figura, trataremos de seguir la ruta indicada al lado izquierdo de la gráfica, la cual se refiere principalmente al problema de dureza debido a almacenamiento inadecuado. Es fácil también visualizar en este diagrama, los principales factores que influyen la textura del grano cocido. Nuestro propósito en esta revisión es profundizar un poco más en cada una de las etapas que van desde el almacenamiento hasta la textura del grano durante el proceso de cocción.

#### PROCESO DE ENDURECIMIENTO

Como mencionamos anteriormente, desde el punto de vista práctico, el fenómeno de endurecimiento del frijol se traduce en un aumento en el tiempo requerido para la suavización del grano durante el proceso de cocción, y en algunos casos en un deterioro de las características organolépticas del producto, tales como olor y sabor. A pesar de que este problema ha sido reconocido desde hace mucho tiempo, los esfuerzos por conocer las causas y el mecanismo de este fenómeno son bastante recientes. Con respecto a las causas o factores que influyen el endurecimiento del frijol, éstos son: la humedad del grano, temperatura, humedad relativa del ambiente y el tiempo de almacenamiento (2-5) (Tabla 1). Si se pudiera establecer una prioridad entre estos factores con respecto al efecto individual que ejerce cada uno de ellos y, con base

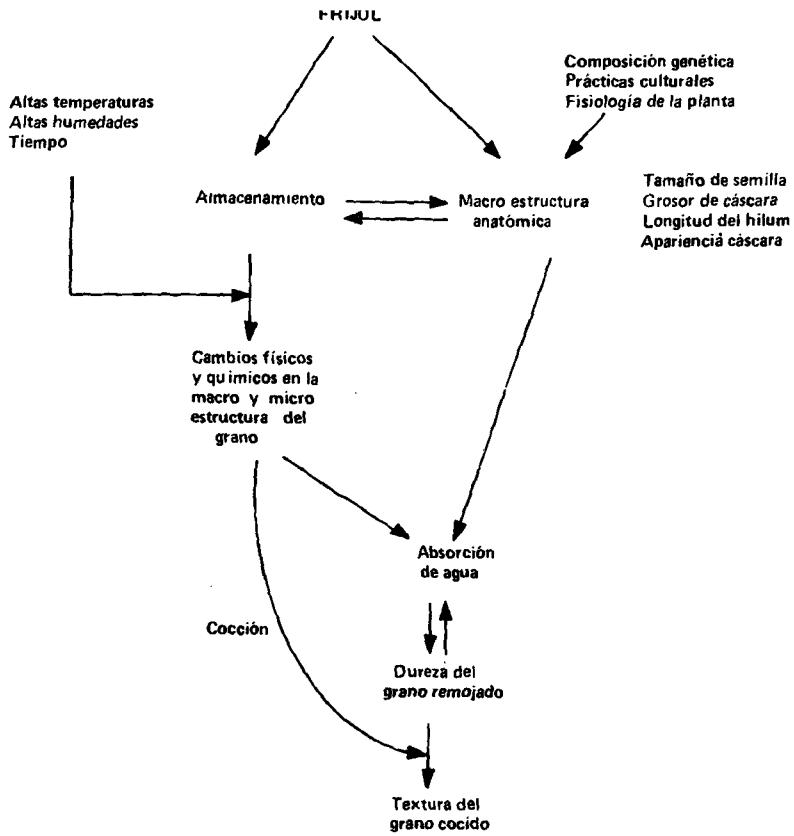


FIGURA 1

Hipótesis sobre el proceso general de endurecimiento del frijol

TABLA 1

**FACTORES QUE INFLUENCIAN LA CALIDAD DEL FRIJOL  
DURANTE EL ALMACENAMIENTO**

---

<b>Humedad de la semilla</b>
<b>Temperatura ambiental</b>
<b>Humedad relativa</b>
<b>Tiempo</b>

---

en los datos experimentales, se puede indicar que la humedad del grano, seguido de la temperatura de almacenamiento, parecen ser los más importantes. De una manera simplista, el aumento del tiempo de cocción se debe al desarrollo de un proceso de endurecimiento el cual afecta la capacidad de absorción de agua por parte de la semilla; en consecuencia, ésta requiere mayor tiempo para suavizarse cuando se somete al proceso de cocción. La lógica en que se basa este razonamiento es el hecho de que el proceso de suavización de la semilla durante el período de cocción estaría en gran parte relacionado con la capacidad de penetración del agua en la semilla. A este respecto es necesario subrayar que el término usado de "capacidad de absorción de agua" por parte de la semilla debe ser analizado bajo dos aspectos: primero, en lo que a la facilidad de penetración del agua a través de la testa se refiere y, en segundo lugar, en lo relativo a la capacidad de penetración y difusión uniforme de la misma a través del cotiledón. Este es un punto importante principalmente cuando se trata de relacionar tal característica física de la semilla con la textura y el tiempo de cocción; retornaremos a este aspecto más adelante en este documento. Por lo tanto, antes de revisar los conocimientos actuales sobre el mecanismo del endurecimiento, es importante discutir el significado y la relación causística de algunos parámetros fisicoquímicos relacionados con el problema, tales como: absorción de agua, dureza de la semilla, y tiempo de cocción, y su influencia en el aumento del tiempo de cocción de las leguminosas.

*Absorción de Agua*

Con respecto a este parámetro, es necesario indicar que existen por lo menos tres posibles factores que inciden en la capacidad

de absorción de agua, como ya señalamos al discutir la Figura 1; una relacionada a la cáscara (testa), otra a los cotiledones, y la tercera que involucra tanto la cáscara como el cotiledón. En cuanto a la cáscara, se ha creado inclusive un término conocido como "frijol de cáscara dura" como una indicación del mayor tiempo de cocción (6, 7). Hasta cierto punto esta hipótesis tiene su atractivo y mérito, ya que la cáscara es la primera barrera que debe enfrentar el agua antes de penetrar en el interior de la semilla (Figura 2), y esta penetración depende del grosor y de la textura de la testa, así como del tamaño del hilio y de la forma y tamaño del micrópilo. De acuerdo a estudios recientes (8), el grosor de la cáscara y el tamaño del hilio son los responsables por la mayor parte del agua absorbida por la semilla en las primeras 12 horas del período de remojo. Posteriormente, compuestos como el contenido de proteína se tornan importantes en el proceso de hidratación. Otros estudios (9, 10) han demostrado también cierta relación entre el porcentaje de cáscara y la capacidad de absorción de agua, introduciendo una posibilidad interesante, por la sencillez y facilidad de realizar esta medida en comparación con otras medidas más sofisticadas como lo son el grosor y la textura de la cáscara. La Tabla 2 muestra la relación entre algunos factores físicos y químicos asociados al problema de hidratación de la semilla. Estos datos indican una relación entre absorción de agua y tamaño de la semilla (11, 12), el porcentaje de cáscara, y su contenido de proteína y taninos (10). Con respecto a los parámetros químicos, es interesante señalar la relación encontrada con el contenido de taninos, ya que éste está presente casi exclusivamente en la cáscara del grano (13), y esta relación merece especial atención en lo concerniente al problema de endurecimiento del frijol durante el almacenamiento.

### *Dureza*

Independientemente de otros factores que influyen en el proceso de endurecimiento, es necesario considerar hasta qué punto la absorción de agua está relacionada a la dureza y al tiempo de cocción de la semilla. La Tabla 3 resume algunos de los resultados con respecto a la relación existente entre la capacidad de hidratación y la dureza de la semilla. A partir de estos estudios, es posible concluir que definitivamente existe una correlación significativa entre estos dos parámetros, lo que subraya la importancia del proceso de absorción de agua en la textura de la semilla (5, 8, 9, 12).

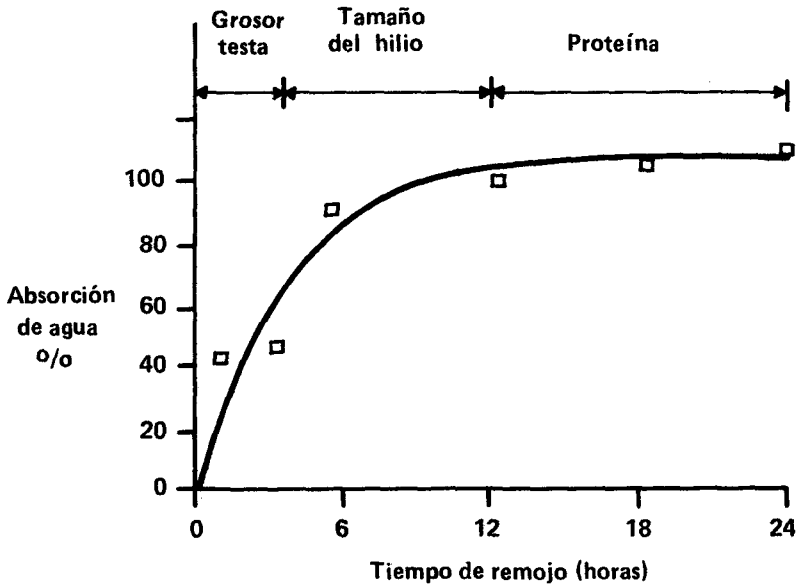


FIGURA 2

Curva de absorción de agua (adaptada de Sefa-Dedeh y Stanley) (20)

Una revisión de la metodología usada para determinar estos dos parámetros, indica que hay necesidad de una mejor estandarización con el propósito de obtener mejores correlaciones. Debido a que existe también una relación inversa entre el tiempo de remojo y la textura de la semilla (8), se espera que esta última, remojada, esté también relacionada con el tiempo requerido para alcanzar la textura adecuada durante el proceso térmico de cocción (tiempo de cocción). Como se muestra en la Tabla 4, aparentemente esta relación sí existe, aunque no es tan clara como en el caso anterior. Es posible que el efecto del calor que necesita el proceso de cocción catalice otras reacciones que influyeran la textura de la semilla, ya que es de esperar que el proceso de suavización del grano durante la cocción dependa, aunque en menor grado, de otros factores adicionales. Esto se observa claramente en la Tabla 5, donde se nota que la capacidad de absorción de agua por parte de la semilla no siempre está relacionada con el tiempo requerido para

TABLA 2

FACTORES FISICOS Y QUIMICOS QUE AFECTAN LA CAPACIDAD DE HIDRATACION DE LAS LEGUMINOSAS

Leguminosa	Tamaño de la semilla	Cáscara o/o	Proteína o/o	Taninos (Catequina) o/o	Referencia
	<i>Phaseolus vulgaris</i>	+ 0.40 NS			Gómez-Brenes <i>et al.</i> (11)
	<i>Phaseolus vulgaris</i>	+ 0.55**			Elías y Bressani (12)
Absorción de agua	<i>Phaseolus vulgaris</i>		0.57**		Bustamante (9)
	<i>Phaseolus vulgaris</i>		0.41*		Bustamante (9)
	<i>Phaseolus vulgaris</i>			0.39**	Linares <i>et al.</i> (10)
	<i>Phaseolus vulgaris</i>			-0.33**	Linares <i>et al.</i> (10)

NS: No significativo.

\* Significativo < 0.05.

\*\* Significativo < 0.01.

TABLA 3

CORRELACION ENTRE ABSORCION DE AGUA Y DUREZA  
EN LEGUMINOSAS DE GRANO

Leguminosa	r <sup>a</sup>	P	Referencia
<i>Phaseolus vulgaris</i>	-0.40	<0.10	De Mejía, Elías y Bressani (5)
<i>Phaseolus vulgaris</i>	-0.97	<0.05	Sefa-Dedeh y Stanley (8)
<i>Phaseolus vulgaris</i>	-0.79	<0.05	Sefa-Dedeh y Stanley (8)
<i>Vigna unguiculata</i>	-0.91	<0.05	Sefa-Dedeh y Stanley (8)
<i>Phaseolus vulgaris</i>	-0.40	<0.01	Bustamante, A. (9)
<i>Phaseolus vulgaris</i>	-0.25	NS <sup>b</sup>	Elías y Bressani (12)

<sup>a</sup> Coeficiente de correlación.

<sup>b</sup> No significativo.

TABLA 4

CORRELACION ENTRE DUREZA Y TIEMPO DE COCCION EN  
LEGUMINOSAS DE GRANO

Leguminosa	r	P	Referencia
<i>Phaseolus vulgaris</i>	0.33	NS <sup>a</sup>	Gómez-Brenes <i>et al.</i> (11)
<i>Vigna unguiculata</i>	0.85	<0.05	Sefa-Dedeh, Stanley y Voisey (29)
<i>Phaseolus vulgaris</i>	0.41	<0.05	De Mejía, Elías y Bressani (5)
<i>Phaseolus vulgaris</i>	-0.39	<0.01	Linares <i>et al.</i> (10)
<i>Phaseolus vulgaris</i>	-0.18	NS <sup>a</sup>	Elías y Bressani (12)

<sup>a</sup> No significativo.

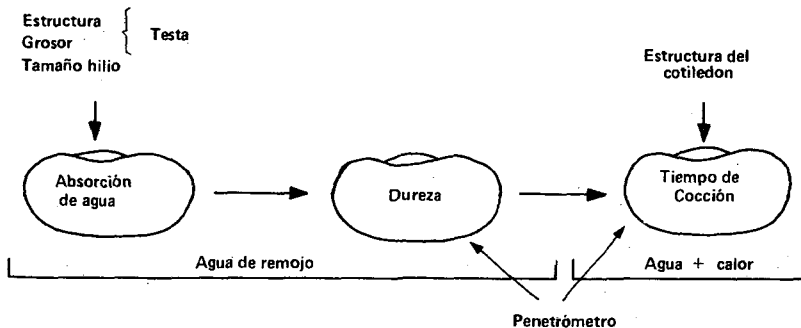
suavizar el grano durante el proceso de cocción. Como se trata de indicar en la Figura 3, este proceso de suavización (cocción) estaría entonces más relacionado a cambios adicionales en la micro estructura del cotiledón, provocado inicialmente por la presencia del agua durante el período de remojo y, posteriormente, por el efecto adicional del calor usado durante la etapa de cocción. Como mencionáramos antes, con respecto a la característica física de "absorción de agua", es necesario interpretar esta medida adecua-

TABLA 5

## CORRELACION ENTRE ABSORCION DE AGUA Y TIEMPO DE COCCION EN LEGUMINOSAS DE GRANO

Leguminosa	r	P	Referencia
<i>Phaseolus vulgaris</i>	0.55	<0.01	Elías y Bressani (12)
<i>Phaseolus vulgaris</i>	0.04	NS <sup>a</sup>	Linares <i>et al.</i> (10)
<i>Phaseolus vulgaris</i>	0.30	NS	De Mejía, Elías y Bressani (5)
<i>Vigna unguiculata</i>	-0.98	<0.05	Sefa-Dedeh, Stanley y Voisey (29)

<sup>a</sup> No significativo.

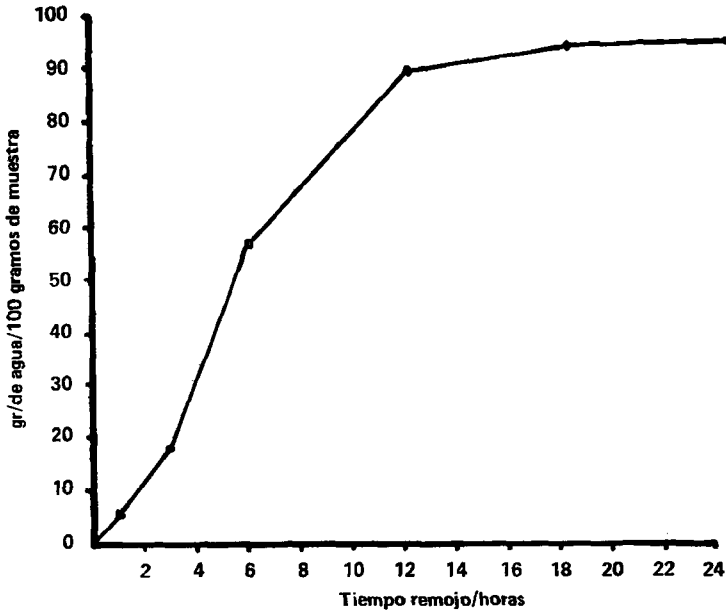


Incap 81-171

FIGURA 3

Factores que influyen la textura de las leguminosas

damente en lo referente a la distribución del agua absorbida por la semilla. Es posible que en el caso de la semilla recién cosechada la capacidad de hidratación refleje no sólo la facilidad de paso del agua a través de la cáscara, sino también su distribución uniforme en el cotiledón, como lo indica una curva típica de absorción de H<sub>2</sub>O para el frijol común (Figura 4) mostrando gran similitud con el patrón general de hidratación comentado anteriormente. Sin embargo, es posible que en el caso de la semilla almacenada por



Incap 81-176

FIGURA 4

Absorción de agua en frijol común (*Phaseolus vulgaris*) recién cosechado

largo tiempo en condiciones inadecuadas y que ya haya sufrido el proceso de endurecimiento, esta medida no refleje las dos fases del proceso de hidratación; esto parece confirmarse al observar la curva de hidratación de la semilla almacenada que muestra un patrón de absorción de agua similar al grano recién cosechado (Figura 5). No obstante, un examen más detallado (Figura 6) de las dos semillas mostró que, en el caso de la semilla almacenada y endurecida, gran parte del agua se quedó entre la testa y el cotiledón, lo que se reflejó en una falta de hinchamiento del cotiledón; mientras tanto, la semilla recién cosechada mostró una distribución uniforme del agua absorbida, revelando así un mayor poder de hinchamiento. Por lo tanto, es posible y explicable que en estos casos no se encuentre relación entre absorción de agua y textura y/o tiempo de cocción. De hecho, algunos investigadores (2) han informado falta de correlación entre la absorción de agua y el tiempo de cocción.

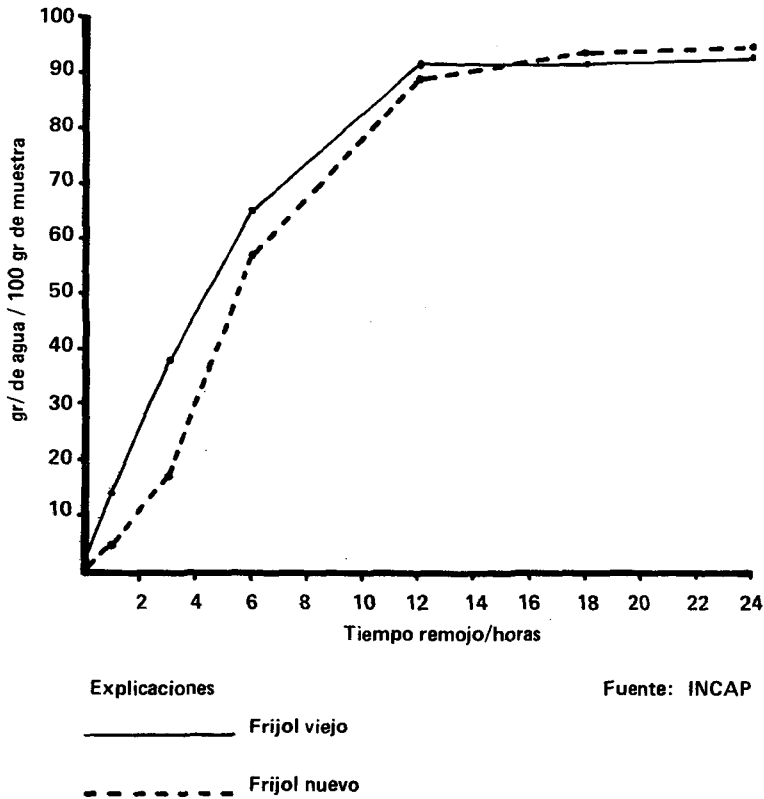


FIGURA 5

Gráfica de absorción de agua en frijol, expresada en gramos de agua absorbida por 100 gramos de muestra contra tiempo de exposición

Así, es necesario establecer aquellos parámetros de utilidad para resolver el problema de dureza inherente a la semilla y aquél que se desarrolla durante el almacenamiento. Es posible pensar que en la semilla recién cosechada, la primera fase del proceso de hidratación sea más importante, mientras que en el frijol endurecido por almacenamiento prolongado e inadecuado, predomine la segunda fase, y que ambos estén relacionados en mayor y menor grado con el tiempo de cocción.



FIGURA 6

Absorción de agua del frijol almacenado y recién cosechado

#### MECANISMOS DEL PROCESO DE ENDURECIMIENTO

De los factores fisicoquímicos involucrados en la textura de la semilla del frijol, aparentemente la capacidad de hidratación parece ser la más determinante, y esta fase inicial depende principalmente de las características fisicoquímicas y morfológicas de la testa y del tamaño del hilio (Figura 3). Aún más, esta fase inicial representa el mayor aporte al proceso de suavización de la semilla durante la etapa de remojo. Posteriormente, el calor y el tiempo empleados para el proceso de cocción determinarán la textura final de la semilla. En esta última etapa se considera que la suavización de la semilla dependerá principalmente de cambios físicos y químicos de los principales componentes del cotiledón. De ahí que los posibles mecanismos que expliquen el proceso de endurecimiento deben involucrar aspectos físicos, químicos y bioquímicos de las dos principales partes anatómicas de la semilla, esto es, la testa y el cotiledón. No obstante, conviene aclarar que en el caso del endurecimiento del grano por condiciones inadecuadas de almacenamiento, estas características de cocción que poseen las semillas recién cosechadas, suelen agravarse a través de los cambios físicos, químicos, y estructurales que sufren. Los conocimientos adquiridos

hasta la fecha permiten elaborar varias hipótesis que pueden servir de base para discutir el proceso de endurecimiento del frijol. No es necesario que estas hipótesis sean vistas independientemente, sino más bien en forma interrelacionada, para explicar y comprender este fenómeno.

### *Papel de los Polifenoles*

Los pigmentos que caracterizan los diferentes colores de las semillas de leguminosas están localizados en la testa. Entre éstos, los polifenoles últimamente han sido objeto de varios estudios con el propósito de evaluar su significado desde el punto de vista nutricional (13-17) y tecnológico (18). En este último aspecto, se ha tratado de relacionarlo principalmente con el sabor y la textura de la semilla. Estudios recientes (5) sugieren una posible relación entre el contenido de polifenoles y el proceso de desarrollo de la dureza del frijol durante el almacenamiento. La Tabla 6 muestra resultados parciales de dicho estudio que indican una disminución significativa en el contenido de polifenoles (expresado como catequina) del frijol común durante el tiempo de almacenamiento, que en este caso fue de seis meses. Este descenso se acompañó de un incremento de la actividad del polifenol-oxidasas, de la dureza, y del tiempo de cocción del grano. Aún más interesante, el menor contenido de catequina guardó relación directa con las condiciones de almacenamiento que favorecen el desarrollo del proceso de dureza del frijol. Según se aprecia (Figura 7), a mayor humedad del grano y mayor temperatura de almacenamiento, mayor disminución en el contenido de catequina. Aparentemente, el descenso en el contenido de catequina también está directamente relacionada a la actividad de la enzima polifenol-oxidasas ya que se encontró una correlación con tendencia negativa no significativa, entre estos dos parámetros. Otra manera de analizar el proceso de endurecimiento durante el almacenamiento es el de cuantificar el efecto que diferentes factores ejercen sobre la textura y el tiempo de cocción a través del tiempo. Los resultados de los análisis de regresión múltiple que se muestran en la Tabla 7 indican que, a los dos meses, el factor que más afectó la dureza fue la capacidad de absorción de agua, seguido del contenido de proteína, que a los cuatro meses se convirtió en la causa más importante; a este tiempo, el contenido de taninos ocupó el segundo lugar para luego ascender al primer lugar a los seis meses de almacenamiento. Estos datos son realmente interesantes, ya que ratifican lo que antes dijéramos acerca

TABLA 6

**CORRELACION ENTRE EL CONTENIDO DE CATEQUINA Y ALGUNAS  
CARACTERISTICAS FISICAS DEL FRIJOL DURANTE EL  
ALMACENAMIENTO**

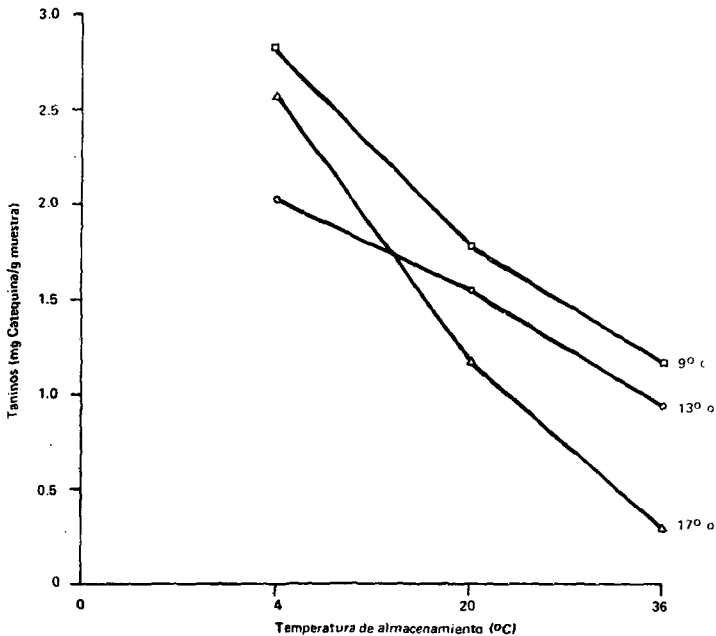
Variables	Estadístico	Significancia
Catequina — Tiempo de almacenamiento	F = 8.05	0.001
Catequina — Dureza	R = 0.32	< 0.05
Catequina — Tiempo de cocción	R = 0.63	0.000
Catequina — Absorción de agua	R = 0.005	NS**
PPO* — Tiempo de almacenamiento	F = 8.56	< 0.001

\* Actividad de la polifenol-oxidasa.

\*\* No significativo.

de la importancia de la absorción de agua como un parámetro valioso para predecir la dureza en la semilla recién cosechada, o sometida a un tiempo relativamente corto de almacenamiento. Asimismo, confirma la influencia del contenido de proteína sobre la absorción de agua; finalmente, indica el papel decisivo del contenido de taninos como un indicador de dureza a un tiempo más prolongado de almacenamiento y, muy probablemente, su interacción en el mecanismo de dureza del frijol durante el almacenamiento. Los resultados en la Tabla 8, indicativos de que el tiempo de cocción estuvo influenciado principalmente por el contenido de catequina a través del almacenamiento, sustentan lo dicho.

Aunque bioquímicamente es fácil suponer y esperar que bajo las condiciones de almacenamiento opere un mecanismo enzimático que explique la disminución de la catequina, no se dispone todavía de una explicación categórica que pueda relacionar este descenso con el desarrollo de la dureza del grano. Con base en lo expuesto, y a la luz de lo que hoy día se sabe sobre este problema, podría suponerse un efecto adverso en la estructura de la testa, ya que ésta contiene la totalidad de los pigmentos. Dicho efecto inmediato se reflejaría en la capacidad de hidratación de la semilla, ya que la cáscara representa la primera barrera para la penetración del agua en la semilla; por lo tanto estaría influenciando el proceso



Incap 79-285

FIGURA 7

**Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el contenido de taninos en frijol negro**

de su suavización durante la etapa de remojo que es la primera fase del método de cocción. De acuerdo a los datos adicionales que se exponen en la Tabla 9, esta relación constituye una posibilidad, principalmente en el caso de las muestras de frijol almacenadas a una temperatura de 36°C, en las que se encontró una correlación significativa entre el contenido de catequina y la absorción de agua por parte de la semilla. Ese efecto en la estructura de la testa podría deberse a la polimerización de los fenoles por acción de la polifenol-oxidasa. En el estudio aquí notificado, sólo se midió el contenido de catequina, pero hay que recordar que otros polifeno-

TABLA 7

REGRESION MULTIPLE ENTRE TIEMPO DE COCCION, DUREZA, TANINOS, PPO\*, PROTEINA Y ABSORCION DE AGUA EN FRIJOL

Variable dependiente= Tiempo de cocción		Tiempo (Betas)		
Independiente	2	4	6	Total
Taninos	.04 (3)	-.16 (2)	-.64 (1)	-.16
PPO	.02 (4)	-.08 (3)	-.06 (4)	.12
Proteína	.28 (2)	.41 (1)	-.48 (2)	.07
Absorción de H <sub>2</sub> O	-.70 (1)	.02 (4)	-.14 (3)	-.20

\* Actividad de polifenol-oxidasa.

TABLA 8

REGRESION MULTIPLE ENTRE TIEMPO DE COCCION, TANINOS, PPO\*, PROTEINA, ABSORCION DE H<sub>2</sub>O Y DUREZA

Variable dependiente= Tiempo de cocción		Tiempo (Betas)		
Independiente	2	4	6	
Taninos	-0.55 (1)	-1.20 (1)	-0.90 (1)	
PPO	-0.11 (3)	-0.42 (2)	-0.07 (5)	
Proteína	0.047 (4)	-0.21 (4)	-0.14 (3)	
Absorción de H <sub>2</sub> O	-0.15 (2)	0.009 (5)	0.09 (4)	
Dureza	-0.02 (5)	-0.30 (3)	0.18 (2)	

\* Actividad de la polifenol-oxidasa.

les son también sustratos de esta enzima y, por lo tanto, susceptibles de oxidarse a quinonas y posteriormente polimerizarse formando otros pigmentos, de naturaleza similar a las melaninas. Otra posibilidad con respecto al papel de los polifenoles y el problema de endurecimiento del frijol atañe a la probable formación de complejos proteínicos con compuestos fenólicos (19). Los estudios a

TABLA 9

**CORRELACION ENTRE CATEQUINA Y CAPACIDAD DE  
HIDRATACION DE FRIJOLES SOMETIDOS A DIFERENTES  
CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO**

Variables	r	P
Catequina — Absorción H <sub>2</sub> O*	0.005	NS
Catequina — Absorción H <sub>2</sub> O**	0.71	< 0.05

\* Todas las muestras.

\*\* Muestras almacenadas a 36°C.

este respecto han mostrado un aumento de la fracción de proteína lignificada del cotiledón en granos del frijol negro almacenado a 25°C, mientras que en las muestras almacenadas a 40°C el valor de esta fracción demostró ser más bajo. Asimismo, se encontró una alta correlación ( $r = 0.91$ ) entre la fracción de proteína lignificada y la dureza de las muestras estudiadas. El valor de la proteína lignificada de la testa permaneció prácticamente más bajo en los granos almacenados a 40°C. En lo referente a estos resultados, es de interés mencionar que los análisis se efectuaron después de haber sometido el frijol a un proceso de remojo y cocción para medir la dureza del grano. De esta manera, la separación de la cáscara del cotiledón se realizó después del proceso de cocción. Esto permitió la migración de los pigmentos de la cáscara al cotiledón, ya que éstos son solubles en agua, hecho que los autores relacionaron con el color del cotiledón después de la cocción, encontrándose un color más oscuro en aquellos granos de textura más suave, lo que asociaron con una mayor penetración de los pigmentos debido al menor contenido de proteína lignificada. Sin embargo, a la luz de lo que hoy día se sabe, es posible que los polifenoles puedan estar relacionados con la dureza de la semilla y el tiempo de cocción mediante dos mecanismos: el de la polimerización activa, principalmente en la testa, y el de la proteína lignificada en el cotiledón, afectando ambos la capacidad de hidratación de la semilla, el primero, obstaculizando la penetración del agua y el segundo, limitando su capacidad inhibitoria. Conviene, pues, realizar estudios futuros con miras a identificar los fenoles presentes en la testa y medir su estabili-

dad durante el almacenamiento. Esta reducción en el contenido de polifenoles durante el almacenamiento podría también estar relacionada a la pérdida de sabor y de color que acusa el agua de cocción de muestras almacenadas inadecuadamente.

### *Papel de Otras Sustancias*

El proceso de endurecimiento del frijol durante el almacenamiento inadecuado ha sido también atribuido a mecanismos que involucran cambios físicos y químicos de otras sustancias, las cuales pueden incidir en la macro y micro estructura del cotiledón.

Dichos cambios están basados principalmente en los constituyentes del cotiledón, como lo son el almidón, la proteína, los lípidos y, desde el punto de vista estructural, la pared celular y la lámina media (Figura 8). La pared celular está formada sobre todo de celulosa, embebida en una matriz formada principalmente de hemicelulosa y sustancias pécticas. La lámina media, estructura

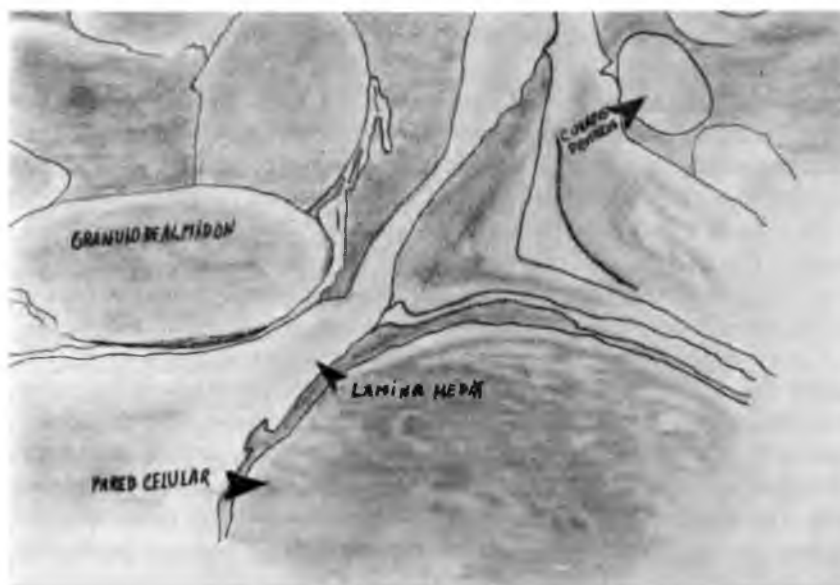


Figura 8

Microestructura del cotiledón

que mantiene las células individuales juntas, consiste en su mayor parte de sales de calcio de polímeros de ácido galacturónico que han sido parcialmente esterificados con metanol. Estudios llevados a cabo por diferentes investigadores (20, 21) han mostrado que en las primeras fases del proceso de cocción, la lámina media es el principal constituyente que se suaviza (ya que mantiene las células ligadas) y, posteriormente empieza la gelatinización de los gránulos del almidón, dependiendo del tiempo y la temperatura. El proceso de gelatinización extracelular del almidón del frijol (*Phaseolus lunatus*), y los cambios morfológicos que sufre el grano durante este proceso han sido estudiados (21) y observados microscópicamente. Dicho estudio se llevó a cabo usando agua pura y una solución salina, encontrándose diferentes rangos en la temperatura de gelatinización, de 71–79°C para el agua, y de 79–85°C para la solución salina. Asimismo, estudios sobre el proceso de gelatinización intracelular del almidón (22) en frijoles remojados en agua y en soluciones salinas, y sometidos al proceso de cocción, demostraron que, debido a las restricciones impuestas por las paredes celulares que permanecen intactas a las temperaturas de gelatinización, no se llevó a cabo la dilatación y proyección de los gránulos de almidón. A medida que el proceso de cocción continúa, la suavidad del grano aumenta sin que se observen mayores cambios en la microestructura de la semilla, hecho indicativo de que otros factores contribuyen a la suavización del grano durante el proceso de cocción. Entre éstos, se ha sugerido (23, 24) que durante la cocción el ablandamiento de la semilla se debe a la reacción de fitatos con pectatos insolubles de Ca y Mg que contienen las paredes celulares, transformándolos en pectatos solubles de Na y K. Es probable que el papel del ácido fítico y de los fitatos sobre la textura de las semillas se deba a que éstos representan la principal forma de P en los granos, y que del 60 al 90% del fósforo está presente en forma de ácido fítico (25). Además de la posible reacción entre fitatos y pectatos mencionada, otras posibles implicaciones en la textura estarían relacionadas con la presencia de complejos proteína-fitato encontrados en el frijol común (25, 26). Asimismo, otras investigaciones (23) efectuadas con diferentes variedades de arvejas secas, han indicado relación entre la calidad de cocción y su contenido de ácido fítico y calcio. Sin embargo, otros investigadores (27) han indicado que en el caso del ácido fítico, dicha correlación solo es válida cuando el ácido en cuestión está presente en bajas cantidades. Estudios llevados a cabo en muestras de frijol de costa (*Vigna unguiculata*) almacenadas en

condiciones inadecuadas (28) han confirmado el papel de la lámina media en la textura del frijol durante la cocción, mostrando un rompimiento incompleto de la lámina media en las muestras que acusaban el problema de endurecimiento. Estos cambios estructurales han sido informados por otros autores (21, 29). Con respecto a la posible contribución del almidón a la textura del grano, recientemente se ha sugerido (30-32) que, en el caso de algunos alimentos, la solubilización y difusión del almidón de las células durante el proceso de cocción, puede aumentar la adhesión intercelular. Esta adhesión sería la resultante de la liberación de la amilosa a través de las paredes celulares, promoviendo así la unión de las células mediante enlaces de hidrógeno con polisacáridos de la pared celular. Así, dicho mecanismo dependería de las propiedades fisicoquímicas, tales como la solubilidad y el poder de hinchamiento del almidón. Esta característica ha sido notificada recientemente (33), lo que indica que el almidón del frijol común está constituido de un alto contenido de amilosa (38%), un rango de temperatura de gelatinización alto (63.8 – 76°C) y un patrón relativamente bajo de hinchamiento (11 unidades a 95°C) y de solubilidad (18% a 95°C). Aparentemente, estas características estructurales del almidón en referencia, sugieren un papel limitado del proceso de gelatinización e hinchamiento durante el proceso de cocción del frijol común (33). Otros investigadores han querido implicar cierta asociación entre el desarrollo de la dureza en el frijol y el proceso de retrogradación del almidón (34), a semejanza de resultados similares obtenidos con el almidón en el caso del almacenamiento del arroz. Resultados recientes sobre la digestibilidad del almidón en muestras almacenadas por seis meses bajo diferentes condiciones, sin embargo, no mostraron ninguna correlación con el desarrollo de la dureza del frijol (5). Con respecto a otros polisacáridos, algunos investigadores (35) han encontrado una relación entre ciertas fracciones de las sustancias pécticas y la capacidad de absorción de agua del frijol común. No obstante, en otros estudios (19) no se ha podido corroborar esta relación.

Finalmente, se ha tratado de correlacionar la composición de los lípidos con el tiempo de cocción del frijol común (36) sin que se haya podido demostrar significancia en esta correlación. El razonamiento que respalda esta posibilidad radica en el hecho de que aun cuando la mayoría de las leguminosas acusen un bajo contenido de lípidos totales, en la composición de éstos predominan los ácidos grasos no saturados y, en consecuencia, existe una mayor posibilidad de oxidación. De hecho, los frijoles endurecidos du-

rante el almacenaje, a menudo resultan también en su deterioro en sabor, a causa del proceso hidrolítico y oxidativo que actúa sobre estos ácidos grasos. Se ha indicado así, que a este proceso de oxidación puede seguir un proceso de polimerización, afectando en esta forma la permeabilidad del cotiledón a la penetración del agua.

### CONCLUSIONES

A pesar de la diversidad de hipótesis revisadas en este trabajo, y de otras evidencias acumuladas en otros estudios de almacenamiento y prevención del proceso de endurecimiento, queda claro el hecho de que los mecanismos de este proceso son varios y que cada uno puede afectar en mayor o menor grado dicho fenómeno (Tabla 10). También ratifica la observación de que el proceso de

TABLA 10

POSIBLES MECANISMOS QUE CONTRIBUYEN A LA DUREZA  
DEL FRIJOL DURANTE EL ALMACENAMIENTO

- 
1. Complejos *proteínicos* con compuestos fenólicos
  - 1.1. Complejos *proteínicos* con el ácido fítico
  2. Cambios en las sustancias *pécticas*
  - 2.1 Estabilidad de la lámina media
  - 2.2 Retrogradación del *almidón*
  - 2.3 Gelatinización del *almidón*
  3. Oxidación y polimerización de los lípidos
  4. Reacción de fitatos con pectatos insolubles de Ca y Mg, para producir pectatos solubles de Ca y Mg
- 

endurecimiento durante el almacenaje difiere en ciertos aspectos del de la semilla recién cosechada. Los estudios realizados a este respecto sugieren también fuertemente que el principal mecanismo de acción es de naturaleza enzimática. Esto lo evidencian las con-

diciones que favorecen al desarrollo de la dureza durante el almacenamiento, como la eficiencia de los tratamientos aplicados para evitar este proceso.

Los mecanismos dados a conocer y discutidos en esta revisión, indican que en ellos están involucrados factores de orden físico, químico y estructural. A pesar de la complejidad de estos factores también es posible concluir que los cambios de orden físico, químico o bioquímico inciden principalmente sobre la estructura de las partes anatómicas del grano (testa y cotiledón), afectando así la respuesta de la semilla al proceso de remojo (agua) y cocción (agua + calor).

Es necesario también definir y establecer una metodología adecuada para los parámetros involucrados en la explicación del fenómeno del endurecimiento, con la finalidad de eliminar discrepancias entre los resultados obtenidos hasta la fecha.

Por último, consideramos que la agronomía puede contribuir grandemente en solucionar el problema, a través de la selección e implementación de cultivares de frijol con menores tendencias al desarrollo del proceso de dureza durante el almacenamiento.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Elías, L. G., R. Bressani & M. Flores. Problems and potentials in storage and processing of food legumes in Latin America. En: **Potentials of Field Beans and Other Food Legumes in Latin America**, Cali, Colombia, February 26-March 1, 1973. D. Wall (Ed.): Cali, Colombia, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 1973, p. 52-87 (Series Seminars No. 2E).
2. Burr, H. K., S. Don & H. J. Morris. Cooking rates of dry beans as influenced by moisture content and temperature and time of storage. **Food Technol.**, **22**: 336-338, 1968.
3. Morris, H. J. & E. R. Wood. Influence of moisture content on keeping quality of dry beans. **Food Technol.**, **10**: 225-229, 1956.
4. Ruiloba, Elizabeth de. **Efecto de Diferentes Condiciones de Almacenamiento sobre las Características Físico-Químicas y Nutricionales del Frijol (*Phaseolus vulgaris*)**. Tesis (*Magister Scientifical* en Ciencias de Alimentos y Nutrición Animal). Centro de Estudios Superiores en Nutrición y Ciencias de Alimentos (CESNA), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia/INCAP. Guatemala, C. A., noviembre de 1973, 90 p.
5. Mejía, E. de, L. G. Elías & R. Bressani. Estudio sobre el problema del

- endurecimiento del frijol por almacenamiento prolongado. En: **Memorias de la XXV Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (PCCMCA)**. Tegucigalpa, Honduras, 19-23 de marzo de 1979. Vol. 3. L 34/1-L34/19.
6. Goyer, W. O. Hardshell of beans, its production and prevention under storage conditions. **Proc. Am. Assoc. Official Seed Analysts**, **20**: 52-55, 1928.
  7. Bourne, M. C. Size, density and hardshell in dry beans. **Food Technol.**, **21**: 335-338, 1967.
  8. Sefa-Dedeh, S. & D. W. Stanley. The relationship of microstructure of cowpeas to water and dehulling properties. **Cereal Chem.**, **56**: 379-385, 1979.
  9. Bustamante, J. A. **Evaluación de Factores Físicos y Bioquímicos en 20 Variedades de Phaseolus vulgaris**. Tesis (Químico-Biólogo), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Guatemala, C. A., agosto de 1980, 95 p.
  10. Linares, Sonia B., Concepción M. de Bosque, Luiz G. Elías & Ricardo Bressani. Características tecnológicas y nutricionales de 20 cultivos de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). I. Características físicas del grano. **Turrialba**, **31**: 1-10, 1981.
  11. Gómez-Brenes, R., L. G. Elías, D. Navarrete & R. Bressani. Características físicas, químicas y culinarias de 20 cultivos de frijol del Banco de Germoplasma del CIAT. En: **Informe Anual del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, 1o. de enero-31 de diciembre de 1977**. Guatemala, INCAP, 1978, p. 9-10.
  12. Elías, L. G. & R. Bressani. Evaluación de estándares tecnológicos de 34 variedades de *Phaseolus vulgaris*. Presentado en: **XXVI Reunión Anual del Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos Alimenticios (PCCMCA)**. Guatemala, 24-28 de marzo de 1980.
  13. Elías, L. G., Dolores González de Fernández & R. Bressani. Possible effects of seed coat polyphenolics on the nutritional quality of bean protein. **J. Food Sci.**, **44**: 524-527, 1979.
  14. Bressani, R. & L. G. Elías. The nutritional role of polyphenols in beans. En: **Polyphenols in Cereals and Legumes**. J. H. Hulse (Ed.). Ottawa, Canada, International Development Research Centre, 1980, p. 61-72. (IDRC-145e).
  15. Griffiths, D. W. & G. Moseley. The effect of diets containing field beans of high or low polyphenolic content on the activity of digestive enzymes in the intestine of rats. **J. Sci. Food Agr.**, **31**: 255-259, 1980.
  16. Fernández, R., L. G. Elías, J. E. Braham & R. Bressani. Diferenciación entre inhibición enzimática causada por inhibidores de tripsina y por

- polifenoles en extractos de *Phaseolus vulgaris*. En: **Informe Anual del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), 1o. de enero—31 de diciembre de 1978**. Guatemala, INCAP, 1978, p. 9.
17. Bressani, R., L. G. Elías & J. E. Braham. Reduction of digestibility of legume proteins by tannins. Presented at: **Workshop on "Physiological Effects of Legumes in the Human Diet"**, held August 18, 1981 in San Diego, California, during the XII International Congress of Nutrition. Sponsored by the Queen Elizabeth College, University of London. London, 1981.
  18. Elías, L. G., A. García & R. Bressani. Características tecnológicas y nutricionales de cultivares criollos de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) provenientes de 8 regiones de Guatemala productoras de frijol. En: **Informe Anual del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), 1o. de enero—31 de diciembre de 1980**. Guatemala, INCAP, 1981, p. 5-8.
  19. Molina, M. R., M. A. Baten, R. Gómez B., K. W. King & R. Bressani. Heat treatment: a process to control the development of the hard to cook phenomenon in black beans (*Phaseolus vulgaris*). **J. Food Sci.**, **41**: 661-666, 1976.
  20. Sefa-Dedeh, S. & D. W. Stanley. Textural implications of the microstructure of legumes. **Food Technol.**, **33**: 77-83, 1979.
  21. Rockland, L. G. & T. Jones. Scanning electron microscope studies on dry beans. Effects of cooking on the cellular structures of cotyledons in dehydrated large lima beans. **J. Food Sci.**, **39**: 342-346, 1974.
  22. Hahn, D. M., F. T. Jones, I. Akhavan & L. B. Rockland. Light and scanning electron microscope studies on dry beans: Intercellular gelatinization of starch in cotyledons of large lima beans (*Phaseolus vulgaris*). **J. Food Sci.**, **42**: 1208-1212, 1977.
  23. Mattson, S. The cook ability of yellow peas. **Acta Agricult. Suecana**, **II (2)**: 185, 1946.
  24. Muller, F. Cooking quality of pulses. **J. Sci. Food Agr.**, **18**: 292, 1967.
  25. Lolas, G. M. & P. Markakis. Phytic acid and other phosphorus compounds of beans (*Phaseolus vulgaris*). **J. Agr. Food Chem.**, **23**: 13-15, 1975.
  26. Bourdillon, J. A crystalline bean seed protein in combination with phytic acid. **J. Biol. Chem.**, **189**: 65, 1951.
  27. Smithies, R. H. Effect of chemical constitution on texture of peas. En: **Proceedings of the Society of Chemistry and Industries**. London, The Society, 1960, p. 119 (Monograph 7).
  28. Sefa-Dedeh, S., D. W. Stanley & P. W. Voisey. Effect of storage time and cooking conditions on the hard to cook defect in cowpeas (*Vigna*

- unguiculata*). **J. Food Sci.**, **44**: 790-796, 1979.
29. Sefa-Dedeh, S., D. W. Stanley, & P.W. Voisey. Effects of soaking time and cooking conditions on texture and microstructure of cowpeas (*Vigna unguiculata*). **J. Food Sci.**, **43**: 1832-1838, 1978.
  30. Hughes, J.C., A. Grant & R. M. Faulks. Texture of cooked potatoes: The effect of ions and pH on the compressive strength of cooked potatoes. **J. Sci. Food Agr.**, **26**: 739, 1975.
  31. Linehan, D. J. & J. C. Hughes. Texture of cooked potato. 3. Inter-cellular adhesion of chemically treated tuber sections. **J. Sci. Food Agr.**, **20**: 119, 1969.
  32. Bretzloff, C. W. Some aspects of cooked potato texture and appearance: I. Translucency. **Amer. Potato J.**, **45**: 17, 1968.
  33. Lai, C. C. & E. Varriano-Marston. Studies on the characteristics of black bean starch. **J. Food Sci.**, **44**: 528-530, 1979.
  34. Hellendoorn, E. W. Beneficial physiological activity of leguminous seeds. **Qual. Plant. Pl. F ds hum. Nutr.** **XXIX**, 1-2: 227-244, 1979.
  35. Hamad, N. & J. J. Powers. Inhibition and pectic content of canned dry lima beans. **Food Technol.**, **19**: 648-651, 1965.
  36. Takayama, K. K., Paul Muneta & A. C. Wiese. Lipid composition of dry beans and its correlation with cooking time. **J. Agr. Food Chem.**, **3**: 269-271, 1965.