

**ESTUDIOS REALIZADOS POR EL CENTRO  
INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT)  
SOBRE EL PROBLEMA DEL ENDURECIMIENTO  
DEL FRIJOL**

*Robert A. Luse<sup>1</sup>*

**Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT),  
Cali, Colombia**

**INTRODUCCION**

El propósito del Laboratorio de Calidad y Nutrición Alimenticia, que se inició en el CIAT a principios de 1979, es evaluar los factores importantes de valores nutricionales y de aceptabilidad del consumidor, en las áreas de cultivos alimenticios de frijol y yuca, en los cuales el Centro realiza investigaciones. Esto último concuerda con el objetivo del CIAT que textualmente lee: "En generar... tecnología mejorada que contribuirá a incrementar la producción, productividad y calidad de los alimentos básicos y específicos de los trópicos, principalmente en países de Latino América y el Caribe..." Ciertamente, el problema de la testa dura en el frijol (*Phaseolus vulgaris*), es un factor básico que afecta el valor nutricional y la aceptabilidad del consumidor, de este importante grano. Por esta razón, en el Laboratorio en cuestión se ha venido estudiando desde hace 15 meses, los siguientes aspectos de dicho problema: el desarrollo de la testa dura durante el almacenaje, su

---

1 Bioquímico del Laboratorio de Calidad y Nutrición Alimenticia del CIAT, Apartado Aéreo 6713, Cali, República de Colombia.

interrelación con la absorción de agua, su relación con un tratamiento de semilla con aceites comestibles, y (todavía en proceso), su naturaleza fisicoquímica.

Cabe notar que estos estudios se han basado en ensayos estándar bien caracterizados, para varios factores (véase más adelante), así como en el uso de líneas de frijol genéticamente puras, desarrolladas por el Programa de Mejoramiento de Frijol del CIAT, en actividades de multiplicación. Utilizando líneas avanzadas, así como variedades tradicionales para propósitos de comparación, los hallazgos de que aquí se da cuenta tienen la orientación de uno de los mejores germoplasmas de frijol ahora disponibles para uso en los programas nacionales de Latino América.

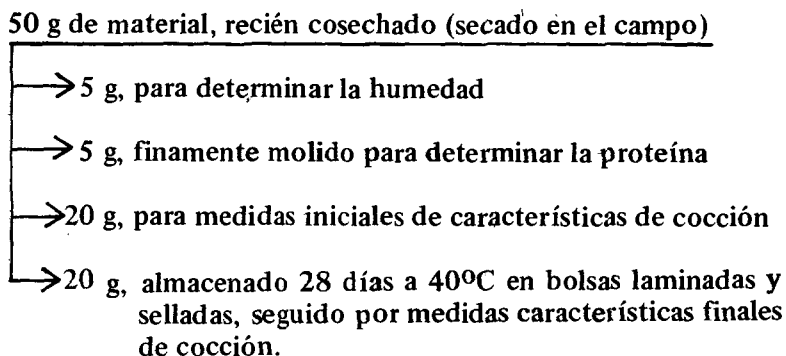
En el CIAT se utilizan los siguientes factores para describir el valor nutricional y la aceptabilidad del consumidor<sup>2</sup>:

1. Contenido de proteína – Determinado químicamente.
2. Absorción de agua – Basada en un período de remojo de cuatro horas previo a su cocción. Nótese que la solución usada (10/o de cloruro de sodio y 10/o de bicarbonato de sodio) tiene poco efecto en la asimilación del agua como tal, pero sí reduce tiempos subsecuentes de cocción casi a la mitad.
3. Tiempo de cocción – Determinado por un simple ensayo desarrollado en el CIAT, que sólo requiere una hornilla y vasos de precipitar. Los estimados de sabor y textura también se derivan de los ensayos de gustación realizados cada cinco minutos, durante el proceso de cocción.
4. Espesor del caldo – Basado en el contenido sólido de la cocción del caldo.
5. Sabor y textura – Como se determinó en ensayos de cocción, pero expandido para materiales de interés especial, a fin de incluir la aceptabilidad del consumidor, por análisis sensorial de platos preparados a base de frijol usando recetas estándar.
6. Tendencia para desarrollar testa dura – Basado en diferencias halladas durante el almacehamiento a 40°C, temperatura que, según se ha encontrado, acelera el desarrollo de la testa dura (HSC) aproximadamente nueve veces (ejemplo: se ha encontrado que resultados de almacenajes de 28 días a 40°C, predicen resultados de 250 días de almacenamiento a 25°C).

---

2 Mayores detalles al respecto pueden consultarse en el Informe Anual del CIAT para el año 1979, Programa de Frijol, p. 36-40.

Se han combinado varios ensayos en un procedimiento rutinario, en el cual un sólo técnico puede evaluar más de 1,000 muestras de material genético de frijol en un año,<sup>3</sup> como sigue:



(Los ensayos subsecuentes en páneces de gustación requieren más material).

Al principio de estos estudios de testa dura, fue esencial determinar el efecto de las condiciones de almacenamiento en la testa dura, así como la variación genéticamente pura, a fin de obtener una respuesta al almacenamiento. Se tuvo cuidado especial en obtener material genético de semillas recién cosechadas, ya que en esta forma se puede evitar la variabilidad debida a corto tiempo de almacenamiento bajo condiciones no controladas. Se sometió a ensayo un grupo de 30 líneas recién cosechadas (toda clase de color) para determinar los factores de calidad, dentro del término de siete días después de la cosecha, y también después de un almacenamiento de 8 meses a 25°C. Se ensayó además un segundo grupo de 50 líneas, dentro del mismo lapso de siete días después de la cosecha y después de cada siete días (hasta 49 días), mientras se almacenaba a 40°C. Se encontró que para casi todas las líneas (42 de 45 estudiadas), el tiempo de cocción para el material recién cosechado fue de 30 minutos.

Después de ocho meses de almacenamiento, en bolsas laminadas y selladas, para mantener la humedad constante de las semillas a un nivel inicial de 12%, éstas dieron un tiempo de cocción del

3 Véase Informe Anual del CIAT para el año 1980, Programa de Frijol. En prensa.

rango de 30 a 70 minutos. La validez de un ensayo de almacenamiento "acelerado" quedó demostrada en estos estudios, ensayo en el que una línea que desarrolló un tiempo de cocción de 115 minutos durante un almacenamiento de 49 días a 40°C, acusó un tiempo de cocción de 100 minutos después de almacenada durante un período de 8 meses a 25°C (Figura 1). Por el contrario, después de un almacenamiento acelerado, el tiempo de cocción de las líneas se incrementó a 70 minutos; luego de un almacenaje "normal" de ocho meses, las líneas alcanzaron un tiempo de cocción de 60 minutos. Para un grupo intermedio cuyo tiempo de cocción había sido de 90 a 100 minutos después de un almacenamiento acelerado, se encontró que éste era de 70 minutos después de un tiempo de ocho meses de almacenamiento normal. El tiempo de

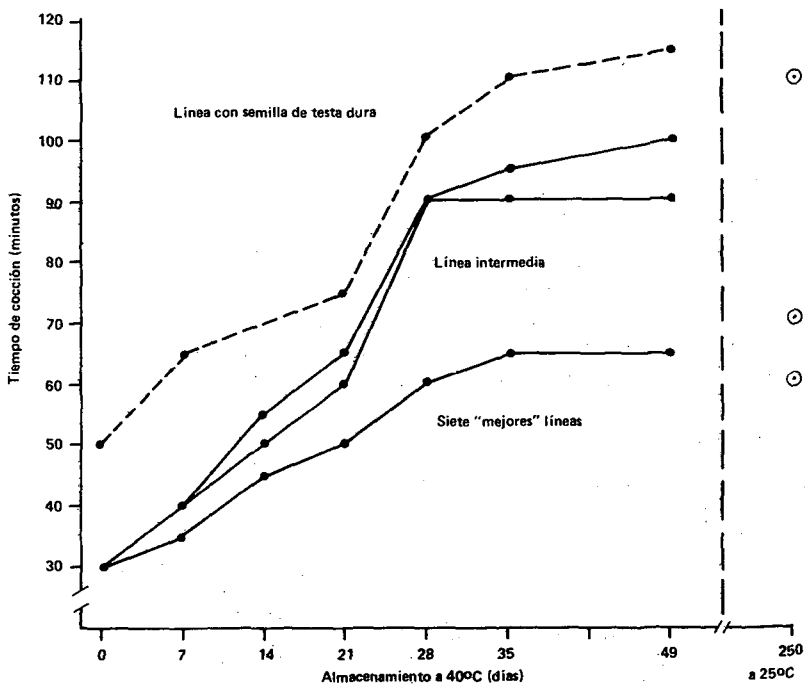


FIGURA 1

Almacenamiento acelerado vs normal. Efectos del tiempo de cocción

cocción determinado después de 28 días de almacenamiento acelerado, acusó un excelente valor predictivo en cuanto a tiempos de cocción para períodos largos de almacenamiento.

Los efectos en tiempo de almacenamiento y temperatura de almacenaje, fueron estudiados en un grupo de 50 líneas EP 1980, mantenidas a una temperatura de 12°C y 30°C por dos y cuatro meses, respectivamente. Durante este período las semillas almacenadas a la temperatura más baja (a una humedad constante de 12%), mostraron sólo un pequeño aumento en el tiempo de cocción, aún después de cuatro meses de almacenamiento (Tabla 1). Las semillas almacenadas a una temperatura más alta (y 12% de humedad) mostraron un incremento de tiempo de cocción de casi

TABLA 1  
TIEMPOS PROMEDIO DE COCCION PARA FRIJOLES

Grupo, color	n	Tiempo de cocción, en minutos, como promedio (EE)			
		Después de 2 meses		Después de 4 meses	
		12°C	30°C	12°C	30°C
Todas las clases	50	34.3 (4.9)	54.3 (8.5)	35.4 (6.9)	51.7 (17.9)
	Rango	30-50	45-75	30-70	50-120
Negro	12	34.2 (3.6)	51.7 (5.4)	34.2 (4.7)	87.9 (19.9)
Rojo	12	40.0 (4.8)	51.7 (10.7)	39.2 (10.8)	59.2 (13.1)
Crema	10	31.5 (2.4)	49.0 (5.7)	35.5 (5.0)	86.5 (20.3)

EE = Error estándar.

el doble para dos veces y tres veces su valor para cuatro meses de almacenaje. Este incremento del tiempo de cocción, sin embargo, no afectó significativamente el espesor del caldo ni las funciones del tiempo de almacenamiento o de la temperatura. Los cambios

en sabor y textura después de la cocción fueron evaluados en estos frijoles por un panel de análisis sensorial compuesto de ocho miembros. El tiempo de cocción no guardó una relación cercana con el sabor, predominando las diferencias entre variedades (Tabla 2). La acción recíproca del sabor y la textura, más el factor de cocción, reducen la correlación positiva que es de esperar, entre el tiempo de cocción y la presencia de testa dura. La correlación entre el sabor y la presencia de testa dura fue fuertemente negativa ( $r = -0.611$ ) para aquellos materiales genéticos en que la deterioración fue notoria.

TABLA 2

CORRELACION ENTRE EL SABOR, LA CASCARA DE LA SEMILLA DURA Y EL TIEMPO DE COCCION\*

Tiempo de cocción vs evaluación de sabor: (semillas almacenadas a 30°C)	r =	-0.056
Tiempo de cocción vs textura (HSC): (semillas almacenadas a 30°C)	r =	0.107
Evaluación de sabor vs textura (HSC)		
— semillas almacenadas a 12°C:	r =	-0.611
— semillas almacenadas a 30°C:	r =	-0.396

\* Medido en 50 líneas EP (toda clase de color). Los tiempos fueron determinados mediante un ensayo estándar, después de cuatro horas de remojo en una solución salina. El sabor fue evaluado con tres puntos en la escala (bueno-regular-malo), y la textura, en base a blando o testa de semilla dura. En la práctica, la dureza de la semilla en la testa no pudo ser distinguida de la dureza del cotiledón.

El CIAT ha encontrado que estos diversos factores que describen la calidad del frijol no están relacionados esencialmente, con excepción de la absorción de agua durante el período inicial de remojo y el tiempo de cocción subsecuente (Tabla 3). Para un grupo de 30 líneas EP 1980, almacenadas durante ocho meses a 25°C, el coeficiente de correlación fue de  $-0.564$  para estos dos factores. En otro grupo de 18 líneas avanzadas y seleccionadas a finales de 1980, la correlación entre la absorción de agua y el tiempo de cocción, fue inicialmente más alta ( $r = -0.679$ ) en un material cose-

TABLA 3  
CORRELACIONES ENTRE VARIOS FACTORES DE CALIDAD  
DEL FRIJOL\*

		r
Contenido de proteína	vs absorción de agua	0.095
Contenido de proteína	vs tiempo de cocción	0.0216
Contenido de proteína	vs porcentaje de caldo	-0.109
Tiempo de cocción	vs porcentaje de caldo	-0.240
Tiempo de cocción	vs absorción de agua	-0.564

\* Medido en líneas EP 1980 almacenadas ocho meses a 25°C después de la cosecha. La correlación en el material genético recién cosechado fue similar. Los valores de  $r$  basados en transformaciones logarítmicas no difirieron significativamente en los valores dados; por ejemplo, las variantes son homogéneas.

chado recientemente, bajando gradualmente a  $r = -0.547$  después de ocho semanas de almacenaje a 40°C (Tabla 4). Tan alta correlación entre estas dos medidas sirve para enfatizar el hecho de que, tanto la absorción de agua como la cocción, se basan en el componente de almidón y el cotiledón del frijol, y que el aumento de tamaño y las propiedades de gelación de este almidón definen la absorción de agua y la cocción para el frijol entero.

El efecto de la testa dura —que no es un fenómeno relacionado con el almidón— en la absorción de agua del frijol durante el período de remojo inicial de cuatro horas, es considerable: se comprobó una reducción de 40% en la absorción en una de las líneas estudiadas (Figura 2). En otro grupo de material genético almacenado durante ocho meses, la absorción de agua promedio, por semilla de testa dura (HSC), fue de  $59.2 \pm 22.8\%$ ; en cambio, para los frijoles de testa dura, ésta fue de  $21.2 \pm 14.2\%$  (ni la proteína ni la cosecha de la semilla fueron significativamente diferentes en estos dos grupos de materiales). Ahora, esa misma reducción en la absorción de agua se considera como la medida más sensitiva de la testa dura, ya que esta característica se ve un tanto diluida durante el ensayo de cocción, y no puede ser determinada con precisión en la boca (comparéanse los datos de la Tabla 2).

**TABLA 4**  
**EFFECTOS DEL TRATAMIENTO CON ACEITE DE SOYA**  
**EN LA ABSORCIÓN DE AGUA Y CARACTERISTICAS**  
**DE COCCION DE LOS FRIJOLES**

Tiempo de almacenaje a 40°C, días	Factor	Sin tratamiento con aceite de soya	Con tratamiento con aceite de soya	Relación <u>sin aceite</u> con aceite
0	Absorción	63.5% (21.7)	—	—
	Cocción	45.0 min (17.4)	—	—
	Coefficiente de correlación	—0.679		
14	Absorción	52.2% (23.3)	65.9% (14.9)	0.79
	Cocción	74.5 min (21.0)	63.8 min (9.6)	1.17
	Coefficiente de correlación	—0.645	—0.294	—
28	Absorción	54.0% (23.4)	67.2% (17.4)	0.80
	Cocción	91.2 min	91.2 min	1.00
	Coefficiente de correlación	—0.621	—0.498	—
56	Absorción	49.3% (24.1)	65.9% (18.2)	0.75
	Cocción	96.0 min (19.5)	98.2 min (15.6)	0.98
	Coefficiente de correlación	—0.547	—0.477	—

En los momentos actuales, se estima que los cambios en el tiempo de cocción y absorción de agua que ocurren en la semilla del frijol durante su almacenamiento, pueden resumirse como sigue:

*Etapa I* (Semilla fresca) — El tiempo de cocción es casi el mismo para casi todas las variedades, y es independiente de la absorción de agua.

*Etapa II* (Intermedia) – El tiempo de cocción aumenta y se correlaciona con la absorción de agua.

*Etapa III* (Semillas con testa dura) – El tiempo de cocción llega al máximo y ya no tiene correlación con la absorción de agua.

El análisis estadístico de los datos de absorción de agua y tiempo de cocción de frijoles almacenados, rinde los siguientes resultados que sustentan este esquema:

Etapa de almacenaje	Absorción de agua promedio 4 hr, O/o	Tiempo de cocción promedio, min	Correlación entre absorción y cocción
I	79.0 (6.6)	31.5 (2.4)	r = -0.122
II	70.5 (12.3)	58.6 (8.9)	-0.324
	66.8 (15.9)	77.9 (14.8)	-0.657
III	21.2 (15.4)	69.0 (3.2) (hasta 150)	0.242

Debe anotarse aquí que la selección, por parte de los mejoradores en el Programa de Frijol ha sido en contra de las líneas con testa dura: de 43 líneas sometidas a ensayo y encontradas sin testa dura, 10 fueron seleccionadas para el International Bean Yield and Adaptation Nursery (IBYAN) en 1980; de 15 líneas que se encontró desarrollan testa dura, sólo dos fueron seleccionadas para IBYAN. Esto representa frecuencias de 23% y 13% de una selección dentro de dos clases, aunque la característica de testa dura probablemente no se reconoció como distinta de otros caracteres de la semilla.

El tratamiento de la semilla de frijol con aceites comestibles tales como de maíz o de soya, han demostrado gran efectividad contra las infestaciones por gorgojo durante el almacenamiento (A.V. Schoonhoven, *J. Econ. Entomol.*, 71(2): 254-256, 1978).<sup>4</sup> Se ha encontrado que este tratamiento con aceite tiene una notoria influencia en la absorción de agua durante el remojo. Por ejemplo, en un experimento, la semilla fue tratada con aceite de maíz o en soya retenida para aumentar su habilidad inicial de ab-

<sup>4</sup> Un trabajo similar con caupí fue notificado por S.R. Singh, R.A. Luse, K. Leuchner y D. Nangju. *J. Stored Products Res.*, 14, 77-80, 1978.

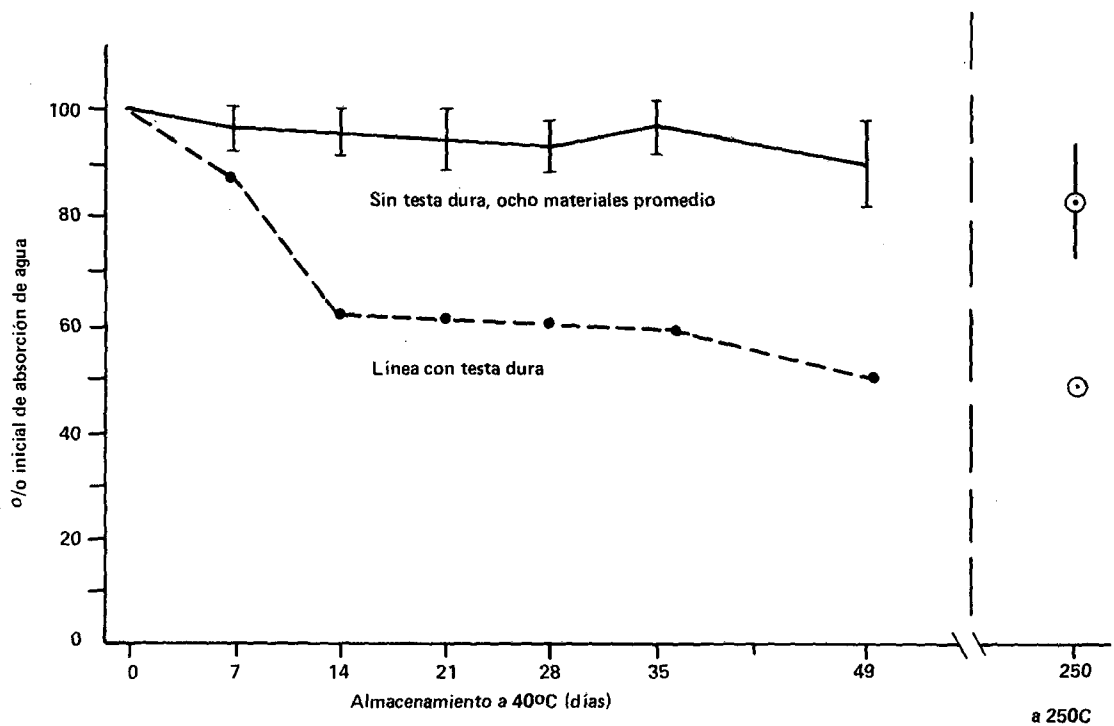


FIGURA 2

Absorción de agua por la semilla del frijol como función de almacenamiento y semilla de testa dura (HSC)

sorber agua en un período de almacenaje de 45 días a 40°C. Las semillas no tratadas con aceite perdieron 20% de la capacidad de absorción (Tabla 4). En este sentido el tratamiento con aceite redujo el desarrollo de la testa dura, pero, como éstos y otros datos muestran claramente, el tratamiento con aceite no reduce el tiempo de cocción y probablemente no tenga ningún efecto en las semillas de testa dura.

Las investigaciones sobre la naturaleza fisicoquímica de desarrollo de testa dura, empezaron hace apenas unos meses en el Laboratorio de Calidad y Nutrición Alimenticia del Centro. Estos estudios son procedimientos que se basan en las siguientes suposiciones:

1. La testa dura actúa como una barrera para reducir la absorción de agua, por parte del almidón, en el cotiledón de la semilla.
2. Las biopolímeras naturales —pectina (ácido poligalacturónico) y fitina (hexafosfato de inositol)— pueden desempeñar un mejor rol en el desarrollo de testa dura.

Se ha establecido claramente que el carácter de la semilla dura reduce grandemente la absorción de agua durante el remojo. La variedad Calima puede absorber menos de 10% de su peso fresco, mientras que los frijoles “normales” son capaces de absorber de 80 a 90% durante un período de remojo de cuatro horas. No obstante, después de 24 horas de remojo a 25°C, los frijoles con testa dura tienden a absorber la misma cantidad de agua que los frijoles que no tienen testa dura, alcanzando así un nivel de equilibrio de cerca de 110 a 120% de su peso inicial fresco. “El factor de testa dura” debe entonces ser filtrado gradualmente o metabolizado. Ciertamente, se notó que durante un período de remojo de cinco días el frijol Calima perdió las características de testa dura y su tiempo de cocción cambió de 115 minutos antes del remojo, a sólo 25 minutos. (Estas semillas fueron sometidas a remojo bajo condiciones frescas y estériles, por lo que estos cambios no se debieron a desarrollo microbial ni a una germinación de la semilla). De esta manera, el “factor de testa dura” debe concentrarse en cambios causados por su tratamiento durante las primeras cuatro a seis horas de remojo.

Para determinar la factibilidad de modificar la “barrera física” produciendo micro-rupturas en la testa de la semilla, se usaron varios niveles de micro-onda en frijoles de testa dura, sometiéndolos a remojo previo durante sólo 10 minutos. Luego, los cambios

en la subsecuente absorción de agua fueron medidos y, como se esperaba, una pequeña dosis de micro-onda aumentó considerablemente la absorción de agua; con un tratamiento de 5 min a 150 vatios, la absorción aumentó 5 veces por encima del control durante la primera hora de remojo (Tabla 5). Es de tener presente que el efecto no se debió a "cocción por micro-onda", ya que la temperatura aumentó sólo a 49-53°C y sólo por dos a tres minutos antes que los frijoles volvieran a su condición de 25°C. Subsecuentes tiempos de cocción determinados en materiales remojados durante 24 horas, dieron los mismos resultados tratados sin micro-onda.

TABLA 5

EFFECTOS DE UN TRATAMIENTO POR MICRO-ONDA EN LA  
ABSORCION DE AGUA, EN FRIJOLES DE TESTA DURA\*

Dosis de micro-onda (min x vatios)	o/o de absorción de semillas después de hr:			
	1	2	4	6
0	5.3	11.9	83.2	63.5
5 x 50	7.1	13.2	26.0	65.7
5 x 100	13.6	28.9	55.8	84.1
5 x 150	28.0	43.5	76.4	96.9

\* 10 g de frijol Calima se sometieron a remojo durante 10 minutos, en 100 ml de agua; luego fueron tratados con micro-ondas usando un aparato Lab-Line "Labsonic", punta 8mm. El agua se decantó y fue reemplazada por medio de remojo (en nuestro Laboratorio se usa agua destilada).

La influencia del pH del medio de remojo sobre la absorción de agua en los frijoles de testa dura también se midió en un rango de seis hasta 10, valores de pH obtenidos con una solución buffer 0.05M "Tris". La absorción de agua se incrementó casi la mitad, a un pH efectivo de 9.7, con relación a los valores de absorción, a un pH de 6.1 - 7.1. La absorción de agua fue casi la misma al sustituir el ion K por el ion Na en el medio de remojo (buffer más 10% de NaCl o de KCl). Este resultado implica que el "factor de testa dura" es de carácter ácido, y explica la eficacia del medio de NaCl-

$\text{NaHCO}_3$ , usado en los ensayos estándar de cocción.

Otra observación hecha durante esta serie de experimentos fue que el medio de remojo se tornó más ácido con el tiempo de remojo, lo que implica liberación de sustancias ácidas. Estas pueden ser ácido poligalacturónico o hexafosfato de inositol, ya que ambos producen soluciones un tanto ácidas cuando se disuelven en agua.

La segunda hipótesis fue ensayada usando los reactivos más específicos posible, o sea las enzimas que hidrolizan la pectina y la fitina-pectinasa y fitinasa, respectivamente. Si estas enzimas actúan en los frijoles con testa dura ello induce una absorción mayor durante un lapso de cuatro a seis horas de remojo, pudiendo establecerse firmemente la relación de causa a efecto. Para este fin, los frijoles Calima (10 g) fueron remojados en 100 ml de una solución buffer 0.05M "Tris" que contenía 1% NaCl y la enzima a ser estudiada. Los controles se remojaron en una solución buffer salina, sin enzima, bajo condiciones idénticas. Los resultados preliminares obtenidos con esta variedad de frijol (Tabla 6), indican que dichas enzimas sí favorecen la tasa inicial de absorción de agua, posiblemente en un 40 y 70% de pectinasa y fitinasa, respectivamente. Estos hallazgos deben repetirse bajo condiciones más comparables y utilizando otras variedades de frijol. También deben llevarse a cabo más estudios con relación a los frijoles tratados con micro-ondas, a fin de incrementar la habilidad de las enzimas para penetrar la testa de la semilla. Los estudios preliminares al respecto, indican un incremento de más o menos 50% en el efecto de la pectinasa, y un incremento de 30% en el efecto de la fitinasa, cuando actúa en los frijoles tratados con micro-onda. Ya que a los frijoles se les aplicó sólo una pequeña dosis de micro-onda (5 min x 150 vatios), estos efectos son considerables.

Resumiendo, los estudios aquí descritos se efectuaron en el Laboratorio de Calidad y Nutrición Alimenticia del CIAT, e indican que el problema de testa dura en la semilla de algunas variedades de frijol, puede ser minimizado, valiéndose de un almacenamiento fresco de las semillas recién cosechadas. El ama de casa puede reducir el efecto de testa dura mediante un remojo prolongado del grano, bajo condiciones frescas. El proceso de tecnología alimenticia también puede ser usado para eliminar el problema: la extrusión por presión ha sido citada por Bressani como medio de solucionar el problema, así como para la preparación de harinas de frijol, usando granos pelados. El resultado de estas investigaciones realizadas en el CIAT será notificado más adelante.

TABLA 6

**EFFECTOS DE ENZIMAS ESPECIFICAS EN LA ABSORCION DE  
AGUA POR FRIJOLES CON TESTA DURA**

Enzimas	pH	Absorción de agua relativa, como un porcentaje de control, después de hr:			
		1	2	4	6
Pectinasa	4.0	77	123	134	114
Pectinasa	ca. 8	120	143	130	—
Fitinasa	5.2	171	172	130	—

Cabe hacer hincapié en que la tendencia a desarrollar testa dura varía grandemente entre las variedades de frijol. Muchas de las líneas avanzadas que están siendo objeto de ensayo en el CIAT, no desarrollan testa dura bajo condiciones de almacenaje acelerado. Ciertamente, a través de una selección continua contra el carácter genético tendrá que ser factible la eliminación del problema de testa dura en las semillas en los próximos años.

Finalmente, una mejor definición de la naturaleza fisicoquímica de testa dura en el frijol, debe permitir explicar los mecanismos de controlarla; éstos, se predicen, radican en la biosíntesis de la pectina y la fitina.

**AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen la excelente asistencia técnica de la Srta. Luzmila Murcia en la realización de las primeras mil evaluaciones efectuadas como parte del trabajo aquí descrito.