

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Cambios en el cotiledón del frijol
común (*Phaseolus vulgaris*) durante el
endurecimiento provocado por
inadecuado almacenamiento

Trabajo de graduación presentado por
Sara Beatriz Molina Yela
para optar al grado académico de Licenciada en Bioquímica

Guatemala
1997

Cambios en el cotiledón del frijol
común (*Phaseolus vulgaris*) durante el
endurecimiento provocado por
inadecuado almacenamiento

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ciencias y Humanidades

Cambios en el cotiledón del frijol
común (*Phaseolus vulgaris*) durante el
endurecimiento provocado por
inadecuado almacenamiento

Trabajo de graduación presentado por Sara Beatriz Molina Yela
para optar al grado académico de Licenciada en Bioquímica

Guatemala

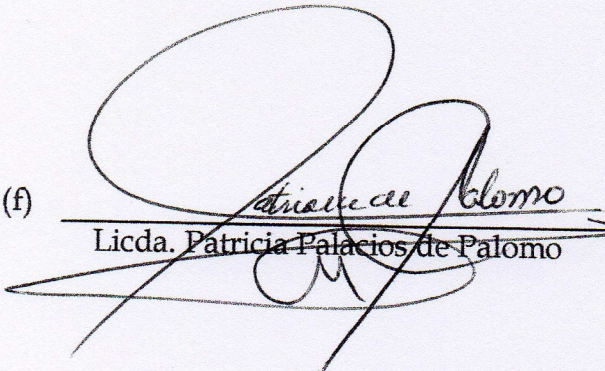
1997

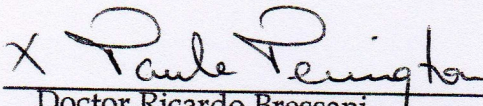
Vo. Bo. :

(f) _____
Doctor Álvaro Molina Cruz
Asesor

Tribunal:

(f) _____
Doctor Álvaro Molina Cruz

(f)  _____
Licda. Patricia Palacios de Palomo

(f) X  _____
Doctor Ricardo Bressani

Fecha de Aprobación: 16 de octubre de 1997

Prefacio

Esta investigación nació como una inquietud del Dr. Álvaro Molina Cruz, en ese entonces Investigador Asociado del Instituto de Investigaciones de la Universidad del Valle de Guatemala, de encontrar una solución al grave problema del endurecimiento del frijol. Luego de haber obtenido financiamiento para la realización del proyecto, el Dr. Molina Cruz me invitó a participar en la ejecución de la investigación, con la oportunidad de presentarla como trabajo de tesis. El trabajo de laboratorio se llevó a cabo bajo su supervisión durante los años 1995 y 1996, en las instalaciones del Instituto de Investigaciones de la UVG, dándome la valiosa ocasión de aprender el uso de nuevos instrumentos y la implementación de metodologías interesantes. Fueron catorce meses de trabajo arduo que, además de brindar resultados interesantes que abren la puerta a nuevos senderos de investigación, me fueron provechosos en la experiencia dentro del laboratorio.

Deseo agradecer muy especialmente, a mi asesor, Dr. Álvaro Molina Cruz, el responsable del nacimiento de este trabajo de investigación, y sin cuya ayuda profesional no hubiese sido posible realizarlo. Agradezco profundamente la confianza que puso en mi persona, así como el conocimiento que durante el proceso me brindó. Agradezco también a todas aquellas personas que, de una u otra forma, estuvieron pendientes de mi avance y de mi formación durante la realización de este trabajo, mis padres, mis catedráticos, mis amigos y compañeros.

Tabla de contenido

	Página
Prefacio	iv
Lista de tablas	ix
Lista de figuras	xiii
Resumen	xiv
I. Introducción	1
II. Justificación	2
III. Objetivos	3
A. Objetivo general	3
B. Objetivos específicos	3
IV. Hipótesis	4
V. Antecedentes	5
A. Clasificación de las legumbres	5
B. Frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	5
C. Estructura de la semilla	6
1. Cubierta	7
2. Cotiledones	7
3. Pared celular	7
D. Composición celular	8
1. Proteínas	8
2. Lípidos	9
3. Carbohidratos	10
a. En la cubierta	10
b. En la pared celular	10

	Página
c. En el cotiledón	11
4. Microcomponentes	12
a. Fitatos	12
b. Pectinas	13
c. Lignina	14
d. Polifenoles	14
e. Vitaminas y minerales	14
E. Calidad del grano	15
F. Pérdidas post-cosecha	15
G. Defectos de textura	16
1. Cáscara dura (hard shell)	17
2. Endurecimiento (hard-to-cook)	17
a. Hipótesis sobre su mecanismo	18
b. Efecto en las proteínas	20
c. Efecto de los carbohidratos	20
d. Efecto de la cáscara	23
e. Efecto del almacenamiento	23
f. Posibles formas de prevención del endurecimiento	24
VI. Metodología	25
A. Propiedades del grano	26
1. Tamaño del grano	26
2. Porcentaje de humedad del grano	26
3. Tiempo de cocción	26

	Página
4. Porcentaje de absorción de agua	27
B. Análisis de los componentes	27
1. Porcentaje de humedad de la harina	27
2. Carbohidratos	27
a. Fibra neutro-detergente (NDF)	27
b. Fibra ácido-detergente (ADF)	27
c. Lignina	28
d. Celulosa	28
e. Almidón	28
3. Proteínas	28
4. Pectinas	29
5. Fitatos	29
VII. Resultados y discusión	30
A. Tamaño del frijol	39
B. Porcentaje de humedad del grano	40
C. Porcentaje de absorción de agua	41
D. Tiempo de cocción	41
E. Componentes de la fibra	43
F. Proteína y almidón	44
G. Pectinas	44
H. Fitatos	44
VIII. Conclusiones	46
IX. Recomendaciones	47
X. Bibliografía	49

	Página
XI. Apéndices	51
Apéndice A: Resultados obtenidos para los análisis realizados (Datos Brutos)	52
Apéndice B: Análisis estadístico (ANDEVA)	59
Apéndice C: Análisis de correlación	91

Lista de tablas

Tabla		Página
1	Promedio de área cultivada, producción y rendimiento de frijol común en países americanos	6
2	Composición aproximada de varias legumbres secas (%)	8
3	Composición aproximada de la cubierta de la semilla	11
4	Pérdidas reportadas en legumbres	16
5	Posibles mecanismos enzimáticos para el endurecimiento	21
6	Condiciones de almacenamiento	25
7	Promedio de los resultados obtenidos para los análisis de propiedades y componentes del cotiledón de frijol antes del almacenamiento y con cuatro meses de almacenamiento	31
8	Promedio de los resultados obtenidos para los análisis de propiedades y componentes del cotiledón de frijol con ocho meses de almacenamiento	33
9	Promedio de los resultados obtenidos para los análisis de propiedades y componentes del cotiledón de frijol con trece meses de almacenamiento	35
10	Resumen de los resultados del ANDEVA de dos factores para el contenido y/o las propiedades del frijol. ¿Influencian los factores y/o su interacción en los resultados obtenidos?	37

Tabla		Página
A1	Datos brutos de componentes obtenidos para frijol común, variedad Altense, a los 0 y 4 meses de almacenamiento	53
A2	Datos brutos de componentes obtenidos para frijol común, variedad Altense, a los 8 meses de almacenamiento	55
A3	Datos brutos de componentes obtenidos para frijol común, variedad Altense, a los 13 meses de almacenamiento	57
B1	Análisis de varianza de los resultados obtenidos para tamaño por peso de grano para frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento	63
B2	Análisis de varianza de los resultados obtenidos para tamaño por volumen de grano para frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento	64
B3	Análisis de varianza de los resultados obtenidos para porcentaje de humedad de grano para frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento	65
B4	Análisis de varianza de los resultados obtenidos para porcentaje de absorción de agua para frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento	67
B5	Análisis de varianza de los resultados obtenidos para tiempo de cocción para frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento	69

Tabla		Página
B6	Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de fibra neutro-detergente (NDF) en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento	71
B7	Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de fibra ácido-detergente (ADF) en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento	73
B8	Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de hemicelulosa en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento	75
B9	Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de lignina en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento	76
B10	Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de celulosa en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento	78
B11	Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de proteína en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento	80
B12	Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de almidón en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento	82

Tabla		Página
B13	Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de pectinas solubles en agua en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento	84
B14	Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de pectinas solubles en oxalato de amonio en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento	86
B15	Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de pectinas solubles en hidróxido de sodio en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento	88
B16	Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de fitatos en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento	90
C1	Análisis de correlación entre resultados obtenidos para las propiedades y los componentes del cotiledón del frijol común, variedad Altense	92

Lista de figuras

Figura		Página
1	Diseño de las cajas de almacenamiento	25

Resumen

Las legumbres forman parte importante de la nutrición de muchos de los pueblos latinoamericanos y, en Guatemala, el frijol negro común (*Phaseolus vulgaris*) es una de las principales fuentes de proteína para la mayoría de sus habitantes. Sin embargo, este producto se ve subutilizado como alimento debido, principalmente, a la existencia de defectos de textura causados por almacenamiento inadecuado, siendo el principal de ellos el endurecimiento. El grano del frijol afectado por este defecto posee un tiempo de cocción muy elevado, lo cual afecta sus propiedades organolépticas, la cantidad de energía que se consume en su preparación y la comercialización del grano con especial impacto en el pequeño agricultor.

El propósito de este trabajo de investigación es el de identificar aquellos componentes en el cotiledón del frijol que se ven afectados por el desarrollo del defecto de textura de endurecimiento por mal almacenamiento. Para ello, se eligió una variedad de frijol, conocida como ALTENSE, que mostró tener un tiempo de cocción adecuado al inicio del estudio. Se almacenó muestras separadas de frijol en seis diferentes ambientes, variando tanto la humedad relativa (35% y 76%) como la temperatura de almacenamiento (5°C, 20°C y 35°C). Se analizaron los cotiledones de las muestras de frijol después de cuatro, ocho y doce meses de almacenamiento bajo las diferentes condiciones mencionadas.

Se observaron cambios significativos en el tiempo de cocción del frijol almacenado a humedad relativa alta (76%) y temperatura alta (35°C) desde los cuatro meses de almacenamiento (desde 120 min. a 343 min, 185% de aumento), demostrando que se logró desarrollar este defecto de textura. Esta muestra mantuvo su comportamiento a los 8 meses (690 min., 475% de aumento) y a los

13 meses (993 min., 727% de aumento) de almacenamiento. En la muestra almacenada a humedad relativa alta (76%) y temperatura media (20°C) se observó un aumento significativo (de 120 min. a 367 min., 205% de aumento) hasta después de 13 meses de almacenamiento.

Se realizó un análisis de varianza de dos factores (ANDEVA) para determinar las propiedades y componentes que varían en respuesta directa los factores de humedad relativa y temperatura de almacenamiento. Se descubrió algunas propiedades y componentes afectados por la temperatura de almacenamiento, muchos afectados por la humedad relativa de almacenamiento, y varios afectados por la interacción de temperatura y humedad relativa de almacenamiento. Sin embargo, estas propiedades y componentes **no** necesariamente guardaban relación con el aumento de tiempo de cocción y, por ende, con el endurecimiento del frijol. Finalmente, el análisis de correlación realizado reveló una fuerte relación inversa entre la cantidad de fitatos presente en el cotiledón del frijol y su tiempo de cocción. Esto sugiere que los fitatos se encuentran de alguna manera involucrados en el proceso que resulta en el endurecimiento del frijol por mal almacenamiento. Se recomienda enfocar estudios posteriores sobre los fitatos, el papel que juegan en el proceso del endurecimiento y posibles tratamientos previos con fitasas como opciones para evitar el endurecimiento del frijol negro por almacenamiento inadecuado.

I. Introducción

Las legumbres proveen gran parte de los requerimientos proteicos del mundo, así como otros nutrientes de importancia. En nuestros países, el frijol negro común (*Phaseolus vulgaris*) es el de mayor utilización, especialmente dentro de las familias más necesitadas. A pesar de ello, este recurso sigue siendo subutilizado como alimento debido a varios factores. Probablemente el más significativo de ellos es la existencia de defectos de textura inducidos por mal almacenamiento, los cuales provocan que su tiempo de cocción se eleve considerablemente, al igual que la cantidad de energía necesaria para su preparación. Esto, a su vez, significa una alteración en la economía del agricultor de legumbres, con mayor impacto en el pequeño agricultor, y por ende, en las naciones en vías de desarrollo.

Existen varias hipótesis sobre el mecanismo que sigue el endurecimiento del frijol, que a la fecha no se ha elucidado claramente. Entre estas hipótesis se encuentran la oxidación y polimerización de lípidos, formación de pectatos insolubles, la lignificación de la lamela media y el efecto combinado de mecanismos múltiples.

De igual forma, existen varias recomendaciones sobre formas para evitar el endurecimiento del frijol común. Entre los procedimientos recomendados se hallan un almacenamiento adecuado, la utilización de atmósferas controladas y pretratamientos al frijol antes de su almacenamiento.

II. Justificación

Actualmente, se sabe que el endurecimiento del frijol negro es causado por su almacenamiento bajo condiciones inadecuadas, con alta humedad relativa y alta temperatura. Desafortunadamente, estas condiciones son las predominantes en los países agricultores tropicales, incluyendo Guatemala, en donde la nutrición de la mayoría de la población depende enormemente del consumo del frijol negro. Muchos autores de estudios acerca del fenómeno de endurecimiento del frijol común han recomendado acciones para evitar este defecto en textura, específicamente el uso de refrigeración durante el almacenamiento. Sin embargo, es evidente que el pequeño agricultor en países como el nuestro no se ve en la posibilidad financiera de implementar tales recomendaciones, restando el valor práctico de estos estudios para nuestra región.

Debido a esto, es necesaria la búsqueda de una solución factible, económica y práctica que ayude a evitar el endurecimiento del frijol y permita su mejor utilización como fuente alimenticia. Para lograrlo, el primer paso es la comprensión profunda del proceso que causa este defecto en textura, teniendo claros los mecanismos bioquímicos involucrados. Este trabajo es el primer paso en la investigación del proceso de endurecimiento en frijol y pretende encontrar los cambios sufridos por distintos componentes del cotiledón durante doce meses de almacenamiento bajo distintas condiciones. Con esto puede relacionarse componentes específicos con el endurecimiento para investigar posteriormente a fondo el papel que cada uno de los componentes juega dentro del proceso.

III. Objetivos

A. Objetivo general

Determinar los cambios observables en los principales componentes de los cotiledones del frijol durante su almacenamiento a diversas temperaturas y humedades relativas.

B. Objetivos específicos

1. Determinar el cambio en los siguientes factores en el frijol que ha sido almacenado bajo distintas condiciones de humedad relativa (35% y 76%) y temperatura (5°C, 20°C y 35°C):
 - a. Tamaño, según peso y volumen del grano.
 - b. Capacidad de absorción de agua.
 - c. Tiempo de cocción.
 - d. Contenido de fibra neutro-detergente en el cotiledón.
 - e. Contenido de fibra ácido-detergente en el cotiledón.
 - f. Contenido de lignina en el cotiledón.
 - g. Contenido de celulosa en el cotiledón.
 - h. Contenido de proteína en el cotiledón.
 - i. Contenido de almidón en el cotiledón.
 - j. Contenido de pectinas en el cotiledón.
 - k. Contenido de fitatos en el cotiledón.
2. Determinar si existe correlación entre alguno de los parámetros medidos y el tiempo de cocción del frijol almacenado.

IV. Hipótesis

- A. El contenido de algunos componentes del cotiledón del frijol cambia con el tiempo de almacenamiento, siendo de forma más marcada bajo condiciones de alta temperatura y humedad relativa alta. Se esperan los siguientes resultados:
1. que no haya cambios en el tamaño, según peso y volumen del grano.
 2. disminución en la capacidad de absorción de agua.
 3. aumento marcado en el tiempo de cocción.
 4. aumento en el contenido de fibra neutro-detergente en el cotiledón.
 5. aumento en el contenido de fibra ácido-detergente en el cotiledón.
 6. que no haya cambios en el contenido de lignina en el cotiledón.
 7. que no haya cambios en el contenido de celulosa en el cotiledón.
 8. que no haya cambios en el contenido de proteína en el cotiledón.
 9. que no haya cambios en el contenido de almidón en el cotiledón.
 10. aumento en el contenido de pectinas en el cotiledón.
 11. disminución en el contenido de fitatos en el cotiledón.
- B. Existe una correlación entre el tiempo de cocción del frijol y el contenido de los componentes principales del cotiledón que muestran un cambio durante el proceso de endurecimiento por almacenamiento no adecuado del frijol.

V. Antecedentes

A. Clasificación de las legumbres.

Las legumbres alimenticias pueden dividirse en pulsos y semillas aceitosas. Un pulso es la semilla comestible de una legumbre cultivada, como es el caso del frijol común, *Phaseolus vulgaris*. Los pulsos son importantes en la nutrición humana, debido a que contienen el mayor porcentaje de proteína que cualquier otra fuente vegetal natural. Por su parte, las semillas aceitosas se utilizan por su alto contenido de grasas. Se da algún traslape entre ambos tipos de legumbres, como por ejemplo con la soya, que se consume por su alto contenido proteico y se utiliza como fuente de aceite (Stanley y Aguilera, 1985).

B. Frijol común (*Phaseolus vulgaris*).

De más de 1300 especies de legumbres, solamente unas 20 son consumidas comúnmente por el hombre (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993). Las legumbres en general, y en especial el frijol común (*Phaseolus vulgaris*), son alimentos consumidos principalmente por las poblaciones rurales de Latinoamérica. Su costo es relativamente bajo y es una buena fuente de proteínas, minerales y vitaminas. Cerca del 30% de la proteína de la dieta de estas poblaciones proviene del frijol (León, *et al.* 1989).

El frijol común es una muy buena fuente de proteína, vitaminas (tiamina, riboflavina, niacina, vitamina B₆) y algunos minerales (Ca, Fe, Cu, Zn, P, K y Mg). También son excelente fuente de carbohidratos complejos y ácidos grasos poliinsaturados, como los ácidos linoléico y linolénico. Sin embargo, el frijol común posee varios atributos indeseables, como tiempos de cocción largos,

inhibidores enzimáticos, fitatos, factores de flato y compuestos fenólicos (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

El frijol común, *Phaseolus vulgaris*, es una legumbre de grano de la familia Leguminosae, tribu Phaseoleae, y subfamilia Papilionoideae. Sus semillas pueden ser redondas, elípticas, algo achatadas o alargadas, teniendo una gran variedad de colores y patrones en su cáscara. Su peso varía desde 50 mg por grano, en variedades ancestrales encontradas en México, hasta más de 2000 mg por grano en algunas variedades de Colombia. El frijol común es el *phaseoli* más conocido y cultivado del mundo, sabiéndose de unas 500 variedades (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

Tabla 1: Promedio de área cultivada, producción y rendimiento de frijol común en países americanos

País	Período	Área cultivada (10 ² ha)	Producción (10 ³ ton métricas)	Rendimiento (kg/ha)
Brasil	1978-80	4300	-----	-----
México	1985-90	1800	1065	580
Estados Unidos	1982	708	1156	1633
Guatemala	1979-85	95	86	920
Colombia	1980-85	112	79	702
Nicaragua	1980-85	10	54	713
Haití	1978-79	96	49	510
República Dominicana	1977-78	61	44	725
El Salvador	1980-84	54	40	745
Honduras	1980-85	72	36	550
Panamá	1980-82	-----	31	552

(Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993)

C. Estructura de la semilla.

Las semillas de las legumbres son de tamaño mediano a grande, un tanto comprimidas, con un embrión grande y una cubierta dura, seca y lisa. Las dos partes principales de la semilla leguminosa son la cubierta y los cotiledones, pero poseen otras estructuras como el epicotilo, el hipocotilo y la radícula. En la superficie de la semilla puede verse el hilum, la cicatriz que queda de la unión de

la semilla con el tallo, y el micropilo, una abertura microscópica (Stanley y Aguilera, 1985; Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993)).

1. Cubierta. La cubierta de la semilla sirve como una barrera protectora entre el embrión y el ambiente externo (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993). La capa exterior de la cubierta está compuesta de una cutícula delgada que cubre a una capa de células prismáticas de pared celular gruesa conocidas como células de palizada. La dureza e impermeabilidad de la cubierta seca son causadas principalmente por la contracción de las paredes de estas células a medida que la semilla madura (Stanley y Aguilera, 1985; Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

La cubierta posee un papel importante en la absorción de agua. En un estudio hecho por Muller en 1967 se concluyó que el grosor de la capa de palizada y el contenido de lignina y celulosa de la cubierta de la semilla y posiblemente de las paredes celulares del cotiledón, son determinantes importantes de la calidad de la cocción (Stanley y Aguilera, 1985).

2. Cotiledones. Los cotiledones forman la parte principal de la semilla respecto al peso y al volumen de la misma. El cotiledón de una leguminosa contiene células parequimatosas unidas por su pared celular y lamela media y algunos haces vasculares compuestas de un gran número de células compactadas. La deshidratación que ocurre en los cotiledones durante la maduración de la semilla causa una disminución en el número de organelos celulares presentes. Las células contienen gránulos de almidón incrustados en una matriz proteica. Los cuerpos proteicos generalmente son esféricos y más pequeños que los gránulos de almidón. Estos cuerpos están rodeados por una membrana lipoproteica y contienen inclusiones cristalinas de fitina (Stanley y Aguilera, 1985).

3. Pared celular. La pared celular principal y secundaria de las células de los cotiledones consisten de microfibrillas de celulosa, hemicelulosa y lignina.

Las paredes primarias de dos células son unidas por la lamela media. Ésta se encuentra constituida principalmente por sustancias pécticas, las cuales le dan las propiedades adhesivas que permiten la unión de las células y determinan la fuerza del tejido (Stanley y Aguilera, 1985).

D. Composición.

En la Tabla 2 se da la composición aproximada de varias legumbres. La característica principal es el alto nivel de proteína que se da en estas semillas, reportándose un rango de 20 a 40%. Sin embargo, esto puede ser una sobreestimación, ya que el factor de 6.25 usado en la conversión de contenido de nitrógeno a proteína es muy alto para las fuentes vegetales (Stanley y Aguilera, 1985).

Tabla 2: Composición aproximada de varias legumbres secas (%)

Especie	Agua	Proteína	Grasa	CHO totales	Cenizas
Frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	10.4	22.5	1.5	61.9	3.7
Lenteja (<i>Lens esculenta</i>)	11.1	24.7	1.1	60.1	3.0
Cowpea (<i>Vigna unguiculata</i>)	10.5	22.8	1.5	61.7	3.5
Pigeon pea (<i>Cajanus cajan</i>)	10.8	20.4	1.4	63.7	3.7
Groundnut (<i>Arachis hypogaea</i>)	5.4	26.3	48.8	17.6	2.3
Soya (<i>Glycine max</i>)	10.0	34.1	17.7	33.5	4.7

(Stanley y Aguilera, 1985)

1. Proteínas. Aunque se ha encontrado una variabilidad limitada para el porcentaje de proteína presente en frijol comercial, se han reportado valores desde el 16 al 33% luego de analizar varias líneas de frijol. El contenido de proteína en el cotiledón parece estar afectado tanto por factores genéticos, de control complejo, como por factores ambientales, tales como situación geográfica (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

Las proteínas de almacenamiento en las legumbres, que forman un 80% de la proteína total, sirven para proveer de aminoácidos y de compuestos nitrogenados a la planta joven. Estas proteínas se encuentran principalmente en

forma de cuerpos proteicos, los cuales poseen un 75% de proteína y el resto de ácido fólico y minerales (Stanley y Aguilera, 1985).

La importancia de las proteínas de las leguminosas yace en su contribución a la dieta humana. Unos setenta gramos de frijol, el consumo diario estimado en Guatemala, provee el 4% del requerimiento adulto de energía y el 13% del de proteína. Aunque las leguminosas padecen una deficiencia en aminoácidos azufrados (metionina, cisteína y cistina), otorgan un exceso de lisina, aminoácido limitante en los cereales. Luego de eliminar un gran número de factores antinutricionales por medio de cocción, la digestibilidad de la proteína de las leguminosas es de solamente el 77%, 15-20% menor al de la caseína. Esto puede estar relacionado con el contenido de taninos en los frijoles (Stanley y Aguilera, 1985).

2. Lípidos. La cantidad de los lípidos presentes en las legumbres varía según la naturaleza de la legumbre, teniendo valores de 1%-50%. La mayor parte de los lípidos son triglicéridos neutros, predominando los ácidos oléico, linoléico y linoléico. El almacenamiento de las legumbres puede llevar a la pérdida de calidad, de valor nutricional y funcionalidad debido a reacciones de oxidación de lípidos (Stanley y Aguilera, 1985).

El frijol común contiene entre el 1 al 3% de lípidos, dependiendo de la especie (Stanley y Aguilera, 1985; Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993). El contenido total de lípidos puede variar según la variedad, origen, localidad, clima, condiciones ambientales y tipo de suelo donde se encuentre el frijol. Los lípidos neutros son la clase predominante en el frijol común, siendo entre el 32 al 45% de los lípidos totales. Los lípidos neutros incluyen principalmente triglicéridos con proporciones menores de ácidos grasos libres, esteroides y ésteres de esteroides. Los fosfolípidos se encuentran en cantidades apreciables, tomando de un 28 a un 34% de lípidos totales (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

Los lípidos del frijol común muestran baja variabilidad en su contenido de ácidos grasos, conteniendo grandes cantidades de ácidos grasos insaturados. Los

más abundantes son el oléico (7-10%¹), el linoléico (21-28%) y el linolénico (37-54%). Los ácidos grasos poliinsaturados, tales como el linoléico y el linolénico, no pueden ser sintetizados por animales y humanos, y se requieren para el crecimiento normal, estructura celular, funciones de todos los tejidos y síntesis de prostaglandinas. También poseen ácidos grasos saturados, especialmente el ácido palmítico (10-15%) (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

3. Carbohidratos. Las semillas contienen 50-70% de carbohidratos totales en base seca. Aunque la mayor parte es almidón, de un 30 a 40%, hay una gran variedad de otros carbohidratos presentes en toda la semilla, incluyendo oligosacáridos, sustancias pécticas, arabinogalactanos y xiloglucanos (Stanley y Aguilera, 1985; Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

El almidón se encuentra en gránulos de tamaño variable (20 a 50µm) según la especie. Estos gránulos son resistentes a hincharse y romperse, y se caracterizan por tener un contenido de amilosa del 20 al 30%. La temperatura de gelatinización varía de 60°C a más de 75°C, aunque estos valores son fuertemente influenciados por factores como humedad e interacción con otros componentes (Stanley y Aguilera, 1985).

a. En la cubierta. La composición de la cubierta de la semilla es aproximadamente la que se muestra en la Tabla 2. Debe notarse que es muy similar a la de la pared celular, pero con un mayor contenido de celulosa (Stanley y Aguilera, 1985).

b. En la pared celular. Los carbohidratos son los componentes principales de las paredes celulares y de la cubierta. En la pared celular se encuentra, además de sus componentes principales (sustancias pécticas, celulosa, hemicelulosa y lignina), algunos compuestos polifenólicos en la forma de complejos polisacáridos-proteína-polifenol, formando un 5-10% de la pared. La

¹Porcentaje del contenido total de lípidos.

celulosa es uno de los constituyentes principales de la pared celular, particularmente en las paredes celulares secundarias, las cuales son las más importantes para la fuerza estructural (Stacey, 1974). Las sustancias pécticas son una mezcla compleja de polisacáridos coloidales formados de pectinas (metil éster), ácido péctico deesterificado y sus sales (pectatos) y ciertos polisacáridos neutros que forman un esqueleto de ácido galacturónico. Se ha estimado que el material de la pared celular forma alrededor de un 7% por peso del cotiledón (Stanley y Aguilera, 1985).

Tabla 3: Composición aproximada de la cubierta de la semilla

Componente	Porcentaje ^a
Agua	8%
Proteína	5%
Pectinas	20%
Celulosa y hemicelulosa	40-75%
Grasa	0.5-1.0%
Lignina	1-11%
Cenizas	2-8%

^aSe dan en base seca, a excepción del agua (Stanley y Aguilera, 1985)

c. En el cotiledón. El tamaño, forma y birrefringencia de los gránulos de almidón que se encuentran en el cotiledón del frijol son frecuentemente característicos de la especie de la planta y de su estado de madurez. La temperatura de gelatinización del almidón que se encuentra en el frijol, que varía desde 64 hasta 81°C, se ve afectada por el tamaño y forma de los gránulos, la presencia o ausencia de grasa y proteínas y, quizá, el tamaño molecular y grado de ramificación de las fracciones de almidón (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

Se ha tenido especial interés en el contenido de fibra dietética del frijol común debido a su eficiencia para reducir el colesterol sanguíneo, mejorar la tolerancia a la glucosa y reducir el requerimiento de insulina. La fibra dietética consiste en la porción de las células vegetales que no pueden ser digeridas por las enzimas en el tracto digestivo animal. No es una sola identidad sino una

mezcla compleja de sustancias químicamente distintas que comparten la característica de resistir la digestión enzimática. La mayoría de las sustancias que se encuentran en la fibra dietética son carbohidratos (celulosa, hemicelulosa, pectinas), siendo la lignina el único componente no carbohidrato presente (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

Las semillas de las leguminosas usualmente contienen más fibra dietética que los cereales y son mejor fuente de fibra dietética soluble metabólicamente activa. El contenido de fibra dietética en el frijol común va desde el 14 al 19%. La cocción disminuye levemente el contenido de fibra dietética soluble, aumentando drásticamente la fibra dietética insoluble. La base química para estos cambios no ha sido explicado (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

4. Microcomponentes. Las semillas de las legumbres contienen muchos microcomponentes además de los principales ya mencionados. Algunos de ellos han sido implicados en los fenómenos de endurecimiento (Stanley y Aguilera, 1985).

a. Fitatos. El fitato, comúnmente llamado ácido mioinositol hexafosfórico, es una forma de almacenamiento del fósforo que se halla en todas las semillas de las leguminosas, en concentraciones variables desde 0.3 a 2.5%, en base seca, y uno de los antinutrientes presentes en el frijol seco. La mayoría de estas moléculas se encuentran en el cotiledón del frijol y no en la cubierta externa del frijol. La estructura de esta molécula le da un fuerte potencial para quelar cationes mono y divalentes, incluyendo algunos minerales esenciales para la dieta humana, por lo que no se encuentra biológicamente disponibles en estos alimentos (Stanley y Aguilera, 1985; Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

Aparentemente, la interacción del fitato y los cationes se encuentra moderada por una proteína *in situ*. Hay dos evidencias que apoyan esto. Una de ellas es la localización celular del fitato, ya que en algunas especies parte del fitato se presentan concentradas en regiones de los cuerpos de proteínas

llamados cristales globoides. La segunda evidencia la da el mecanismo de unión del fitato. Se ha demostrado que a pH fisiológico se producen complejos proteína-calcio-fitato, siendo necesaria la presencia del calcio para la unión de los otros dos componentes, llevando a la conclusión de que los enlaces formados son salinos (iónicos) (Stanley y Aguilera, 1985).

Debido a que aparentemente el fitato se encuentra presente en su forma soluble en agua, es muy probable que los procedimientos acuosos que se le da a las legumbres (remojo y cocción) resulte en una remoción significativa de este compuesto. Hay dos reacciones que permiten que esto suceda: es la difusión al medio e hidrólisis enzimática. La proporción atribuible a cada una depende del tiempo, temperatura e interacciones con el medio que se estén dando (Stanley y Aguilera, 1985).

La enzima responsable de esta catálisis es la fitasa, una fosfohidrolasa (E.C. 3.1.3.8) que produce inositol y ácido fosfórico en proporción molar de 1:6. Se ha encontrado en muchas legumbres, siendo más activa en semillas en germinación. Se ha implicado a esta enzima en la reducción en la germinación de semillas almacenadas (Stanley y Aguilera, 1985).

b. Pectinas. Las paredes celulares del cotiledón contienen una cantidad apreciable de sustancias pécticas, desde el 28.5 al 41.2%, las cuales proveen la principal forma de adhesión entre células, dictando la fuerza física del tejido. Las sustancias pécticas son un grupo de polisacáridos fuertemente asociados en la pared celular primaria y regiones intercelulares de las plantas superiores. El principal grupo de las pectinas es una cadena lineal de unidades de ácido D-galacturónico, en la cual hay proporciones variables de grupos ácidos presentes como metilésteres. El término sustancias pécticas se usa comúnmente para incluir el metiléster, la pectina, el ácido péctico deesterificado y sus sales (pectatos), y algunos polisacáridos neutrales que no tienen la columna galacturonánica que generalmente se hallan asociados a la pectina (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

c. Lignina. La lignina es un polímero de unidades fenilpropanoides cuya estructura tridimensional consiste de cadenas lineales cortas unidas en forma cruzada por una variedad de enlaces. Estas unidades se incrustan y penetran las paredes celulares de celulosa, contribuyendo a la fuerza mecánica y rigidez de los tejidos vegetales (Stanley y Aguilera, 1985; Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993). No posee carga, es insoluble y está ampliamente distribuida en los tejidos vegetales, donde se encuentra unido covalentemente a los componentes de la hemicelulosa de las paredes celulares y lamela media. La función de la lignina es disminuir la permeabilidad del agua a través de las paredes celulares, dar rigidez y unir las células, creando una estructura resistente a impacto, compresión y doblez. Algunas proteínas pueden interactuar con los precursores de la lignina por puentes de hidrógeno y por reacciones de oxidación y condensación (Stanley y Aguilera, 1985).

d. Polifenoles. Otros microcomponentes son los polifenoles, presentes en cereales y legumbres, que tienen una influencia negativa en el color, sabor y calidad nutricional de los mismos. Entre los polifenoles, los taninos parecen ser los de más importancia en las legumbres. Los taninos se definen como productos metabólicos normales que consisten en compuestos fenólicos solubles en agua con peso molecular entre 500 y 3,000 daltons y con la habilidad de precipitar alcaloides y proteínas como la gelatina. Los polifenoles disminuyen la digestibilidad de las proteínas en los animales y humanos, probablemente haciéndola no disponible o inhibiendo las enzimas digestivas, aún cuando una gran cantidad de estos compuestos se pierden hacia el agua de cocción. No se conoce muchos sobre las polifenolasas en las semillas de legumbres (Stanley y Aguilera, 1985).

e. Vitaminas y minerales. El frijol común crudo es una fuente relativamente buena de vitaminas solubles en agua, especialmente tiamina, riboflavina, niacina, vitamina B₆ y ácido fólico. La retención durante la cocción

varía del 70.9% (vitamina B₆) a 75.9% (riboflavina). También es buena fuente de varios minerales, incluyendo calcio, hierro, cobre, zinc, fósforo, potasio y magnesio, con valores de retención durante la cocción desde el 78.9% (cobre) hasta el 100% (calcio). El alto contenido de minerales del frijol común debe considerarse en unión con su biodisponibilidad. El ácido fítico y las proteínas pueden formar complejos con minerales dietéticamente esenciales, como el calcio, zinc, hierro y magnesio, y convertirlos en biológicamente no disponibles (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

E. Calidad del grano.

La calidad del grano del frijol común se determina por factores tales como aceptabilidad por el consumidor, características de remojo, calidad de cocción y valor nutritivo. Las características de aceptabilidad incluyen una gran variedad de atributos, tales como tamaño, forma, y color del grano, apariencia general, estabilidad bajo condiciones de almacenamiento, propiedades de cocción, calidad del producto obtenido y sabor (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993)

F. Pérdidas post-cosecha.

Han existido algunos esfuerzos para determinar las pérdidas post-cosecha de los alimentos vegetales, incluyendo las legumbres. En el caso de éstas, se dan tres factores principales que actúan de manera acumulativa: 1) depredación por aves y roedores mientras la semilla se encuentra secando, 2) la dificultad para lograr un secado efectivo y evitar el aumento de la humedad en la semilla, lo cual causa problemas de pérdidas de calidad durante el almacenamiento, y 3) un problema masivo de infestación de insectos. Las grandes pérdidas que se dan de la acción de estos tres vectores podrían cubrir el requerimiento calórico de 168 millones de personas. La Tabla No. 4 muestra las pérdidas reportadas en el mundo en desarrollo, donde del 60 al 70% del grano se mantiene en almacenamiento local por los mismos agricultores que lo cosechan (Aguilera and Stanley, 1985).

Es práctico separar las pérdidas post-cosecha debido a defectos de textura de las pérdidas causadas por los demás factores. Las primeras son más difíciles de cuantificar y raramente se ven reportadas en la literatura. En una encuesta llevada a cabo por el INCAP en Guatemala, los agricultores indicaron que la pérdida por endurecimiento fue la más importante, afectando entre el 3.33 y el 32.14% de la producción total. Los gobiernos han sufrido grandes pérdidas económicas debido al mal manejo del frijol en post-cosecha. En Centroamérica y Panamá, el frijol que desarrolló endurecimiento durante almacenamiento prolongado dio pérdidas equivalentes a \$12 millones en 1977. Otro caso documentado se dio en Guatemala, donde 5,000 toneladas de frijol compradas por el gobierno a \$0.66/kg debieron venderse a \$0.15/kg luego de mal manejo post-cosecha (Aguilera and Stanley, 1985)

Tabla 4: Pérdidas reportadas en legumbres

País	Peso total perdido (Porcentaje)	Producción nacional reportada (miles de toneladas)	Observaciones
Ghana	7-45	11	Frijol con cáscara, almacenados de 1-5 meses; sin cáscara, 22 meses.
Kenya	30	280	Almacenamiento local
Zambia	40	600	Cowpeas
India	8.5	12,956	Pulsos, almacenamiento central
Indonesia	5	900	Almacenamiento no especificado
Pakistán	5-10	785	Pulsos
Belice	20-50	1	Frijol común, almacenamiento local
Brasil	15-25	1,923	Frijol seco
Costa Rica	24		Frijol seco
Honduras	20-50	48	Frijol seco, almacenamiento local
Nicaragua	10-35	54	Frijol seco

(Aguilera and Stanley, 1985)

G. Defectos de textura.

Los defectos en textura en las legumbres se dan con cambios estructurales, siendo la más prominente la incapacidad de las células del cotiledón separarse

durante la cocción. Varriano-Marston y Jackson, en 1981, a través de un microscopio de transmisión electrónica observaron la desintegración de los organelos citoplasmáticos e inclusiones y la separación de la pared celular y el plasmalema de los frijoles endurecidos. Consideraron la pérdida de la integridad del plasmalema como responsable del aumento en la fuga de electrolitos observada en estos frijoles (Stanley y Aguilera, 1985).

1. Cáscara dura (hard shell). Este defecto consiste en la incapacidad de las semillas afectadas a absorber suficientes cantidades de agua previo a la cocción. Se ha demostrado que tanto la presencia de este defecto como su severidad son hereditarias aunque de influenciadas parcialmente por las condiciones agronómicas. Las humedades relativas bajas y el bajo contenido de humedad en temperaturas elevadas durante el almacenamiento favorecen la formación de cáscara dura en los frijoles. Antunes y Sgarbieri, 1979, encontraron que este defecto fue diez veces mayor en *Phaseolus* almacenado a 25°C y 65-70% humedad relativa que los almacenados a 12°C y 52% de humedad relativa y a 37°C y 76% de humedad relativa. Las condiciones de almacenamiento pueden ser un factor importante para este defecto (Stanley y Aguilera, 1985).

2. Endurecimiento (hard-to-cook). Las legumbres, en especial el frijol común, son susceptibles al proceso de endurecimiento, principalmente debido a mal almacenamiento. Los factores más determinantes son las altas temperaturas, las humedades elevadas del grano y del ambiente, y un tiempo prolongado de almacenamiento, y aunque se conocen, muy poco se sabe del mecanismo por el cual ocurre el endurecimiento (León, et al, 1989, Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993). El frijol seco, cuando se almacena bajo condiciones adversas, especialmente a temperatura y humedad elevadas, se endurece. El frijol que se almacena unas diez semanas a 25°C (77°F) y a humedades relativas de 65% o más aumentará su contenido de humedad a 13.5% o más, dependiendo de la humedad relativa a la que se encuentra. Cuando ese frijol se almacena unos diez

meses bajo las condiciones mencionadas, su tiempo de cocción será de 5 a 6 veces mayor que el de frijol control. Las condiciones de las cuales se habla son muy comunes en muchos países, especialmente en el trópico y subtropical. El aumento en el tiempo de cocción del frijol de estas regiones provoca la pérdida de calidad nutricional del mismo y el aumento del uso de fuentes de energía ya escasos (Kon and Sanchuck, 1981).

El frijol endurecido se caracteriza por tiempos de cocción extendidos para lograr suavizar el cotiledón, menos aceptabilidad por el consumidor y valor nutritivo menor (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993). En el endurecimiento, las semillas pueden absorber agua antes de la cocción, pero no se suavizan lo suficiente durante la misma. Esta deficiencia es de mayor importancia práctica para los consumidores que el de la cáscara dura, especialmente en los países donde predominan altas temperaturas y humedades relativas. Según la evidencia que se tiene hasta el momento, el mecanismo por el cual se da este defecto difiere significativamente del de la cáscara dura. Los factores agronómicos tales como niveles de fertilizante y composición pueden ser factor influyente, así como las condiciones de almacenamiento (Stanley y Aguilera, 1985). A pesar de conocerse muy bien los factores que propician el endurecimiento, se sabe muy poco acerca del mecanismo por el cual esto ocurre, existiendo varias hipótesis. El proceso de endurecimiento es complejo y es probable que involucre a más de un tejido de la semilla y que se dé más de una reacción bioquímica (León, *et al*, 1989).

a. Hipótesis sobre su mecanismo. Los mecanismos involucrados en el fenómeno de endurecimiento no han sido elucidados satisfactoriamente (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993). Algunas investigaciones sobre las posibles causas del endurecimiento han eliminado a los cambios en grasas o pectinas como posibles factores importantes (Kon and Sanshuck, 1981). La mayoría de investigadores han reportado que este defecto se desarrolla en los cotiledones. Recientemente, algunos autores han sugerido que la cubierta de la

semilla juega un papel importante en el proceso de endurecimiento. Las hipótesis más importantes que han sido propuestas para explicar la causa del endurecimiento son las siguientes:

- oxidación y/o polimerización de lípidos,
- formación de pectatos insolubles,
- lignificación de la lamela media, y
- mecanismos múltiples (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

A pesar que se han desarrollado varias hipótesis para explicar el defecto del endurecimiento, la más avanzada dice que los pectatos insolubles, localizados en la lamela media, se disuelven durante la cocción debido al reemplazo de sus cationes divalentes por cationes monovalentes. Esto depende de la presencia de algún agente quelante biológico que pueda atrapar los iones Ca^{++} y Mg^{++} y de una fuente de iones Na^+ y K^+ que tomen su lugar. El agente más mencionado es el fitato, el cual probablemente se difunde hacia la lamela media. Las semillas que se encuentran almacenadas a temperaturas y humedades relativas altas desarrollan este defecto. Una explicación que puede darse es que la fitasa hidroliza su sustrato y los productos de esta reacción ya no son capaces de quelar a los iones divalentes de calcio y magnesio (Stanley y Aguilera, 1985).

Esta teoría se ha usado para explicar los datos obtenidos en muchas investigaciones sobre el endurecimiento. Sin embargo, no todos los investigadores están de acuerdo con ella. No se ha demostrado una relación de causa y efecto entre la hidrólisis del fitato y el endurecimiento en las semillas. Lo que parece innegable es el hecho que el mecanismo por el cual se endurecen las semillas es, al menos parcialmente, enzimático. Se han desarrollado varios posibles mecanismos enzimáticos que pueden influir en el endurecimiento (Stanley y Aguilera, 1985).

La disminución del tiempo de cocción, el aumento del valor nutritivo y el mejoramiento de las propiedades sensoriales de las semillas endurecidas tendría

un impacto económico y nutricional muy importante. (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

b. Efecto en las proteínas. No se han estudiado los efectos del endurecimiento en el valor nutritivo de las legumbres. Sin embargo, al saberse que se requiere de mayor tiempo de cocción, es posible que los aminoácidos lábiles se destruyan y que, como resultado, la digestibilidad de la proteína disminuya. Se ha encontrado que se da una disminución en el PER, aparentemente debido a la disponibilidad disminuida de aminoácidos azufrados y de lisina, así como menores digestibilidades. Estos resultados, sumados a la observación hecha por Molina y colaboradores en 1975 y 1976 que el almacenamiento aumenta significativamente la solubilidad del nitrógeno indican que hay cambios en las proteínas de las legumbres durante el almacenamiento. Ching y Schoolcraft, 1968, reportaron que las proteasas están activas en las semillas almacenadas, y que sus actividades se encuentran relacionadas a la humedad y a la temperatura del medio. Se necesita investigar más sobre el efecto del endurecimiento en las proteínas de las legumbres (Stanley y Aguilera, 1985).

c. Efecto de los carbohidratos. La influencia de los carbohidratos en el endurecimiento parecen estar centrados en cuatro estructuras: gránulos de almidón, lamela media, paredes celulares y la envoltura de la semilla (Stanley y Aguilera, 1985; Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993). Aguilera and Steinsaper, en 1985, observaron que los frijoles endurecidos poseen más gránulos de almidón no gelatinizado que frijoles tratados para retardar el endurecimiento. Bretzloff sugirió que la solubilización y difusión del almidón de las células durante la cocción puede aumentar la adhesión intercelular. Probablemente, la contribución del almidón a la cocción de las semillas de legumbres dependerían de características tales como su solubilidad. Una posibilidad aún no estudiada

es si la alteración del contenido de amilosa en el almidón del frijol reduce el tiempo de cocción (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

Tabla 5: Posibles mecanismos enzimáticos para el endurecimiento

Enzima o Reacción	Acción	Consecuencia
Fitasa	Hidroliza el fitato a inositol y ortofosfato.	Pérdida de la habilidad para quelar los cationes divalentes.
Esterasa péctica	Remueve los grupos metilo de las pectinas, exponiendo grupos carboxilo.	Entrecruzamiento de los grupos carboxilo de las pectinas por cationes divalentes.
Lipooxigenasa	Convierte los lípidos en polímeros oxigenados polares.	Degradación de membranas, fuga de solutos, aumento en la interacción enzima-sustrato.
Proteasas	Hidroliza proteínas de almacenamiento.	Producción de proteínas de menor peso molecular, más reactivas y capaces de interacción.
Peroxidasa	Entrecruzamiento de polifenoles a proteínas de la pared celular.	Lignificación.

(Stanley y Aguilera, 1985)

Varios investigadores han sugerido que los cambios que se dan en el contenido de las sustancias pécticas durante el almacenamiento del frijol son los responsables de los cambios en las propiedades de cocción del frijol común (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993) Una observación común en los estudios de la influencia de la cocción en la estructura del frijol es que las células de los cotiledones con textura aceptable exhiben una lamela media separada al punto que las células individuales se separan sin la ruptura de las paredes celulares, mientras que en frijoles endurecidos o poco cocidos se da la ruptura hasta el material intracelular. Jones y Boulter, 1983, indican la posibilidad de que la incapacidad de ruptura de la lamela media esté correlacionada con un mayor contenido de cationes divalentes. Aseguran que la solubilidad de pectinas es mucho menor en frijol endurecido, lo cual coincide con un aumento del 44% en el

calcio péctico y del 61% en el magnesio péctico. Observaron también que la esterificación de las pectinas bajan del 51% al 15%, y la cantidad del fitato de calcio y magnesio baja de 29 a 18 mg/g. Puede especularse que la disminución observada en la esterificación de las pectinas en las muestras endurecidas pudieron resultar de la acción de una esterasa péctica endógena activada por las altas temperaturas y humedad del almacenamiento. En estudios hechos por Rozo, en 1982, en frijol rojo se encontró aumentos significativos en fibra neutro-detergente, en hemicelulosa y en nitrógeno de la pared celular en el frijol almacenado a altas temperaturas y humedades. Molina y colaboradores reportó, en 1976, aumento en proteína lignificada bajo condiciones similares (Stanley y Aguilera, 1985).

Mattson observó que las arvejas endurecidas contenían mucho menos (más del 50%) fitato de lo normal y que la remoción de estos compuestos a través del remojo o por medios enzimáticos induce la condición del endurecimiento. En tejido normal, el fitato quela los cationes divalentes de la lamela media, eliminando el entrecruzamiento de las pectinas y ayudando a la disolución de la misma durante la cocción. El tejido endurecido no puede suavizarse debido a la falta de fitato. En el caso del frijol, se ha observado alrededor de un 35% menos de fitatos. Kon y Sanshuck encontraron en 1981 que la reducción en el contenido de fitato es la mejor predicción para el endurecimiento. Remojar el frijol en soluciones de fitato o de EDTA antes del calentamiento redujo los tiempos de cocción del frijol endurecido (Stanley y Aguilera, 1985).

Hay otros investigadores que no están de acuerdo con esta visión. Por ejemplo, Crean y Hasiman, 1963, dijeron que debido a que el fitato disponible podía acomplejar solamente el 50%, como máximo, de los cationes divalentes durante la cocción, el calcio y magnesio libre siempre están disponibles para entrecruzamiento las pectinas de la lamela media. Por lo tanto, el efecto de los fitatos en la textura es pequeña. Rosenbaum y Baker, 1969, concluyeron que un menor tiempo de cocción que está relacionado con el interior del cotiledón no es

función del contenido de fitato sino de su difusión al agua a través de la envoltura de la semilla en las células y la facilidad de hidratación y solubilidad (Stanley y Aguilera, 1985).

De León, *et al*, analizó los cambios en fibra dietética del frijol durante el endurecimiento, hallando que no había cambios observables en el contenido de fibra dietética en los cotiledones. Sin embargo, en el grano completo, la cantidad de fibra neutrodetergente disminuyó considerablemente, aunque el contenido de fibra ácido detergente, celulosa y lignina no sufrió cambios significativos (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

d. Efecto de la cáscara. La cáscara es la primera barrera para la cocción del frijol, y es factor responsable en gran medida de la dureza o del largo tiempo de cocción del frijol. En la cáscara ocurren reacciones enzimáticas y/o químicas que hacen que ésta se haga más resistente o dura y que afecte en mayor grado el tiempo de cocción y la dureza del frijol. El cotiledón se endurece a menor velocidad que la cáscara y con cinética de endurecimiento muy diferente. Es posible que en el frijol ocurran dos tipos de endurecimiento: uno a nivel de cotiledón y otro a nivel de la cáscara. A pesar de esto, la cáscara parece evitar, hasta cierto punto, el endurecimiento del cotiledón (León, *et al*. 1989).

e. Efecto del almacenamiento. Existen varios estudios sobre el efecto del almacenamiento en el endurecimiento del frijol. Sin embargo, el análisis de los datos cuantitativos presentados en estos estudios se hace difícil por tres principales razones: 1) los parámetros fundamentales que describen las condiciones de almacenamiento, tales como porcentaje de humedad del ambiente, no se encuentran reportados adecuadamente para todo el período, 2) el protocolo para la preparación de muestras y cocción varía en cuanto a pasos seguidos, edad del frijol, instrumentos usados, etc., y 3) el deterioro del frijol con el tiempo se evalúa por diferentes metodologías, desde tiempos de cocción hasta dureza (Aguilera and Stanley, 1995).

f. Posibles formas de prevención del endurecimiento. Se han propuesto varios procedimientos para prevenir el desarrollo del defecto de endurecimiento en el frijol común. Entre estos procedimientos pueden mencionarse:

- almacenamiento apropiado,
- atmósfera controlada,
- pretratamientos (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

Probablemente, la solución más factible es el desarrollo de frijol menos susceptible a sufrir el fenómeno de endurecimiento. La comprensión de los mecanismos que llevarían a la reversibilidad de este proceso permitiría también la comprensión del desarrollo del defecto mismo y ayudaría en la búsqueda de los métodos para prevenirlo. (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

En el almacenamiento del frijol deben tomarse en cuenta factores como contenido de humedad, temperatura y tiempo de almacenamiento. Bajo condiciones favorables de almacenamiento, el frijol puede almacenarse por tiempo prolongado con una buena retención de la calidad. Generalmente, los problemas del almacenamiento prolongado del frijol se manifiestan como tiempo de cocción muy largos, pérdida del valor nutritivo y productos con sabor y color extraños. Se ha reportado que el frijol que contiene más del 13% de humedad se deteriora significativamente tanto en textura como en sabor luego de 6 meses de almacenamiento a temperatura ambiente, convirtiéndose en no comestibles luego de 12 meses. Sin embargo, el frijol con menos del 10% de humedad puede mantenerse en las mismas condiciones durante dos años, reteniendo su calidad. Uebersax y Bedford hallaron que se mantiene la calidad en frijol común almacenado a humedad relativa de 75% o menos, y a temperaturas de 20°C o menos. Varios estudios parecen coincidir en que a temperaturas de refrigeración se dan cambios en dureza mínimos (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

VI. Metodología

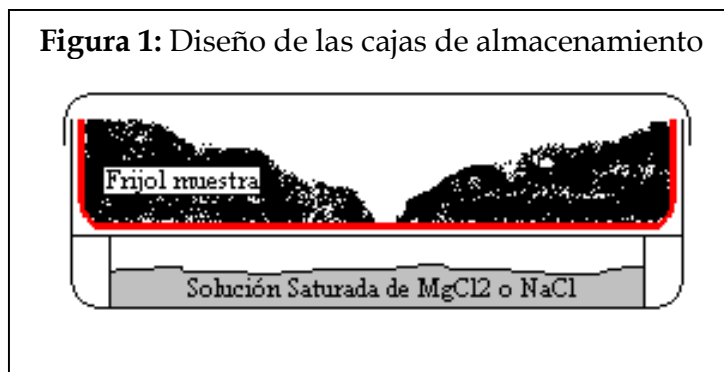
Para llevar a cabo el estudio, se obtuvo una cantidad suficiente de frijol negro común, *Phaseolus vulgaris*, de la variedad Altense recién cosechado, el cual se dejó secar al sol hasta que obtener un porcentaje de humedad menor al 13%. Usando tamices, se seleccionó el frijol de tamaño mediano con relación a la población, que luego se sumergió en una solución de sorbato de potasio en etanol para actuar como preservante, evitando el crecimiento de hongos y otros microorganismos. Parte del frijol se guardó dentro de una bolsa plástica herméticamente cerrada y a 4°C, como control.

El frijol se dividió en seis

Tabla 6: Condiciones de almacenamiento

	35% HR	76% HR
5°C	Caja 1	Caja 4
20°C	Caja 2	Caja 5
35°C	Caja 3	Caja 6

grupos, calculando la misma cantidad de frijol para cada grupo. Cada grupo se colocó dentro de una caja plástica que se guardó a las humedades y temperaturas definidas en la Tabla 6. El diseño de las cajas, que se muestra en la Figura 3, tomó en cuenta que, para llegar a una humedad relativa dada, fue necesario exponer al frijol a soluciones saturadas de dos sales distintas. Para tener una humedad relativa del 35% se utilizó solución saturada de $MgCl_2$, mientras que



para obtener una humedad relativa del 76% se utilizó solución saturada de $NaCl$. Se puso especial atención al hecho que el frijol no debía tener contacto

alguno con las soluciones, ya que la presencia de Na^+ y Mg^{+2} causaría alteraciones en los resultados.

Para cada condición de almacenamiento, se determinaron distintas propiedades y componentes del cotiledón al inicio del estudio y luego de transcurridos cuatro, ocho y trece meses de almacenamiento. Las características y componentes analizados, así como la metodología utilizada, se describen a continuación.

A. Propiedades del grano

1. Tamaño del grano. El tamaño del grano fue determinado a través de dos parámetros diferentes: peso promedio de grano y volumen promedio de grano. Para determinar el volumen promedio de los granos, se tomaron diez granos de frijol de la muestra, al azar, y se sumergieron en una probeta con agua, midiendo el desplazamiento de agua que éstos causaron. Se usaron tablas de referencia para determinar el tamaño del frijol según su peso y su volumen promedio.

2. Porcentaje de humedad del grano. Se obtuvo harina de frijol entero recién retirado de las condiciones de almacenamiento correspondiente, procesándolo en un molino de ciclón, el cual utiliza una corriente fuerte de aire para hacer chocar los frijoles contra una superficie áspera. Se asume que la pérdida de humedad por el proceso de molido es mínima, o en el peor de los casos, uniforme para todas las muestras. Se expone la harina de frijol entero a una temperatura de 110°C durante la noche. El porcentaje de peso perdido de la harina se reportó como porcentaje de humedad del grano.

3. Tiempo de cocción. El tiempo de cocción se determinó como el tiempo que tarda el frijol en tomar textura suave, sin sentirse granulada, dentro de agua hirviendo. Al momento que ocho de diez granos de frijol electos al azar se encuentren suaves, se toma el tiempo transcurrido y se reportó como el necesario para la cocción.

4. Porcentaje de absorción de agua. El porcentaje de absorción de agua del grano se determinó como el aumento de peso en granos de frijol que han sido sumergidos en agua destilada durante dieciocho horas.

B. Análisis de componentes.

Para el análisis de los componentes, debió prepararse una harina del cotiledón del frijol. Ésta se obtuvo remojando el frijol en el mínimo tiempo posible para poder retirar la cáscara, secando los cotiledones a 35°C durante una noche y moliendo el cotiledón con un molino de ciclón. Para la determinación del contenido de fitatos, el frijol no se sumergió en agua para remover la cáscara, sino que se utilizó una navaja pequeña para el mismo propósito.

1. Porcentaje de humedad de la harina. Se siguió el mismo procedimiento que para el porcentaje de humedad del grano, pero usando la harina de cotiledón en lugar del harina de grano completo (AOAC, 1984).

2. Carbohidratos

a. Fibra neutro-detergente (NDF). Para determinar la fibra neutro-detergente (NDF), se digirió una muestra de harina de cotiledón de frijol con la enzima α -amilasa durante toda una noche a 40°C, para eliminar el almidón. Luego, la muestra se expuso a reflujo de una hora en un digestor de fibra con una solución de lauril sulfato de sodio en medio neutro, sulfito de sodio y decalina. A continuación se filtró a través de crisoles de fondo poroso tarados. El residuo se lavó repetidamente con agua caliente y acetona, dejándose secar a 40°C toda la noche. Ya frío, se determinó el peso del residuo, el cual se reportó como el contenido de fibra neutro-detergente del cotiledón, en forma de porcentaje en peso seco. (McQueen and Nicholson, 1979; Van Soest and Wine, 1967).

b. Fibra ácido-detergente (ADF). La muestra de harina de frijol se reflujo durante una hora con solución de CTAB y decalina. Luego se filtró a través de crisoles de fondo poroso tarados. El residuo se lavó repetidamente con

agua caliente y con acetona, hasta quedar limpio. Se dejó secar toda la noche a 40°C, se dejó enfriar y se pesó. El residuo se reportó como porcentaje de fibra ácido detergente del cotiledón. El residuo se usa en la determinación de lignina (Van Soest, 1963; Van Soest and Wine, 1968).

c. Lignina. El residuo de fibra ácido-detergente obtenida en el inciso anterior se trató con una solución de permanganato y agua fría durante una hora y cuarenta minutos. Se permitió que la solución se filtrara y se trató el residuo con solución desmineralizadora para eliminar los restos de permanganato. Cuando el residuo estuvo blanco, se lavó repetidamente con etanol y acetona. Se secó el residuo durante toda la noche y, al enfriar, se determinó su peso. La pérdida de peso entre ambos residuos se reportó como porcentaje de contenido de lignina en peso seco. El residuo se utilizó para la determinación de celulosa (Van Soest and Wine, 1968).

d. Celulosa. El crisol con el residuo de lignina obtenido en el inciso anterior se incineró a 500°C durante tres horas, se enfrió en una desecadora y se pesó. La pérdida de peso se reportó como porcentaje de celulosa en base a peso seco y el residuo, como cenizas, en base a peso seco (Van Soest and Wine, 1968).

e. Almidón. La muestra de harina se gelatinizó dentro de una autoclave en tubos de ensayo para garantizar la digestión de todo el almidón. Luego, la muestra se trató con una solución de glucoamilasa a 55°C durante dos horas con agitación y temperatura controladas. El digerido se filtró, se aforó y le fue determinado el contenido de glucosa por medio de una reacción enzimática coloreada de oxidación de la glucosa. A partir de este resultado, se calculó el contenido de almidón en la muestra original (AOAC, 1984).

4. Proteínas. Para la determinación de proteína se utilizó el método de digestión y destilación de Kjendahl (AOAC, 1984)

5. Pectinas. Se lavó una muestra de harina de frijol con etanol por medio de disoluciones y centrifugaciones. El residuo se dispersó con agua destilada, se agitó vigorosamente y se centrifugó. El sobrenadante (Fracción A) se dejó reposar. Al residuo se le dispersó de la misma forma con oxalato de amonio al 0.75% dos veces, uniendo los sobrenadantes obtenidos en cada dispersión y dejándolos reposar (Fracción B). El residuo se lavó en NaOH y se filtró. El filtrado se dejó reposar (Fracción C).

A cada una de las fracciones se le determinó espectrofotométricamente la cantidad de ácido galacturónico por medio de una reacción con m-hidroxifenilo. Se calculó entonces la cantidad de pectinas solubles en cada una de las fracciones anteriores (A, B y C), interpretándose como pectinas solubles en agua, en oxalato de amonio y en NaOH (Vidal-Valverde, et al, 1992; Robertson, 1979).

6. Fitatos. Debido a que el ácido fítico no tiene un espectro de absorción característico y a que no hay reactivos específicos para identificar fitatos, su determinación ha sido un problema analítico por años. Se han usado métodos de precipitación para tal determinación, los cuales se han dividido en métodos "directos" e "indirectos" (Reyes-Moreno and Paredes-López, 1993).

A una muestra de harina de frijol se le añadió sulfato de sodio al 10% y HCl al 1.2% y se agitó durante dos horas para luego filtrarse. Se tomó una muestra del extracto como condición inicial. En una parte del filtrado se precipitó el contenido de fitatos por medio de una solución de cloruro férrico y calor. Se filtró y se usó una muestra del segundo filtrado como extracto final. Se determinó espectrofotométricamente la cantidad de fósforo en ambos extractos, tomando la diferencia como el fósforo asociado a los fitatos. Se determinó la cantidad de fitatos por medio la relación fitato:fósforo 6:1 (Thompson and Erdman, 1982; Bartlett, 1959).

VII. Resultados y discusión

Los resultados obtenidos para cada análisis en triplicado que se hizo, junto con su promedio y desviación estándar, se encuentran en el apéndice A. Sin embargo, las tablas 7, 8 y 9 muestran un resumen de estos resultados.

Para interpretar los resultados, fue necesario realizar un análisis de varianza (ANDEVA) de dos factores. Se hubiese podido emplear un ANDEVA de tres factores, tomando en cuenta los tres factores que se estaban manipulando (humedad relativa, temperatura y tiempo transcurrido) solamente si se hubiesen realizado triplicados verdaderos para cada tiempo de almacenamiento. Se decidió no hacerlo, ya que esto implicaba, como mínimo, tener seis cajas de muestra (seis diferentes condiciones de almacenamiento) por cada tiempo de almacenamiento (cuatro, ocho y trece meses). Esto significa dieciocho cajas de muestras de frijol. Un verdadero triplicado, de hecho, tendría tres cajas separadas por cada condición de almacenamiento para cada tiempo estudiado (es decir, tres cajas por seis condiciones de almacenamiento, por tres tiempos de almacenamiento a estudiar, o sea, 54 cajas). Esto simplemente era poco práctico, tomando en cuenta las condiciones y el espacio de trabajo, por lo que se decidió optar por análisis ANDEVA de dos factores. Los análisis estadísticos de ANDEVA para cada grupo de datos para cada se encuentran detalladamente en el apéndice B, ordenados por análisis realizados, así como un resumen en la Tabla 10.

Tabla 7: Promedio de los resultados obtenidos para los análisis de propiedades y componentes del cotiledón del frijol antes del almacenamiento y con cuatro meses de almacenamiento

Tiempo de almacenamiento	0 meses	4 meses					
Condiciones Prueba	Recién cosechado	HR 35% Temp. 5°C	HR 35% Temp. 20°C	HR 35% Temp. 35°C	HR 76% Temp. 5°C	HR 76% Temp. 20°C	HR 76% Temp. 35°C
Tiempo de cocción (min)	120 ± 0	120 ± 0	123 ± 6	127 ± 6	120 ± 0	127 ± 6	343 ± 6
Tamaño / Peso	0.222 ± 0.006 Grande	0.216 ± 0.012 Mediano	0.228 ± 0.001 Grande	0.223 ± 0.003 Grande	0.231 ± 0.010 Grande	0.226 ± 0.13 Grande	0.229 ± 0.002 Grande
Tamaño / Volumen	0.173 ± 0.006 Pequeño	0.176 ± 0.008 Pequeño	0.180 ± 0.000 Pequeño	0.180 ± 0.000 Pequeño	0.170 ± 0.017 Pequeño	0.183 ± 0.012 Pequeño	0.178 ± 0.004 Pequeño
% Humedad del frijol	13.04 ± 0.04	5.44 ± 1.34	6.99 ± 0.78	4.16 ± 0.32	6.85 ± 0.55	6.90 ± 0.55	6.90 ± 0.05
% Absorción de agua (peso)	133.5 ± 1.3	122.1 ± 0.6	126.6 ± 4.2	121.0 ± 5.0	111.9 ± 2.7	110.9 ± 0.5	104.2 ± 3.1
NDF ¹ (% peso seco)	37.4 ± 1.1	36.3 ± 2.7	35.9 ± 1.7	35.0 ± 0.4	34.4 ± 1.8	37.5 ± 1.0	35.5 ± 3.6
ADF ² (% peso seco)	5.00 ± 0.08	5.60 ± 0.47	4.65 ± 0.87	5.56 ± 1.50	8.24 ± 0.09	6.94 ± 0.69	7.74 ± 1.09
Hemicelulosa (% peso seco)	32.4 ± 1.1	30.7 ± 2.7	31.2 ± 2.0	29.4 ± 1.6	26.2 ± 1.8	30.5 ± 1.2	27.7 ± 3.8
Lignina (% peso seco)	1.9 ± 0.7	1.8 ± 0.6	1.4 ± 0.2	1.6 ± 0.8	4.1 ± 0.2	3.9 ± 0.6	4.5 ± 0.6
Celulosa (% peso seco)	1.5 ± 0.4	1.4 ± 0.2	2.0 ± 0.8	1.9 ± 0.1	2.3 ± 0.6	2.3 ± 0.4	2.3 ± 0.5
Proteína (% peso seco)	24.7 ± 0.4	24.0 ± 0.1	24.4 ± 0.5	23.2 ± 1.9	25.0 ± 1.3	22.8 ± 0.7	22.3 ± 0.2

¹ NDF: Fibra Neutro-Detergente, por sus siglas en inglés

² ADF: Fibra Ácido-Detergente, por sus siglas en inglés

Tabla 7: Promedio de los resultados obtenidos para los análisis de propiedades y componentes del cotiledón del frijol antes del almacenamiento y con cuatro meses de almacenamiento (continuación)

Tiempo de almacenamiento	0 meses	4 meses					
Condiciones Prueba	Recién cosechado	HR 35% Temp. 5°C	HR 35% Temp. 20°C	HR 35% Temp. 35°C	HR 76% Temp. 5°C	HR 76% Temp. 20°C	HR 76% Temp. 35°C
Almidón (% peso seco)	34.9 ± 2.8	36.1 ± 0.4	36.4 ± 1.2	36.2 ± 0.6	36.6 ± 1.2	34.7 ± 1.2	36.4 ± 1.2
Pectinas (ext. con agua)	0.056 ± 0.007	0.052 ± 0.002	0.053 ± 0.002	0.058 ± 0.005	0.067 ± 0.007	0.070 ± 0.005	0.079 ± 0.010
Pectinas (ext. con óxido de amonio)	0.131 ± 0.008	0.131 ± 0.005	0.142 ± 0.016	0.154 ± 0.018	0.138 ± 0.013	0.155 ± 0.017	0.171 ± 0.022
Pectinas (ext. con NaOH)	0.166 ± 0.002	0.167 ± 0.006	0.173 ± 0.009	0.170 ± 0.009	0.170 ± 0.009	0.179 ± 0.006	0.176 ± 0.009
Fitatos (% peso seco)	1.24 ± 0.02	1.24 ± 0.02	1.26 ± 0.03	1.24 ± 0.01	1.26 ± 0.01	1.24 ± 0.01	1.10 ± 0.01

Tabla 8: Promedio de los resultados obtenidos para los análisis de propiedades y componentes del cotiledón de frijol con ocho meses de almacenamiento

Tiempo de almacenamiento Condiciones Prueba	8 meses					
	HR 35% Temp. 5°C	HR 35% Temp. 20°C	HR 35% Temp. 35°C	HR 76% Temp. 5°C	HR 76% Temp. 20°C	HR 76% Temp. 35°C
Tiempo de cocción (min)	113 ± 6	113 ± 6	130 ± 0	110 ± 0	177 ± 6	690 ± 0
Tamaño / Peso	0.219 ± 0.007 Grande	0.224 ± 0.009 Grande	0.219 ± 0.006 Grande	0.237 ± 0.009 Grande	0.246 ± 0.013 Grande	0.224 ± 0.010 Grande
Tamaño / Volumen	0.167 ± 0.012 Pequeño	0.173 ± 0.012 Pequeño	0.177 ± 0.006 Pequeño	0.180 ± 0.000 Pequeño	0.190 ± 0.010 Pequeño	0.193 ± 0.031 Mediano
% Humedad del frijol	6.29 ± 0.31	6.97 ± 0.36	4.55 ± 0.39	6.61 ± 0.30	7.31 ± 0.18	6.87 ± 0.13
% Absorción de agua (peso)	122.3 ± 10.1	123.1 ± 3.3	124.6 ± 3.4	104.1 ± 0.5	108.9 ± 0.2	104.4 ± 0.8
NDF ³ (% peso seco)	36.0 ± 0.6	35.2 ± 0.5	36.4 ± 0.7	34.5 ± 1.6	37.8 ± 0.6	37.8 ± 0.4
ADF ⁴ (% peso seco)	6.23 ± 0.63	5.21 ± 0.51	5.93 ± 0.96	8.62 ± 0.46	7.78 ± 0.39	8.38 ± 0.68
Hemicelulosa (% peso seco)	29.8 ± 0.8	30.0 ± 0.7	30.4 ± 1.2	25.9 ± 1.7	30.0 ± 0.7	29.4 ± 0.8
Lignina (% peso seco)	1.6 ± 0.4	1.6 ± 0.1	1.9 ± 0.2	3.6 ± 0.3	4.4 ± 0.7	5.2 ± 0.4
Celulosa (% peso seco)	1.3 ± 0.2	1.8 ± 0.5	1.2 ± 0.2	2.2 ± 0.3	2.0 ± 0.9	2.4 ± 0.5
Proteína (% peso seco)	22.8 ± 0.4	22.6 ± 0.7	21.2 ± 0.7	22.9 ± 0.6	22.1 ± 1.2	21.9 ± 0.8

³ NDF: Fibra Neutro-Detergente, por sus siglas en inglés

⁴ ADF: Fibra Ácido-Detergente, por sus siglas en inglés

Tabla 8: Promedio de los resultados obtenidos para los análisis de propiedades y componentes del cotiledón de frijol con ocho meses de almacenamiento (continuación)

Tiempo de almacenamiento	8 meses					
Condiciones Prueba	HR 35% Temp. 5°C	HR 35% Temp. 20°C	HR 35% Temp. 35°C	HR 76% Temp. 5°C	HR 76% Temp. 20°C	HR 76% Temp. 35°C
Almidón (% peso seco)	36.1 ± 0.7	36.7 ± 0.8	36.7 ± 1.0	37.2 ± 0.4	36.5 ± 0.4	36.8 ± 0.8
Pectinas (ext. con agua)	0.062 ± 0.007	0.056 ± 0.005	0.059 ± 0.004	0.066 ± 0.006	0.065 ± 0.006	0.069 ± 0.005
Pectinas (ext. con óxido de amonio)	0.130 ± 0.010	0.133 ± 0.011	0.141 ± 0.010	0.140 ± 0.011	0.155 ± 0.010	0.165 ± 0.011
Pectinas (ext. con NaOH)	0.173 ± 0.006	0.172 ± 0.006	0.161 ± 0.004	0.175 ± 0.009	0.165 ± 0.012	0.179 ± 0.004
Fitatos (% peso seco)	1.24 ± 0.01	1.24 ± 0.01	1.25 ± 0.01	1.25 ± 0.01	1.10 ± 0.01	0.97 ± 0.01

Tabla 9: Promedio de los resultados obtenidos para los análisis de propiedades y componentes del cotiledón de frijol con trece meses de almacenamiento

Tiempo de almacenamiento Condiciones Prueba	13 meses					
	HR 35% Temp. 5°C	HR 35% Temp. 20°C	HR 35% Temp. 35°C	HR 76% Temp. 5°C	HR 76% Temp. 20°C	HR 76% Temp. 35°C
Tiempo de cocción (min)	123 ± 6	127 ± 6	127 ± 0	127 ± 6	367 ± 6	993 ± 6
Tamaño / Peso	0.219 ± 0.002 Grande	0.228 ± 0.004 Grande	0.224 ± 0.002 Grande	0.238 ± 0.004 Grande	0.242 ± 0.003 Grande	0.227 ± 0.002 Grande
Tamaño / Volumen	0.173 ± 0.006 Pequeño	0.177 ± 0.006 Pequeño	0.173 ± 0.006 Pequeño	0.183 ± 0.006 Pequeño	0.187 ± 0.006 Pequeño	0.197 ± 0.006 Mediano
% Humedad del frijol	6.49 ± 0.17	6.79 ± 0.12	4.69 ± 0.27	6.80 ± 0.15	7.11 ± 0.19	7.32 ± 0.25
% Absorción de agua (peso)	125.2 ± 5.1	124.6 ± 4.2	127.2 ± 1.8	104.4 ± 0.9	105.0 ± 0.1	105.7 ± 0.2
NDF ⁵ (% peso seco)	36.0 ± 0.1	36.2 ± 0.1	37.0 ± 0.2	35.1 ± 0.1	37.4 ± 1.0	38.0 ± 0.1
ADF ⁶ (% peso seco)	6.03 ± 0.09	5.44 ± 0.44	5.93 ± 0.20	8.75 ± 0.09	8.20 ± 0.26	8.64 ± 0.11
Hemicelulosa (% peso seco)	29.9 ± 0.1	30.7 ± 0.4	31.1 ± 0.3	26.3 ± 0.1	29.2 ± 1.0	29.3 ± 0.2
Lignina (% peso seco)	2.2 ± 0.4	2.1 ± 0.1	2.6 ± 0.2	7.4 ± 0.3	6.8 ± 0.4	7.9 ± 0.1
Celulosa (% peso seco)	2.2 ± 0.2	2.7 ± 0.3	2.9 ± 0.1	2.7 ± 0.1	2.8 ± 0.1	2.9 ± 0.1
Proteína (% peso seco)	24.8 ± 0.2	24.3 ± 0.4	24.7 ± 0.3	23.3 ± 0.5	22.9 ± 0.7	22.8 ± 0.3

⁵ NDF: Fibra Neutro-Detergente, por sus siglas en inglés

⁶ ADF: Fibra Ácido-Detergente, por sus siglas en inglés

Tabla 9: Promedio de los resultados obtenidos para los análisis de propiedades y componentes del cotiledón de frijol con trece meses de almacenamiento (continuación)

Tiempo de almacenamiento Condiciones Prueba	13 meses					
	HR 35% Temp. 5°C	HR 35% Temp. 20°C	HR 35% Temp. 35°C	HR 76% Temp. 5°C	HR 76% Temp. 20°C	HR 76% Temp. 35°C
Almidón (% peso seco)	36.4 ± 0.1	37.1 ± 0.5	36.4 ± 0.6	37.0 ± 0.5	37.0 ± 0.5	36.9 ± 0.4
Pectinas (ext. con agua)	0.067 ± 0.002	0.064 ± 0.001	0.068 ± 0.001	0.086 ± 0.002	0.084 ± 0.001	0.086 ± 0.003
Pectinas (ext. con óxido de amonio)	0.142 ± 0.004	0.145 ± 0.001	0.154 ± 0.004	0.184 ± 0.011	0.194 ± 0.006	0.213 ± 0.004
Pectinas (ext. con NaOH)	0.175 ± 0.010	0.181 ± 0.006	0.183 ± 0.008	0.185 ± 0.008	0.192 ± 0.004	0.190 ± 0.004
Fitatos (% peso seco)	1.24 ± 0.01	1.24 ± 0.02	1.23 ± 0.01	1.22 ± 0.03	0.94 ± 0.01	0.83 ± 0.01

Tabla 10: Resumen de los resultados del ANDEVA de dos factores para el contenido y/o las propiedades del frijol.
¿Influencian los factores y/o su interacción en los resultados obtenidos?⁷

Análisis	4 meses			8 meses			13 meses		
	Temp.	Hum.	Interacción	Temp.	Hum.	Interacción	Temp.	Hum.	Interacción
Tamaño/Peso					Sí		Sí	Sí	Sí
Tamaño/Volumen					Sí			Sí	
% Hum. frijol		Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
% Abs. agua	Sí	Sí			Sí			Sí	
T. cocc	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
NDF				Sí		Sí	Sí		Sí
ADF		Sí			Sí		Sí	Sí	
Hemicelulosa									
Lignina		Sí		Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	
Celulosa		Sí			Sí		Sí	Sí	Sí
Proteína								Sí	
Almidón									
Pectinas agua		Sí			Sí			Sí	
Pectinas oxalato	Sí			Sí	Sí		Sí	Sí	
Pectinas NaOH						Sí		Sí	
Fitatos	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

⁷ Solamente se indican los factores y las interacciones que sí influyen en los resultados obtenidos. Un espacio vacío indica que el factor o interacción correspondiente no afecta el resultado indicado.

Se realizó un análisis de correlación entre los resultados obtenidos para intentar determinar algún tipo de relación entre los distintos componentes y/o propiedades del frijol. Los resultados de este análisis se muestran en el apéndice C. En general, puede mencionarse que las relaciones más altas se encontraron entre fibra ácido detergente (NDF) y porcentaje de absorción de agua (-0.9368), pectinas solubles en agua y lignina (0.9286), y tiempo de cocción y fitatos (-0.9253).

El principal objetivo de este estudio fue encontrar los componentes del cotiledón del frijol que cambian durante el proceso de endurecimiento inducido por mal almacenamiento y que, por tanto, se asume están relacionados con él. Se escogió el cotiledón y no el frijol entero como muestra ya que la cáscara del frijol se afecta no solamente durante el endurecimiento por mal almacenamiento sino también en la condición conocida como “cáscara dura” (*hard shell*). En esta última, la cubierta sufre cambios que disminuyen su permeabilidad al agua, limitando su paso hacia el cotiledón. Es evidente que, contrario a la “cáscara dura” (*hard shell*), el endurecimiento por mal almacenamiento no se limita a afectar únicamente la cubierta, sino que debe ocurrir un proceso diferente y/o adicional en el cotiledón. Aunque el endurecimiento por mal almacenamiento posiblemente afecta la cáscara de alguna manera, se tomó la decisión de enfocarse únicamente en los cotiledones.

Tanto la literatura consultada como la experiencia de algunos agricultores locales indica que las condiciones propicias para el endurecimiento del frijol son humedad relativa y temperatura altas. Se decidió utilizar condiciones de almacenamiento de humedad relativa (HR) del 76% y 35°C de temperatura para inducir el proceso de endurecimiento, ya que son éstas las condiciones más comunes en las áreas locales donde se reportan los casos de endurecimiento. Por definición, se identifica y se mide el endurecimiento a través del tiempo de cocción del frijol. Cualquier muestra que tenga un tiempo de cocción evidentemente alto (> 300 min) se considera endurecido.

A. Tamaño del frijol

Como se puede observar en la Tabla No. 10, el tamaño del frijol, determinado tanto a través del peso como del volumen de los granos, cambió significativamente durante el tiempo de almacenamiento, al menos a las temperaturas mayores. Sin embargo, debe resaltarse que existe una diferencia en la influencia que cada factor de almacenamiento ejerce sobre las propiedades utilizadas para determinar el tamaño de grano. El volumen del grano se ve más influenciado por la acción de la humedad que por la temperatura y que por la interacción de ambos factores, mientras que el peso del grano se ve afectado tanto por ambos factores así como por la interacción entre ellos.

A partir de los cuatro meses de almacenamiento se evidencia que la acción de la humedad tiene más influencia tanto en el tamaño como en el volumen del grano. Esto podría explicarse con la absorción de agua por parte del cotiledón del frijol durante el almacenamiento. Al encontrarse expuesto a una humedad relativa más alta, resulta lógico pensar que el frijol absorberá más humedad durante el almacenamiento. Esto repercute en el tamaño del frijol, ya que la absorción del agua en el cotiledón haría que tanto el peso como el volumen del mismo vayan aumentando con el tiempo, aunque en diferente magnitud. Sin embargo, el peso del grano se ve más fuertemente influenciado por ambos factores y por su interacción que el volumen del mismo, al menos durante los primeros trece meses de almacenamiento. Es posible que simplemente los cambios de volumen sean menos observables o se vayan dando de manera más paulatina. Sería necesario realizar un estudio durante más tiempo para determinar si las diferencias en influencia de la humedad relativa sobre el peso y el volumen del grano se mantienen más allá de los trece meses de almacenamiento. Sin embargo, esto no sería muy práctico, ya que no se suele almacenar el grano de frijol por tanto tiempo.

A pesar de todo, según el estudio de correlación mostrado en el Apéndice C, ninguno de los dos parámetros para el tamaño de grano se ven relacionados de

forma clara con el tiempo de cocción, el indicador electo para el endurecimiento. De manera que, aunque hay una relación entre los cambios sufridos en peso y volumen del grano del frijol, aparentemente no hay ninguna relación entre estos cambios y la inducción del proceso de endurecimiento del frijol común.

B. Porcentaje de humedad del grano

Por los resultados obtenidos en el ANDEVA realizado, mostrados en la Tabla 10, el porcentaje de humedad del frijol se encuentra fuertemente influenciado por la humedad relativa a la que se encuentra expuesto. El proceso de cambio del porcentaje de humedad del grano parece ser más complicado que una simple difusión, ya que sin importar a qué porcentaje de humedad relativa fue expuesto el frijol, éste perdió humedad durante los primeros meses de almacenamiento. Aparentemente alcanza un equilibrio y su comportamiento posterior sí parece depender tanto de la humedad relativa como de la temperatura (y de la interacción entre ambas) de almacenamiento. Sería interesante estudiar detenidamente el proceso de porcentaje de humedad del grano bajo estas condiciones de almacenamiento con intervalos de análisis más cortos, especialmente durante los primeros cuatro meses, para identificar si efectivamente existe el punto de equilibrio que aquí suponemos. Siempre existe la posibilidad que la metodología electa para obtener la harina de frijol entero para determinar el porcentaje de humedad del grano no sea la adecuada y que la suposición hecha sobre que la pérdida de humedad en el proceso sea mínima y uniforme no sea, de hecho, cierta.

Como se había mencionado antes, es lógico pensar que, después de haberse alcanzado un equilibrio, el frijol absorbe más humedad al haber más de ella presente en el medio donde se encuentra almacenado el grano. Sin embargo, el porcentaje de humedad del grano también se encuentra influenciado por la interacción de la temperatura con la humedad. Es posible que la temperatura ayude a hacer el proceso de absorción más o menos dinámico, ya que bajo la

misma humedad relativa se dan fuertes diferencias de porcentaje de humedad del grano según la temperatura de almacenamiento.

Por otro lado, el análisis de correlación realizado indica poca relación del cambio de porcentaje de humedad del grano con los cambios en otros análisis, haciendo pensar que es un proceso que puede influir en el endurecimiento, pero que no se encuentra directamente relacionado con el mismo. Es posible que exista algún nivel crítico de porcentaje de humedad que, al sobrepasarse, dé lugar o favorezca al proceso de endurecimiento.

C. Porcentaje de absorción de agua

El porcentaje de absorción de agua del frijol muestra cambios que se encuentran relacionados casi exclusivamente con la humedad relativa en las condiciones de almacenamiento. No existe mayor diferencia en el porcentaje de absorción de agua entre una muestra y otra si se encuentran bajo la misma humedad relativa sin importar la temperatura. La disminución de la capacidad de absorber agua por el frijol puede explicarse con el simple hecho que, al estar expuestos a mayor humedad, el frijol ya tenga dentro de su estructura una buena parte del agua que tiene capacidad de absorber. Observándose de cerca la correlación que existe entre este parámetro y el tiempo de cocción (usado en la definición de endurecimiento), es evidente que no está relacionado con el proceso de endurecimiento, como se esperaría si se toma en cuenta que unas de las características del grano endurecido es la poca permeabilidad del cotiledón hacia el agua. Sin embargo, durante la determinación de la absorción del agua, se incluyó el agua que quedaba entre la cáscara y el cotiledón. Para mostrar una mejor y más real relación entre ambos factores, hubiese sido preferible que se midiera porcentaje de absorción de agua del cotiledón y no del grano entero.

D. Tiempo de cocción

Como ya se explicó anteriormente, la definición de endurecimiento relaciona la detección del problema directamente con el tiempo de cocción del frijol. En el frijol endurecido se necesita mucho más tiempo de exposición al calor para que el

cotiledón del mismo se suavice hasta llegar a la consistencia que lo caracteriza como cocido. Por esa razón resulta lógico que solamente el frijol que se encuentre expuesto a temperatura y humedad relativa altas presenten un aumento significativo en el tiempo de cocción, como se dio en el presente estudio. Se mostraron cambios significativos en el tiempo de cocción en el frijol almacenado a humedad relativa alta (76%) y a temperatura alta (35°C) desde los cuatro meses de almacenamiento, mostrando un aumento de casi tres veces su valor original. Hubiese sido interesante lograr determinar el punto exacto en el tiempo de almacenamiento donde se inició el proceso de endurecimiento, para lo cual hubiese sido necesario un muestreo mucho más frecuente. Este parece ser otro buen inicio para una próxima investigación en el mismo, ya que podrían descubrirse aspectos importantes sobre los posibles factores que disparan el proceso por mal almacenamiento.

Además, el frijol que se encontraba a 76% de humedad relativa y 20°C empezó a mostrar una elevación significativa a los ocho meses, la cual se acentuó para los trece meses de almacenamiento. Como era de esperarse, los valores de tiempos de cocción para el frijol almacenado a baja humedad relativa (35%) y bajas temperaturas (5°C) no mostraron cambios singificativos. No se observó endurecimiento en ninguna muestra que se encontrara a niveles de humedad bajo, por alta que estuviese la temperatura. Eso puede significar que el porcentaje de humedad relativa puede jugar un papel clave dentro del proceso, incluso mayor que la temperatura misma. Como se demuestra en la falta de endurecimiento de la muestra a HR de 76% y temperatura de 5°C, parece ser necesario también tener alta temperatura para que se lleve a cabo el proceso de endurecimiento.

Los resultados obtenidos para el análisis estadístico realizado (Apéndice B) tienen dos implicaciones importantes. Primero, que la variación en el tiempo de cocción de una muestra de frijol almacenada a condiciones constantes guarda una relación cercana a los valores de humedad relativa y temperatura a la cual se

encuentra expuesto. Segundo, se confirma que el proceso de endurecimiento se da durante el almacenamiento del grano de frijol a humedad relativa y temperatura altas, condiciones consideradas en este estudio como inadecuadas.

La correlación que se muestra en el Apéndice C indica que el tiempo de cocción se encuentra íntimamente relacionado con el contenido de fitatos en el cotiledón, lo que da motivo a pensar que los fitatos se encuentran directamente involucrados dentro del proceso de endurecimiento.

E. Componentes de la fibra

Se consideran componentes de la fibra a la fibra neutro-detergente, a la fibra ácido-detergente, a la hemicelulosa, a la lignina y a la celulosa. De todos estos componentes, la hemicelulosa es la que menos cambios sufre por temperatura y humedad. El análisis estadístico muestra que no hay cambios significativos en el contenido de hemicelulosa en el cotiledón durante el almacenamiento.

El contenido de fibra neutra muestra un cambio significativo relacionado con la interacción de los dos factores estudiados. Sin embargo, es necesario ver qué componente de la fibra neutro-detergente es la que se encuentra sufriendo los cambios. Habiendo descartado la hemicelulosa, se espera que alguno de los componentes de la fibra ácido detergente sea la que muestre estos cambios. Sin embargo, ni la fibra ácida misma ni sus componentes (lignina y celulosa) muestran cambios significativos por interacción de ambos factores considerados, a excepción de la celulosa. Esta última muestra cambios relacionados con humedad y temperatura, pero no son tan fuertes como los de los factores claramente vinculados (compárese las F obtenidas para tiempo de cocción con las obtenidas para celulosa). Esto indica que la celulosa tiene cambios atribuibles a cambios en humedad relativa y en temperatura. No puede descartarse, sin embargo, que exista algún componente de la fibra ácido-detergente que esté experimentando cambios relacionados con ambos factores considerados, pero que sean tan pequeños que no sean detectables a los métodos utilizados en este estudio.

Se esperaba que, como se encontró en la literatura, se notaran cambios en el contenido de lignina en el cotiledón. Puede observarse que la lignina sí sufrió cambios atribuibles a la humedad relativa y a la temperatura a la que fue expuesta el grano, pero no puede atribuirse estadísticamente a la interacción de ambos factores. Es más, no puede decirse que se encuentra relación directa con el endurecimiento, debido a que el factor de correlación hallado fue apenas de 0.6714, lo cual no es suficiente para designar una relación. Sin embargo, se encontró que había una relación directa fuerte entre el contenido de lignina y el contenido de pectinas solubles en agua.

F. Proteína y almidón

Ni el contenido de proteína ni el contenido de almidón muestran cambios significativos bajo las condiciones en que se encontraron los granos del frijol. Tampoco se encontró correlación alguna que pueda considerarse como indicadora de una relación entre alguno de esos componentes con el proceso de endurecimiento. Esto descarta la participación de estos dos componentes dentro del proceso general de endurecimiento.

G. Pectinas

Ninguno de los tipos de pectinas muestra cambios que se encuentren relacionados con los cambios en humedad relativa y temperatura en las condiciones de almacenamiento. Los cambios más claros se ven asociados con cambios de humedad relativa, pero no con temperatura ni con la interacción entre ambos factores. Esto podría descartar la participación de las pectinas dentro del proceso de endurecimiento, a pesar que se encontró una relación en el estudio de correlación entre pectinas y tiempo de cocción.

H. Fitatos

El contenido de fitatos es el único componente que muestra cambios con una relación clara con la interacción de humedad relativa y temperatura de almacenamiento y, a la vez, con el tiempo de cocción del frijol. Esto lleva pensar que es el único de los componentes estudiados que se encuentra directamente

involucrado en el proceso de endurecimiento. Es evidente que a medida que se va endureciendo el frijol (aumentando su tiempo de cocción), el contenido de fitatos va disminuyendo, lo cual queda estadísticamente comprobado por el alto coeficiente de correlación que existe entre el contenido de fitatos en el cotiledón del frijol y el tiempo de cocción del mismo.

Por accidente se descubrió que el contacto del grano de frijol con una sal de magnesio causaba su endurecimiento en relativamente poco tiempo. Una de las muestras a porcentaje de humedad bajo (35%), lo cual se lograba en un medio expuesto a una solución saturada de $MgCl_2$, accidentalmente entró en contacto directo con la solución de la sal (Ver Figura 1). (En otras muestras se tuvo especial cuidado en evitar el contacto directo de la muestra de frijol con la solución saturada para crear el ambiente de 35% o 76% de humedad relativa). Debido a que los fitatos, compuestos derivados del ácido mioinositol hexafosfórico, tienen una alta capacidad de quelar los iones de Mg^{+2} , así como otros cationes, es posible que su forma quelada sea la que afecte de mayor manera el proceso de endurecimiento. Sería de mucho interés científico realizar un estudio en el que se evalúe el tratamiento del frijol endurecido, o previo al endurecimiento, con fitasas, a manera de evitar la quelación con cationes. Aunque no parece una solución viable, especialmente por el costo económico que implicaría el pretratamiento de toda una cosecha con una enzima, sí sería un buen punto de inicio para estudiar el papel que los fitatos juegan dentro del proceso de endurecimiento.

VIII. Conclusiones

1. El contenido de los componentes del cotiledón del frijol se ve afectado de la siguiente manera durante el almacenamiento a alta humedad relativa y temperatura alta:
 - a. el tamaño del grano de frijol aumenta según su peso y su volumen.
 - b. la capacidad de absorción de agua se ve disminuida.
 - c. hay un aumento marcado en el tiempo de cocción.
 - d. hay un aumento en el contenido de fibra neutro-detergente.
 - e. no hay cambios en el contenido de fibra ácido-detergente.
 - f. no hay cambios en el contenido de lignina.
 - g. hay un aumento en el contenido de celulosa.
 - h. no hay cambios en el contenido de proteína.
 - i. no hay cambios en el contenido de almidón.
 - j. no hay cambios en el contenido de pectinas.
 - k. hay una disminución en el contenido de fitatos.
2. Existe una correlación entre el tiempo de cocción del frijol y el contenido de fitatos durante el proceso de endurecimiento por mal almacenamiento.

IX. Recomendaciones

Como resultado de esta investigación, es posible hacer las siguientes recomendaciones para futuros estudios:

1. Revisar el diseño del ambiente a condiciones controladas de las muestras de frijol que se utilice, ya que el contacto accidental de algunas muestras de frijol con las sales usadas en el diseño utilizado en este estudio provocaron un endurecimiento de tales muestras ajeno al proceso objeto del estudio.
2. Estudiar, en especial, los procesos que son posibles disparadores del fenómeno de endurecimiento por mal almacenamiento. Un buen inicio para este punto es estudiar de cerca los cuatro primeros meses de muestras de frijol Altense (variedad usada en este estudio) a intervalos frecuentes para divisar los cambios justo al inicio del proceso.
3. Si se estudia el porcentaje de humedad del grano, poner especial atención a la metodología a usarse para eliminar la posibilidad de pérdida de humedad durante el procedimiento.
4. Si se estudia el porcentaje de absorción de agua, diferenciar entre el agua que deja pasar la cubierta del frijol y la que el cotiledón permite entrar dentro de su estructura. Es esta última la que puede estar relacionada directamente con el proceso de endurecimiento por mal almacenamiento.
5. Evaluar el efecto de la fitasa (enzima que hidroliza a los fitatos) en frijol endurecido y antes de endurecerse.

6. Realizar un estudio similar sobre los cambios ocurridos en la cáscara para poder diferenciar claramente entre el fenómeno de cáscara dura (*hard shell*) y el endurecimiento por mal almacenamiento.

X. Bibliografía

AOAC, 1984.

Aguilera, J. M and Stanley, D. W. 1985. "A Review of Textural Defects in Cooked Reconstituted Legumes--The Influence of Storage and Processing." *Journal of Food Processing and Preservation*. 9 (1985) pág. 145-169

Bartlett, G. R. 1959 "Phosphorus Assay in Column Chromatography". *Journal of Biological Chemistry*. 234 (1959). pág. 466-468

Elías, L. G. y García-Soto, A., Bressani, R. 1983. *Métodos para establecer la calidad tecnológica y nutricional del frijol*. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, INCAP. 41 pág.

de León, L. F., Bressani, R. y Elías, L. 1989. "Efecto de la Cáscara sobre el Mecanismo de Endurecimiento del Frijol Común (*Phaseolus vulgaris*)."
Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Vol. 39. 3 (1989) pág. 405-418

McQueen, R. E. and Nicholson, J. W. 1979. "Modification of the Neutral-Detergent Fiber Procedure for Cereals and Vegetables by Using α -Amylase" *Journal of the AOAC*. 62(3). pág 676-680.

Reyes-Moreno, C. and Paredes-López, O. 1993. "Hard-to-Cook Phenomenon in Common Beans--A Review". *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 33(1993) pág. 227-286

Robertson, G. L. 1979. "The Fractional Extraction and Quantitative Determination of Pectic Substances in Grapes and Musts." *Am. J. Enol. Vitic.* 30(1979) pág. 182-186.

Stacey, B. E. in H. B. Pridham, Ed. 1974. *Plant Carbohydrate Biochemistry*. Academic Press, N. Y., pág. 27-40

Stanley, D. W. and Aguilera, J. M. 1985. "A Review of Textural Defects in Cooked Reconstituted Legumes--The Influence of Structure and Composition." *Journal of Food Biochem.* 9 (1985) pág. 277-323

Thompson, D. B. and Erdman, J. W. Jr. 1982. "Phytic Acid Determination in Soybeans" *Journal of Food Science*. 47 (1982) pág. 513-517

- Van Soest, P. J. 1963. "Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. II. A Rapid Method for the Determination of Fiber and Lignin". *Journal of the AOAC*. 46(5) pág. 829-835
- Van Soest, P. J and Wine, R. H. 1967. "Use of Detergents in the Analysis of Fibrous Feeds. IV. Determination of Plant Cell-Wall Constitutents". *Journal of the AOAC*. 50 (1) pág. 50-55
- Van Soest, P. J and Wine, R. H. 1968. "Determination of Lignin and Cellulose in Acid-Detergent Fiber with Permanganate". *Journal of the AOAC*. 51 (4) pág. 780-785
- Vidal-Valverde, C., and Frías, J., Esteban, R. 1992. "Dietary Fiber in Processed Lentils" *Journal of Food Science*. 57 (1992) pág. 1161-1163

XI. Apéndices

Apéndice A

Resultados obtenidos para los análisis realizados

(Datos Brutos)

Tabla A1: Datos brutos de componentes obtenidos para frijol común, variedad Altense, a los 0 y 4 meses de almacenamiento

Tiempo: 0 meses		Tiempo: 4 meses						
Prueba		Prueba	MgCl₂ 5°C	MgCl₂ 20°C	MgCl₂ 35°C	NaCl 5°C	NaCl 20°C	NaCl 35°C
Tamaño/ peso	0.2182	Tamaño/ peso	0.2041	0.2285	0.2260	0.2289	0.2277	0.2265
(gramos/grano)	0.2193	(gramos/grano)	0.2159	0.2273	0.2233	0.2219	0.2125	0.2290
Promedio	0.2292	Promedio	0.2283	0.2298	0.2195	0.2414	0.2392	0.2310
Desviación	0.2222	Desviación	0.2161	0.2285	0.2229	0.2307	0.2265	0.2288
	0.0061		0.0121	0.0013	0.0033	0.0099	0.0134	0.0023
	grande		mediano	grande	grande	grande	grande	grande
Tamaño/ volumen	0.180	Tamaño/ volumen	0.167	0.180	0.180	0.160	0.190	0.180
(mL/grano)	0.170	(mL/grano)	0.180	0.180	0.180	0.160	0.170	0.173
Promedio	0.170	Promedio	0.180	0.180	0.180	0.190	0.190	0.180
Desviación	0.173	Desviación	0.176	0.180	0.180	0.170	0.183	0.178
	0.006		0.008	0.000	0.000	0.017	0.012	0.004
	pequeño		pequeño	pequeño	pequeño	pequeño	pequeño	pequeño
% Humedad frijol	13.0885	% Humedad frijol	3.9071	6.4411	4.3673	6.4962	6.8536	6.9548
	13.0309		6.0110	7.5439	4.3165	7.4928	6.3731	6.8545
	13.0181		6.4057		3.7920	6.5725	7.4743	6.8906
Promedio	13.0458	Promedio	5.4413	6.9925	4.1586	6.8538	6.9003	6.9000
Desviación	0.0375	Desviación	1.3432	0.7798	0.3185	0.5547	0.5521	0.0508
% Absorción agua	132.60	% Absorción agua	121.7613	129.4997	118.3553	110.2173	111.1305	103.1258
	135.05		122.7181	123.6177	117.8834	110.5631	111.1253	101.8075
	132.90		121.7263		126.7644	115.0406	110.3284	107.6908
Promedio	133.52	Promedio	122.0686	126.5587	121.0010	111.9403	110.8614	104.2081
Desviación	1.34	Desviación	0.5628	4.1592	4.9968	2.6905	0.4616	3.0874
Tiempo de cocción	120	Tiempo de cocción	120	120	130	120	120	350
(minutos)	120	(minutos)	120	120	120	120	130	340
	120		120	130	130	120	130	340
	120		120	123	127	120	127	343
	120		120	6	6	0	6	6
Promedio	120							
Desviación	0							
% Humedad harina	8.1987	% Humedad harina	11.1934	11.8744	7.1776	11.5892	12.2078	11.2549
	8.1232		11.4245	12.0775	7.0055	11.7138	12.3099	11.2489
	8.0646		11.5061		6.955	11.8397	12.3768	11.9452
Promedio	8.1288	Promedio	11.3747	11.9760	7.0460	11.7142	12.2982	11.4830
Desviación	0.0672	Desviación	0.1622	0.1436	0.1167	0.1253	0.0851	0.4003
NDF (% peso seco)	38.2001	NDF (% peso seco)	35.0691	35.1825	34.4987	32.5499	38.4687	32.6498
	37.7258		39.3983	34.6289	35.2818	36.2498	37.4985	39.5482
	36.1637		34.4516	37.8948	35.1687	34.4987	36.498	34.259
Promedio	37.3632	Promedio	36.3063	35.9021	34.9831	34.4328	37.4884	35.4857
Desviación	1.0655	Desviación	2.6955	1.7478	0.4233	1.8508	0.9854	3.6091
ADF (% peso seco)	5.0506	ADF (% peso seco)	5.215	4.1265	3.8334	8.2440	7.1688	6.4978
	4.9026		5.4659	5.6465	6.4421	8.3268	6.1649	8.1684
	5.0516		6.1259	4.1684	6.4106	8.1465	7.4969	8.5497
Promedio	5.0016	Promedio	5.6023	4.6471	5.5620	8.2391	6.9435	7.7386
Desviación	0.0857	Desviación	0.4705	0.8657	1.4971	0.0902	0.6940	1.0914
Hemicelulosa (% peso seco)	32.3616	Hemicelulosa (% peso seco)	30.7041	31.2549	29.4211	26.1937	30.5449	27.747
	1.0690		2.7362	1.9505	1.5558	1.853	1.2052	3.7705

Tabla A1: Datos brutos de componentes obtenidos para frijol común, variedad Altense, a los 0 y 4 meses de almacenamiento (continuación)

Tiempo: 0 meses		Tiempo: 4 meses					
Prueba		MgCl ₂ 5°C	MgCl ₂ 20°C	MgCl ₂ 35°C	NaCl 5°C	NaCl 20°C	NaCl 35°C
Lignina	1.194	2.4548	1.2549	0.7275	4.2548	3.2158	4.2549
(% peso seco)	1.9572	1.2548	1.3654	2.2378	4.1687	3.9457	4.1635
	2.5278	1.6958	1.5894	1.8080	3.9083	4.5118	5.1687
Promedio	1.8930	1.8018	1.4032	1.5911	4.1106	3.8911	4.5290
Desviación	0.6692	0.6070	0.1704	0.7781	0.1804	0.6497	0.5558
Celulosa	2.018	1.2416	2.9548	1.9498	2.9875	2.8155	1.9987
(% peso seco)	1.2513	1.6488	1.2550	1.7550	2.0201	2.3155	2.0069
	1.3547	1.2649	1.9455	1.9820	1.9655	2.0009	2.9514
Promedio	1.5413	1.3851	2.0518	1.8956	2.3244	2.3773	2.3190
Desviación	0.4160	0.2287	0.8549	0.1228	0.5749	0.4108	0.5477
Proteína	24.67	24.15	24.36	21.02	26.47	22.03	22.06
(% peso seco)	25.14	23.95	24.97	24.15	24.55	23.45	22.45
	24.33	24.02	23.99	24.37	24.06	22.96	22.49
Promedio	24.7133	24.04	24.44	23.18	25.03	22.81	22.33
Desviación	0.4067	0.10	0.49	1.87	1.27	0.72	0.24
Almidón	37.8011	36.4823	36.3746	36.2953	37.4127	33.3288	36.1147
(% peso seco)	34.781	35.7641	37.6036	36.7853	35.2357	35.4433	37.7948
	32.1447	36.0312	35.2737	35.5660	37.1378	35.4092	35.4229
Promedio	34.9089	36.0925	36.4173	36.2155	36.5954	34.7271	36.4441
Desviación	2.8304	0.3630	1.1655	0.6136	1.1855	1.2111	1.2198
Pectinas	0.05215	0.0512	0.0525	0.0517	0.0615	0.0650	0.0847
(agua)	0.06412	0.0515	0.0514	0.0620	0.0752	0.0717	0.0847
(% peso seco)	0.051457	0.0542	0.0550	0.0599	0.0650	0.0742	0.0669
Promedio	0.0559	0.0523	0.0530	0.0579	0.0672	0.0703	0.0788
Desviación	0.0071	0.0017	0.0018	0.0054	0.0071	0.0048	0.0103
Pectinas	0.121549	0.1298	0.1550	0.1658	0.1532	0.1355	0.1955
(ox. amonio)	0.135855	0.1358	0.1465	0.1632	0.1322	0.1598	0.1622
(% peso seco)	0.134599	0.1268	0.1250	0.1325	0.1285	0.1688	0.1550
Promedio	0.1307	0.1308	0.1422	0.1538	0.1380	0.1547	0.1709
Desviación	0.0079	0.0046	0.0155	0.0185	0.0133	0.0172	0.0216
Pectinas	0.168795	0.1648	0.1768	0.1765	0.1625	0.1735	0.1865
(NaOH)	0.165498	0.1622	0.1795	0.1747	0.1688	0.1795	0.1687
(% peso seco)	0.164978	0.1746	0.1635	0.1598	0.1797	0.1847	0.1732
Promedio	0.1664	0.1672	0.1733	0.1703	0.1703	0.1792	0.1761
Desviación	0.0021	0.0065	0.0086	0.0092	0.0087	0.0056	0.0093
Fitatos	1.2549	1.2195	1.2459	1.2465	1.2565	1.2417	1.1022
(% peso seco)	1.2495	1.2495	1.2954	1.2350	1.2462	1.2220	1.1019
	1.2232	1.2645	1.2348	1.2247	1.2650	1.2470	1.1110
Promedio	1.2425	1.2445	1.2587	1.2354	1.2559	1.2369	1.1050
Desviación	0.0170	0.0229	0.0323	0.0109	0.0094	0.0132	0.0052

Tabla A2: Datos brutos de componentes obtenidos para frijol común, variedad Altense, a los 8 meses de almacenamiento

Tiempo: 8 meses

Prueba	MgCl2 5°C	MgCl2 20°C	MgCl2 35°C	NaCl 5°C	NaCl 20°C	NaCl 35°C
Tamaño/	0.2136	0.2308	0.2204	0.2372	0.2600	0.2172
peso	0.2164	0.2268	0.2236	0.2272	0.2428	0.2348
(gramos/grano)	0.2268	0.2144	0.2120	0.2460	0.2336	0.2188
Promedio	0.2189	0.2240	0.2187	0.2368	0.2455	0.2236
Desviación	0.0070	0.0086	0.0060	0.0094	0.0134	0.0097
	grande	grande	grande	grande	grande	grande
Tamaño/	0.160	0.180	0.170	0.180	0.200	0.160
volumen	0.160	0.180	0.180	0.180	0.190	0.200
(mL/grano)	0.180	0.160	0.180	0.180	0.180	0.220
Promedio	0.1667	0.1733	0.1767	0.1800	0.1900	0.1933
Desviación	0.0115	0.0115	0.0058	0.0000	0.0100	0.0306
	pequeño	pequeño	pequeño	pequeño	pequeño	mediano
% Humedad	6.3241	7.3241	4.3277	6.3241	7.1054	6.8777
frijol	6.5740	6.5982	5.0070	6.5732	7.4382	6.7442
	5.9632	6.9746	4.3214	6.9273	7.3855	7.0020
Promedio	6.2871	6.9656	4.5520	6.6082	7.3097	6.8746
Desviación	0.3071	0.3630	0.3940	0.3031	0.1789	0.1289
% Absorción	122.40	126.26	128.52	104.16	108.97	103.66
agua	132.35	123.30	122.85	104.53	108.70	104.32
	112.24	119.64	122.33	103.48	109.06	105.34
Promedio	122.33	123.07	124.57	104.06	108.91	104.44
Desviación	10.06	3.32	3.43	0.53	0.19	0.85
Tiempo de	110	110	130	110	170	690
cocción	110	110	130	110	180	690
(minutos)	120	120	130	110	180	690
Promedio	113	113	130	110	177	690
Desviación	6	6	0	0	6	0
% Humedad	10.3570	10.0834	12.3500	8.8940	11.3036	10.6577
harina	10.6754	11.3105	11.9838	7.8962	10.2660	10.8059
	10.8247	11.2769	11.9466	8.6452	10.0872	9.8984
Promedio	10.6190	10.8903	12.0935	8.4785	10.5523	10.4540
Desviación	0.2389	0.6990	0.2229	0.5194	0.6568	0.4868
NDF	36.4762	34.7683	36.8497	34.5077	37.9570	37.2662
(% peso seco)	35.3632	35.7290	35.5318	32.9009	37.1045	38.1320
	36.2454	35.1643	36.7097	36.0888	38.2457	37.8685
Promedio	36.0283	35.2205	36.3637	34.4991	37.7691	37.7556
Desviación	0.5874	0.4828	0.7239	1.5940	0.5934	0.4438
ADF	6.7224	5.5372	6.6842	8.4460	8.0973	8.6750
(% peso seco)	5.5269	5.4796	4.8531	8.2792	7.3451	7.6014
	6.4547	4.6194	6.2466	9.1417	7.8982	8.8558
Promedio	6.2347	5.2121	5.9280	8.6223	7.7802	8.3774
Desviación	0.6274	0.5141	0.9562	0.4575	0.3897	0.6781
Hemicelulosa	29.7936	30.0085	30.4358	25.8768	29.9889	29.3782
(% peso seco)	0.8595	0.7052	1.1993	1.6583	0.7099	0.8104
Lignina	1.1716	1.6738	2.1085	3.9147	4.4977	5.3214
(% peso seco)	1.8835	1.6131	1.9097	3.4718	4.9734	4.7019
	1.7935	1.5440	1.7738	3.3927	3.6691	5.5139
Promedio	1.6162	1.6103	1.9307	3.5931	4.3801	5.1791
Desviación	0.3877	0.0649	0.1683	0.2813	0.6601	0.4243

Tabla A2: Datos brutos de componentes obtenidos para frijol común, variedad Altense, a los 8 meses de almacenamiento (continuación)

Tiempo: 8 meses

Prueba	MgCl2 5°C	MgCl2 20°C	MgCl2 35°C	NaCl 5°C	NaCl 20°C	NaCl 35°C
Celulosa	1.1089	1.2797	1.4880	2.4405	2.1965	2.6953
(% peso seco)	1.2477	2.2109	1.1040	2.4550	1.0796	1.8135
	1.5696	1.8862	1.1107	1.8450	2.8422	2.7308
Promedio	1.3087	1.7923	1.2342	2.2468	2.0394	2.4132
Desviación	0.2363	0.4727	0.2198	0.3481	0.8917	0.5197
Proteína	23.01	22.06	21.15	22.82	20.90	21.06
(% peso seco)	22.37	22.32	22.36	23.55	23.32	22.72
	23.06	23.40	22.27	22.46	22.08	22.02
Promedio	22.81	22.59	21.93	22.94	22.10	21.93
Desviación	0.38	0.71	0.67	0.56	1.21	0.83
Almidón	36.6310	37.6046	35.6316	37.3608	36.0687	37.7356
(% peso seco)	35.3192	36.0344	36.8226	37.4549	36.9714	36.1005
	36.3064	36.5864	37.6827	36.7727	36.4146	36.6363
Promedio	36.0855	36.7418	36.7123	37.1961	36.4849	36.8241
Desviación	0.6832	0.7966	1.0300	0.3697	0.4554	0.8336
Pectinas	0.0594	0.0589	0.0583	0.0687	0.0648	0.0633
(agua)	0.0562	0.0506	0.0640	0.0689	0.0745	0.0736
(% peso seco)	0.0692	0.0589	0.0557	0.0590	0.0662	0.0712
Promedio	0.0616	0.0561	0.0593	0.0655	0.0685	0.0694
Desviación	0.0068	0.0048	0.0042	0.0057	0.0052	0.0054
Pectinas	0.1255	0.1224	0.1299	0.1395	0.1458	0.1691
(ox. amonio)	0.1225	0.1329	0.1455	0.1295	0.1535	0.1518
(% peso seco)	0.1407	0.1447	0.1476	0.1518	0.1669	0.1737
Promedio	0.1296	0.1333	0.1410	0.1403	0.1554	0.1649
Desviación	0.0098	0.0112	0.0097	0.0112	0.0107	0.0115
Pectinas	0.1718	0.1787	0.1565	0.1772	0.1503	0.1831
(NaOH)	0.1797	0.1687	0.1627	0.1835	0.1732	0.1741
(% peso seco)	0.1685	0.1689	0.1642	0.1659	0.1703	0.1797
Promedio	0.1733	0.1721	0.1611	0.1755	0.1646	0.1790
Desviación	0.0058	0.0057	0.0041	0.0089	0.0125	0.0045
Fitatos	1.2320	1.2458	1.2435	1.2650	1.1032	0.9520
(% peso seco)	1.2495	1.2395	1.2598	1.2370	1.0918	0.9665
	1.2417	1.2365	1.2520	1.2466	1.1005	0.9843
Promedio	1.2411	1.2406	1.2518	1.2495	1.0985	0.9676
Desviación	0.0088	0.0047	0.0082	0.0142	0.0060	0.0162

Tabla A3: Datos brutos de componentes obtenidos para frijol común, variedad Altense, a los 13 meses de almacenamiento

Tiempo: 13 meses

Prueba	MgCl2 5°C	MgCl2 20°C	MgCl2 35°C	NaCl 5°C	NaCl 20°C	NaCl 35°C
Tamaño/	0.2192	0.2253	0.2233	0.2338	0.2389	0.2251
peso	0.2159	0.2260	0.2255	0.2389	0.2410	0.2255
(gramos/grano)	0.2206	0.2317	0.2220	0.2406	0.2454	0.2296
Promedio	0.2186	0.2277	0.2236	0.2378	0.2418	0.2267
Desviación	0.0024	0.0035	0.0018	0.0035	0.0033	0.0025
	grande	grande	grande	grande	grande	grande
Tamaño/	0.170	0.180	0.170	0.180	0.190	0.200
volumen	0.180	0.180	0.170	0.180	0.190	0.190
(mL/grano)	0.170	0.170	0.180	0.190	0.180	0.200
Promedio	0.173	0.177	0.173	0.183	0.187	0.197
Desviación	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
	pequeño	pequeño	pequeño	pequeño	pequeño	mediano
% Humedad	6.3567	6.7515	4.9783	6.7351	7.0450	7.0382
frijol	6.4373	6.6997	4.6312	6.6972	7.3243	7.4434
	6.6782	6.9345	4.4509	6.9703	6.9609	7.5051
Promedio	6.4907	6.7952	4.6868	6.8009	7.1101	7.3289
Desviación	0.1673	0.1234	0.2681	0.1480	0.1902	0.2536
% Absorción	120.15	121.13	125.43	104.64	104.31	105.67
agua	130.24	123.45	127.16	105.12	105.73	105.93
	125.32	129.30	129.03	103.35	104.97	105.56
Promedio	125.24	124.63	127.21	104.37	105.00	105.72
Desviación	5.05	4.21	1.80	0.92	0.71	0.19
Tiempo de	120	120	130	130	360	890
cocción	120	130	120	120	370	900
(minutos)	130	130	130	130	370	890
Promedio	123	127	127	127	367	893
Desviación	6	6	6	6	6	6
% Humedad	11.5495	10.2684	11.0546	12.3579	8.3154	9.2648
harina	10.6549	9.9842	10.9654	11.9615	9.2573	9.6485
	11.0351	10.2348	10.8364	12.0364	9.6254	9.9879
Promedio	11.0798	10.1625	10.9521	12.1186	9.0660	9.6337
Desviación	0.4490	0.1553	0.1097	0.2106	0.6756	0.3618
NDF	35.9783	36.0592	36.8744	34.9745	37.8545	38.1413
(% peso seco)	36.0743	36.1784	37.2982	35.0406	36.2341	37.9496
	35.8756	36.293	36.9743	35.1723	37.9787	37.8547
Promedio	35.9761	36.1769	37.0490	35.0625	37.3558	37.9819
Desviación	0.0994	0.1169	0.2215	0.1007	0.9734	0.1460
ADF	5.9435	5.9383	5.7164	8.8323	7.9311	8.5432
(% peso seco)	6.1323	5.2798	6.1326	8.7647	8.4434	8.7571
	6.0147	5.1024	5.9497	8.6592	8.2392	8.6198
Promedio	6.0302	5.4402	5.9329	8.7521	8.2046	8.6400
Desviación	0.0953	0.4404	0.2086	0.0872	0.2579	0.1084
Hemicelulosa	29.9459	30.7367	31.1161	26.3104	29.1512	29.3418
(% peso seco)	0.1377	0.4557	0.3043	0.1332	1.0070	0.1818
Lignina	1.9315	2.0438	2.3975	7.1434	6.3212	7.7932
(% peso seco)	2.6394	2.1537	2.6438	7.6321	7.0439	7.9463
	2.2054	2.004	2.9109	7.2945	6.9783	7.9934
Promedio	2.2588	2.0672	2.6507	7.3567	6.7811	7.9110
Desviación	0.3570	0.0775	0.2568	0.2502	0.3997	0.1047

Tabla A3: Datos brutos de componentes obtenidos para frijol común, variedad Altense, a los 13 meses de almacenamiento (continuación)

Tiempo: 13 meses

Prueba	MgCl2 5°C	MgCl2 20°C	MgCl2 35°C	NaCl 5°C	NaCl 20°C	NaCl 35°C
Celulosa	2.4382	2.7395	3.0043	2.7538	2.7425	2.9289
(% peso seco)	2.0934	2.3852	2.8454	2.6297	2.82	2.8989
	1.9799	2.9797	2.932	2.7435	2.9793	2.8573
Promedio	2.1705	2.7015	2.9272	2.7090	2.8473	2.8950
Desviación	0.2387	0.2991	0.0796	0.0689	0.1207	0.0360
Proteína	24.52	23.99	24.37	23.67	22.57	22.89
(% peso seco)	24.93	24.35	24.95	22.77	23.69	22.43
	24.87	24.69	24.59	23.54	22.35	22.97
Promedio	24.77	24.34	24.64	23.33	22.87	22.76
Desviación	0.22	0.35	0.29	0.49	0.72	0.29
Almidón	36.4323	36.6573	36.0789	37.5793	37.7323	36.4313
(% peso seco)	36.2135	36.9324	35.9743	36.5645	36.6444	37.1201
	36.4932	37.5932	37.0569	36.9787	36.5988	37.1273
Promedio	36.3797	37.0610	36.3700	37.0408	36.9918	36.8929
Desviación	0.1471	0.4810	0.5971	0.5102	0.6417	0.3998
Pectinas	0.0643	0.0643	0.0669	0.0843	0.0845	0.0889
(agua)	0.0692	0.0632	0.0678	0.0859	0.0832	0.0832
(% peso seco)	0.0679	0.0657	0.0697	0.0878	0.0857	0.0859
Promedio	0.0671	0.0644	0.0681	0.0860	0.0845	0.0860
Desviación	0.0025	0.0013	0.0014	0.0018	0.0013	0.0029
Pectinas	0.1387	0.1437	0.1557	0.1955	0.1997	0.2079
(ox. amonio)	0.1462	0.1462	0.1493	0.1743	0.1887	0.2167
(% peso seco)	0.1399	0.1451	0.1567	0.1837	0.1946	0.2142
Promedio	0.1416	0.1450	0.1539	0.1845	0.1943	0.2129
Desviación	0.0040	0.0013	0.0040	0.0106	0.0055	0.0045
Pectinas	0.1837	0.1737	0.1737	0.1787	0.1884	0.1932
(NaOH)	0.1643	0.1859	0.1897	0.1832	0.1897	0.1857
(% peso seco)	0.1792	0.1832	0.1856	0.1934	0.1964	0.1907
Promedio	0.1757	0.1809	0.1830	0.1851	0.1915	0.1899
Desviación	0.0102	0.0064	0.0083	0.0075	0.0043	0.0038
Fitatos	1.2495	1.2598	1.2250	1.1865	0.9580	0.8319
(% peso seco)	1.2350	1.2395	1.2395	1.2295	0.9422	0.8220
	1.2422	1.2235	1.2220	1.2395	0.9320	0.8220
Promedio	1.2422	1.2409	1.2288	1.2185	0.9441	0.8253
Desviación	0.0073	0.0182	0.0094	0.0282	0.0131	0.0057

Apéndice B
Análisis estadístico
(ANDEVA)

Tamaño por peso

Tabla B1: Análisis de varianza de los resultados obtenidos para tamaño por peso de grano para frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento

Réplica	Temp./Hum	35% HR	76% HR	Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo						
1	5°C	0.2182	0.2182	RESUMEN	35% HR	76% HR	Total			
2		0.2193	0.2193							
3		0.2292	0.2292							
4		0.2041	0.2289							
5		0.2159	0.2219							
6		0.2283	0.2414							
7		0.2136	0.2372							
8		0.2164	0.2272							
9		0.2268	0.2460							
10		0.2192	0.2338							
11		0.2159	0.2389							
12		0.2206	0.2406							
1	20°C	0.2182	0.2182	Cuenta	12	12	24			
2		0.2193	0.2193	Suma	2.6275	2.7826	5.4101			
3		0.2292	0.2292	Promedio	0.218958333	0.231883333	0.225420833			
4		0.2285	0.2277	Varianza	4.83481E-05	8.45706E-05	0.00010715			
5		0.2273	0.2125	20°C						
6		0.2298	0.2392	Cuenta	12	12	24			
7		0.2308	0.2600	Suma	2.7073	2.8078	5.5151			
8		0.2268	0.2428	Promedio	0.225608333	0.233983333	0.229795833			
9		0.2144	0.2336	Varianza	2.97936E-05	0.000179483	0.000118387			
10		0.2253	0.2389	35°C						
11		0.2260	0.2410	Cuenta	12	12	24			
12		0.2317	0.2454	Suma	2.6623	2.7042	5.3665			
1	35°C	0.2182	0.2182	Promedio	0.221858333	0.22535	0.223604167			
2		0.2193	0.2193	Varianza	1.96663E-05	3.32627E-05	2.84943E-05			
3		0.2292	0.2292	Total						
4		0.2260	0.2265	Cuenta	36	36				
5		0.2233	0.2290	Suma	7.9971	8.2946				
6		0.2195	0.2310	Promedio	0.222141667	0.230405556				
7		0.2204	0.2172	Varianza	3.83619E-05	0.000107343				
8		0.2236	0.2348	ANÁLISIS DE VARIANZA						
9		0.2120	0.2188	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
10		0.2233	0.2251	Temperatura	0.000486221	2	0.000243111	3.6916539	0.03021618	3.135923521
11		0.2255	0.2255	Humedad	0.001229253	1	0.001229253	18.666315	5.359E-05	3.986272645
12		0.2220	0.2296	Interacción	0.000267074	2	0.000133537	2.0277737	0.13974824	3.135923521
			Dentro del grupo	0.004346371	66	6.58541E-05				
			Total	0.00632892	71					

Tamaño por volumen

Tabla B2: Análisis de varianza de los resultados obtenidos para tamaño por volumen de grano para frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento

Réplica	Temp./Hum	35% HR	76% HR	Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo						
1	5°C	0.1800	0.1800	RESUMEN	35% HR	76% HR	Total			
2		0.1700	0.1700							
3		0.1700	0.1700							
4		0.1667	0.1600							
5		0.1800	0.1600							
6		0.1800	0.1900							
7		0.1600	0.1800							
8		0.1600	0.1800							
9		0.1800	0.1800							
10		0.1700	0.1800							
11		0.1800	0.1800							
12		0.1700	0.1900							
1	20°C	0.1800	0.1800	Cuenta	12	12	24			
2		0.1700	0.1700							
3		0.1700	0.1700							
4		0.1800	0.1900							
5		0.1800	0.1700							
6		0.1800	0.1900							
7		0.1800	0.2000							
8		0.1800	0.1900							
9		0.1600	0.1800							
10		0.1800	0.1900							
11		0.1800	0.1900							
12		0.1700	0.1800							
1	35°C	0.1800	0.1800	Suma	2.11	2.2	4.31			
2		0.1700	0.1700							
3		0.1700	0.1700							
4		0.1800	0.1900							
5		0.1800	0.1700							
6		0.1800	0.1900							
7		0.1800	0.2000							
8		0.1800	0.1900							
9		0.1600	0.1800							
10		0.1800	0.1900							
11		0.1800	0.1900							
12		0.1700	0.1800							
1	35°C	0.1800	0.1800	Promedio	0.175833333	0.183333333	0.179583333			
2		0.1700	0.1700							
3		0.1700	0.1700							
4		0.1800	0.1900							
5		0.1800	0.1700							
6		0.1800	0.1900							
7		0.1800	0.2000							
8		0.1800	0.1900							
9		0.1600	0.1800							
10		0.1800	0.1900							
11		0.1800	0.1900							
12		0.1700	0.1800							
1	35°C	0.1800	0.1800	Varianza	4.4697E-05	9.69697E-05	8.24275E-05			
2		0.1700	0.1700							
3		0.1700	0.1700							
4		0.1800	0.1800							
5		0.1800	0.1731							
6		0.1800	0.1800							
7		0.1700	0.1600							
8		0.1800	0.2000							
9		0.1800	0.2200							
10		0.1700	0.2000							
11		0.1700	0.1900							
12		0.1800	0.2000							
ANÁLISIS DE VARIANZA										
				<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
				Temperatura	0.000516493	2	0.000258246	2.5122989	0.08880962	3.135923521
				Humedad	0.000913307	1	0.000913307	8.8849248	0.00402298	3.986272645
				Interacción	7.56958E-05	2	3.78479E-05	0.3681957	0.69339406	3.135923521
				Dentro del grupo	0.006784328	66	0.000102793			
				Total	0.008289824	71				

Porcentaje de humedad del frijol

Tabla B3: Análisis de varianza de los resultados obtenidos para porcentaje de humedad de grano para frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento

Réplica	Temp./Hum	35% HR	76% HR	Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo						
1	5°C	13.0890	13.0890							
2		13.0310	13.0310	RESUMEN	35% HR	76% HR	Total			
3		13.0180	13.0180	5°C						
4		3.9071	6.4962	Cuenta	12	12	24			
5		6.0110	7.4928	Suma	93.7953	99.9267	193.722			
6		6.4057	6.5725	Promedio	7.816275	8.327225	8.07175			
7		6.3241	6.3241	Varianza	10.46492581	8.183030946	8.986693203			
8		6.5740	6.5732							
9		5.9632	6.9273	20°C						
10		6.3567	6.7351	Cuenta	12	12	24			
11		6.4373	6.6972	Suma	101.3981	103.0983	204.4964			
12		6.6782	6.9703	Promedio	8.449841667	8.591525	8.520683333			
1	20°C	13.0890	13.0890	Varianza	7.770210924	7.306331282	7.215756925			
2		13.0310	13.0310							
3		13.0180	13.0180	35°C						
4		6.4411	6.8536	Cuenta	12	12	24			
5		7.5439	6.3731	Suma	79.3303	102.4485	181.7788			
6		6.9925	7.4743	Promedio	6.610858333	8.537375	7.574116667			
7		7.3241	7.1054	Varianza	15.15964601	7.442882609	11.77811363			
8		6.5982	7.4382							
9		6.9746	7.3855	Total						
10		6.7515	7.0450	Cuenta	36	36				
11		6.6997	7.3243	Suma	274.5237	305.4735				
12		6.9345	6.9609	Promedio	7.625658333	8.485375				
1	35°C	13.0890	13.0890	Varianza	11.09393695	7.220642633				
2		13.0310	13.0310							
3		13.0180	13.0180							
4		4.3673	6.9548	ANÁLISIS DE VARIANZA						
5		4.3165	6.8545	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
6		3.7920	6.8906	Temperatura	10.76134821	2	5.380674107	0.5731537	0.56652547	3.135923521
7		4.3277	6.8777	Humedad	13.30402945	1	13.30402945	1.4171559	0.23813635	3.986272645
8		5.0070	6.7442	Interacción	10.65163377	2	5.325816887	0.5673103	0.56978905	3.135923521
9		4.3214	7.0020	Dentro del grupo	619.5973033	66	9.387837929			
10		4.9783	7.0382							
11		4.6312	7.4434	Total	654.3143148	71				
12		4.4509	7.5051							

Porcentaje de absorción de agua

Tabla B4: Análisis de varianza de los resultados obtenidos para porcentaje de absorción de agua para frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento

Réplica	Temp./Hum	35% HR	76% HR	Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo						
1	5°C	132.60	132.60	RESUMEN	35% HR	76% HR	Total			
2		135.05	135.05							
3		132.90	132.90							
4		121.76	110.22							
5		122.72	110.56							
6		121.73	115.04							
7		122.40	104.16							
8		132.25	104.53							
9		112.24	103.48							
10		120.15	104.64							
11		130.24	105.12							
12		125.32	103.35							
1	20°C	132.60	132.60	Cuenta	12	12	24			
2		135.05	135.05	Suma	1509.3557	1361.651	2871.0067			
3		132.90	132.90	Promedio	125.7796417	113.4709167	119.6252792			
4		129.50	111.13	Varianza	46.68312395	158.834609	137.8140578			
5		123.62	111.13	20°C						
6		126.56	110.33	Cuenta	12	12	24			
7		126.26	108.97	Suma	1523.337	1374.8742	2898.2112			
8		123.33	108.70	Promedio	126.94475	114.57285	120.7588			
9		119.64	109.06	Varianza	24.48670675	135.8125083	116.5945575			
10		121.13	104.31	35°C						
11		123.45	105.73	Cuenta	12	12	24			
12		129.30	104.97	Suma	1518.872	1343.65416	2862.52616			
1	35°C	132.60	132.60	Promedio	126.5726667	111.97118	119.2719233			
2		135.05	135.05	Varianza	30.42234042	171.3591382	152.122467			
3		132.90	132.90	Total						
4		118.36	103.13	Cuenta	36	36				
5		117.88	101.81	Suma	4551.5647	4080.17936				
6		126.76	107.69	Promedio	126.4323528	113.3383156				
7		128.52	103.66	Varianza	32.17180373	147.6284979				
8		122.85	104.32	ANÁLISIS DE VARIANZA						
9		122.33	105.34	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
10		125.43	105.67	Temperatura	28.96425637	2	14.48212819	0.1530885	0.85835762	3.135923521
11		127.16	105.93	Humedad	3086.168594	1	3086.168594	32.623437	2.899E-07	3.986272645
12		129.03	105.56	Interacción	20.46360769	2	10.23180385	0.1081589	0.89764372	3.135923521
			Dentro del grupo	6243.582693	66	94.59973777				
			Total	9379.179151	71					

Tiempo de cocción

Tabla B5: Análisis de varianza de los resultados obtenidos para tiempo de cocción para frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento

Réplica	Temp./Hum	35% HR	76% HR	Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo						
1	5°C	120	120							
2		120	120	RESUMEN	35% HR	76% HR	Total			
3		120	120	5°C						
4		120	120	Cuenta	12	12	24			
5		120	120	Suma	1430	1430	2860			
6		120	120	Promedio	119.1666667	119.1666667	119.1666667			
7		110	110	Varianza	26.51515152	44.6969697	34.05797101			
8		110	110							
9		120	110	20°C						
10		120	130	Cuenta	12	12	24			
11		120	120	Suma	1450	2370	3820			
12		130	130	Promedio	120.8333333	197.5	159.1666667			
1	20°C	120	120	Varianza	44.6969697	10947.72727	6790.57971			
2		120	120							
3		120	120	35°C						
4		120	120	Cuenta	12	12	24			
5		120	130	Suma	1510	6140	7650			
6		130	130	Promedio	125.8333333	511.6666667	318.75			
7		110	170	Varianza	26.51515152	97978.78788	85707.06522			
8		110	180							
9		120	180	Total						
10		120	360	Cuenta	36	36				
11		130	370	Suma	4390	9940				
12		130	370	Promedio	121.9444444	276.1111111				
1	35°C	120	120	Varianza	38.96825397	63835.87302				
2		120	120							
3		120	120							
4		130	350	ANÁLISIS DE VARIANZA						
5		120	340	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
6		130	340	Temperatura	535202.7778	2	267601.3889	14.721041	5.1705E-06	3.135923521
7		130	690	Humedad	427812.5	1	427812.5	23.534427	7.8261E-06	3.986272645
8		130	690	Interacción	500658.3333	2	250329.1667	13.770877	1.0041E-05	3.135923521
9		130	690	Dentro del grupo	1199758.333	66	18178.15657			
10		130	890							
11		120	900	Total	2663431.944	71				
12		130	890							

Fibra neutro- detergente

Tabla B6: Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de fibra neutro-detergente (NDF) en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento

Réplica	Temp./Hum	35% HR	76% HR	Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo						
1	5°C	38.2001	38.2001	RESUMEN	35% HR	76% HR	Total			
2		37.7258	37.7258							
3		36.1637	36.1637							
4		35.0691	32.5499							
5		39.3983	36.2498							
6		34.4516	34.4987							
7		36.4762	34.5077							
8		35.3632	32.9009							
9		36.2454	36.0888							
10		35.9783	34.9745							
11		36.0743	35.0406							
12		35.8756	35.1723							
1	20°C	38.2001	38.2001	Cuenta	12	12	24			
2		37.7258	37.7258	Suma	437.0216	424.0728	861.0944			
3		36.1637	36.1637	Promedio	36.41846667	35.3394	35.87893333			
4		35.1825	38.4687	Varianza	1.93370727	2.847714382	2.590519452			
5		34.6289	37.4985	20°C						
6		37.8948	36.4980	Cuenta	12	12	24			
7		34.7683	37.9570	Suma	433.988	449.9293	883.9173			
8		35.7290	37.1045	Promedio	36.16566667	37.49410833	36.8298875			
9		35.1643	38.2457	Varianza	1.460442462	0.649768839	1.469602952			
10		36.0592	37.8545	35°C						
11		36.1784	36.2341	Cuenta	12	12	24			
12		36.2930	37.9787	Suma	437.2769	445.7589	883.0358			
1	35°C	38.2001	38.2001	Promedio	36.43974167	37.146575	36.79315833			
2		37.7258	37.7258	Varianza	1.257268879	3.670968498	2.487317014			
3		36.1637	36.1637	Total						
4		34.4987	32.6498	Cuenta	36	36				
5		35.2818	39.5482	Suma	1308.2865	1319.761				
6		35.1687	34.2590	Promedio	36.34129167	36.66002778				
7		36.8497	37.2662	Varianza	1.477814714	3.170590986				
8		35.5318	38.1320	ANÁLISIS DE VARIANZA						
9		36.7097	37.8685	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
10		36.8744	38.1413	Temperatura	13.93176168	2	6.965880838	3.5360189	0.03476639	3.135923521
11		37.2982	37.9496	Humedad	1.828668753	1	1.828668753	0.9282684	0.33883017	3.986272645
12		36.9743	37.8547	Interacción	18.74386421	2	9.371932105	4.7573781	0.01174626	3.135923521
			Dentro del grupo	130.0185736	66	1.969978388				
			Total	164.5228683	71					

Fibra ácido detergente y hemicelulosa

Tabla B7: Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de fibra ácido-detergente (ADF) en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento

Réplica	Temp./Hum	35% HR	76% HR	Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo						
1	5°C	5.0506	5.0506							
2		4.9026	4.9026	RESUMEN	35% HR	76% HR	Total			
3		5.0516	5.0516	5°C						
4		5.2150	8.2440	Cuenta	12	12	24			
5		5.4659	8.3268	Suma	68.6061	91.845204	160.451304			
6		6.1259	8.1465	Promedio	5.717175	7.653767	6.685471			
7		6.7224	8.4460	Varianza	0.357810693	2.6388684	2.411556585			
8		5.5269	8.2792	20°C						
9		6.4547	9.1417	Cuenta	12	12	24			
10		5.9435	8.8323	Suma	60.9029	83.7897	144.6926			
11		6.1323	8.7647	Promedio	5.075241667	6.982475	6.028858333			
12		6.0147	8.6592	Varianza	0.31381219	1.780046471	1.950333878			
1	20°C	5.0506	5.0506	35°C						
2		4.9026	4.9026	Cuenta	12	12	24			
3		5.0516	5.0516	Suma	67.27344	89.273	156.54644			
4		4.1265	7.1688	Promedio	5.60612	7.439416667	6.522768333			
5		5.6465	6.1649	Varianza	0.740598116	2.581938034	2.465815551			
6		4.1684	7.4969	Total						
7		5.5372	8.0973	Cuenta	36	36				
8		5.4796	7.3451	Suma	196.78244	264.907904				
9		4.6194	7.8982	Promedio	5.466178889	7.358552889				
10		5.9383	7.9311	Varianza	0.524554419	2.280882307				
11		5.2798	8.4434	ANÁLISIS DE VARIANZA						
12		5.1024	8.2392	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
1	35°C	5.0506	5.0506	Temperatura	5.612475519	2	2.806237759	2.0013406	0.14327341	3.135923521
2		4.9026	4.9026	Humedad	64.45942841	1	64.45942841	45.970899	3.9771E-09	3.986272645
3		5.0516	5.0516	Interacción	0.033996976	2	0.016998488	0.0121229	0.98795248	3.135923521
4		3.8334	6.4978	Dentro del grupo	92.54381294	66	1.402178984			
5		6.4421	8.1684	Total	162.6497138	71				
6		6.4106	8.5497							
7		6.6842	8.6750							
8		4.8531	7.6014							
9		6.2466	8.8558							
10		5.7164	8.5432							
11		6.1326	8.7571							
12		5.9497	8.6198							

Tabla B8: Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de hemicelulosa en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento

Réplica	Temp./Hum	35% HR	76% HR	Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo			
1	5°C	32.3616	32.3616				
2		30.7041	26.1937	RESUMEN	35% HR	76% HR	Total
3		29.7936	25.8768	5°C			
4		29.9459	26.3104	Cuenta	4	4	8
1	20°C	32.3616	32.3616	Suma	122.8052	110.7425	233.5477
2		31.2549	30.5449	Promedio	30.7013	27.685625	29.1934625
3		30.0085	29.9889	Varianza	1.38371746	9.751224696	7.370488268
4		30.7367	29.1512				
1	35°C	32.3616	32.3616	20°C			
2		29.4211	27.7470	Cuenta	4	4	8
3		30.4358	29.3782	Suma	124.3617	122.0466	246.4083
4		31.1161	29.3418	Promedio	31.090425	30.51165	30.8010375
				Varianza	0.979540329	1.849170777	1.308013474
				35°C			
				Cuenta	4	4	8
				Suma	123.3346	118.8286	242.1632
				Promedio	30.83365	29.70715	30.2704
				Varianza	1.522663777	3.70999385	2.605139626
				Total			
				Cuenta	12	12	
				Suma	370.5015	351.6177	
				Promedio	30.875125	29.301475	
				Varianza	1.088265662	5.717403255	
ANÁLISIS DE VARIANZA							
	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
	Temperatura	10.73511444	2	5.367557221	1.677684	0.21472817	3.55456109
	Humedad	14.85824593	1	14.85824593	4.6440942	0.04494895	4.413863053
	Interacción	6.538310978	2	3.269155489	1.0218074	0.37989896	3.55456109
	Dentro del grupo	57.58893266	18	3.199385148			
	Total	89.72060402	23				

Lignina

Tabla B9: Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de lignina en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento

Réplica	Temp./Hum	35% HR	76% HR	Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo						
1	5°C	1.1940	1.1940	RESUMEN	35% HR	76% HR	Total			
2		1.9572	1.9572							
3		2.5278	2.5278							
4		2.4548	4.2548							
5		1.2548	4.1687							
6		1.6958	3.9083							
7		1.1716	3.9147							
8		1.8835	3.4718							
9		1.7935	3.3927							
10		1.9315	7.1434							
11		2.6394	7.6321							
12		2.2054	7.2945							
1	20°C	1.1940	1.1940	Cuenta	12	12	24			
2		1.9572	1.9572	Suma	22.7093	50.860032	73.569332			
3		2.5278	2.5278	Promedio	1.892441667	4.238336	3.065388833			
4		1.2549	3.2158	Varianza	0.258553972	4.383282947	3.655631628			
5		1.3654	3.9457	20°C						
6		1.5894	4.5118	Cuenta	12	12	24			
7		1.6738	4.4977	Suma	20.9211	50.8359	71.757			
8		1.6131	4.9734	Promedio	1.743425	4.236325	2.989875			
9		1.5440	3.6691	Varianza	0.159649784	3.568361744	3.404149098			
10		2.0438	6.3212	35°C						
11		2.1537	7.0439	Cuenta	12	12	24			
12		2.0040	6.9783	Suma	24.19649	58.5362	82.73269			
1	35°C	1.1940	1.1940	Promedio	2.016374167	4.878016667	3.447195417			
2		1.9572	1.9572	Varianza	0.373881846	5.1691087	4.787255773			
3		2.5278	2.5278	Total						
4		0.7275	4.2549	Cuenta	36	36				
5		2.2378	4.1635	Suma	67.82689	160.232132				
6		1.8080	5.1687	Promedio	1.884080278	4.450892556				
7		2.1085	5.3214	Varianza	0.261748787	4.217489762				
8		1.9097	4.7019	ANÁLISIS DE VARIANZA						
9		1.7738	5.5139	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
10		2.3975	7.7932	Temperatura	2.884964557	2	1.442482278	0.6220796	0.53994451	3.135923521
11		2.6438	7.9463	Humedad	118.5934548	1	118.5934548	51.144179	8.7048E-10	3.986272645
12		2.9109	7.9934	Interacción	0.847155738	2	0.423577869	0.1826706	0.83346221	3.135923521
			Dentro del grupo	153.0412289	66	2.318806499				
			Total	275.3668041	71					

Celulosa

Tabla B10: Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de celulosa en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento

Réplica	Temp./Hum	35% HR	76% HR	Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo						
1	5°C	2.0180	2.0180							
2		1.2513	1.2513	RESUMEN	35% HR	76% HR	Total			
3		1.3547	1.3547	5°C						
4		1.2416	2.9875	Cuenta	12	12	24			
5		1.6488	2.0201	Suma	19.217	26.4646	45.6816			
6		1.2649	1.9655	Promedio	1.601416667	2.205383333	1.9034			
7		1.1089	2.4405	Varianza	0.186923016	0.308224505	0.331968571			
8		1.2477	2.4550	20°C						
9		1.5696	1.8450	Cuenta	12	12	24			
10		2.4382	2.7538	Suma	24.2605	26.416	50.6765			
11		2.0934	2.6297	Promedio	2.021708333	2.201333333	2.111520833			
12		1.9799	2.7435	Varianza	0.424780343	0.457566522	0.430408972			
1	20°C	2.0180	2.0180							
2		1.2513	1.2513	35°C						
3		1.3547	1.3547	Cuenta	12	12	24			
4		2.9548	2.8155	Suma	22.7952	27.5057	50.3009			
5		1.2550	2.3155	Promedio	1.8996	2.292141667	2.095870833			
6		1.9455	2.0009	Varianza	0.487904822	0.392406426	0.461215543			
7		1.2797	2.1965	Total						
8		2.2109	1.0796	Cuenta	36	36				
9		1.8862	2.8422	Suma	66.2727	80.3863				
10		2.7395	2.7425	Promedio	1.840908333	2.232952778				
11		2.3852	2.8200	Varianza	0.377644723	0.365809436				
12		2.9797	2.9793							
1	35°C	2.0180	2.0180	ANÁLISIS DE VARIANZA						
2		1.2513	1.2513	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
3		1.3547	1.3547	Temperatura	0.644833804	2	0.322416902	0.856806	0.429183	3.135923521
4		1.9498	1.9987	Humedad	2.766579236	1	2.766579236	7.3520391	0.00853092	3.986272645
5		1.7550	2.0069	Interacción	0.540199775	2	0.270099888	0.7177763	0.4916041	3.135923521
6		1.9820	2.9514	Dentro del grupo	24.83586198	66	0.376300939			
7		1.4880	2.6953	Total	28.78747479	71				
8		1.1040	1.8135							
9		1.1107	2.7308							
10		3.0043	2.9289							
11		2.8454	2.8989							
12		2.9320	2.8573							

Proteína

Tabla B11: Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de proteína en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento

Réplica	Temp./Hum	35% HR	76% HR	Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo						
1	5°C	24.67	24.67							
2		25.14	25.14	RESUMEN	35% HR	76% HR	Total			
3		24.33	24.33	5°C						
4		24.15	26.47	Cuenta	12	12	24			
5		23.95	24.55	Suma	289.02	288.03	577.05			
6		24.02	24.06	Promedio	24.085	24.0025	24.04375			
7		23.01	22.82	Varianza	0.746263636	1.278565909	0.970172283			
8		22.37	23.55	20°C						
9		23.06	22.46	Cuenta	12	12	24			
10		24.52	23.67	Suma	288.27	277.49	565.76			
11		24.93	22.77	Promedio	24.0225	23.12416667	23.57333333			
12		24.87	23.54	Varianza	0.951511364	1.503608333	1.384710145			
1	20°C	24.67	24.67	35°C						
2		25.14	25.14	Cuenta	12	12	24			
3		24.33	24.33	Suma	283.37	275.23	558.6			
4		24.36	22.03	Promedio	23.61416667	22.93583333	23.275			
5		24.97	23.45	Varianza	2.209390152	1.424953788	1.8582			
6		23.99	22.96	<i>Total</i>						
7		22.06	20.90	Cuenta	36	36				
8		22.32	23.32	Suma	860.66	840.75				
9		23.40	22.08	Promedio	23.90722222	23.35416667				
10		23.99	22.57	Varianza	1.272803492	1.544493571				
11		24.35	23.69	ANÁLISIS DE VARIANZA						
12		24.69	22.35	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
1	35°C	24.67	24.67	Temperatura	7.210169444	2	3.605084722	2.6657292	0.0770324	3.135923521
2		25.14	25.14	Humedad	5.505668056	1	5.505668056	4.0710888	0.04769214	3.986272645
3		24.33	24.33	Interacción	2.138002778	2	1.069001389	0.790458	0.45788394	3.135923521
4		21.02	22.06	Dentro del grupo	89.257225	66	1.352382197			
5		24.15	22.45	Total	104.1110653	71				
6		24.37	22.49							
7		21.15	21.06							
8		22.36	22.72							
9		22.27	22.02							
10		24.37	22.89							
11		24.95	22.43							
12		24.59	22.97							

Almidón

Tabla B12: Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de almidón en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento

Réplica	Temp./Hum	35% HR	76% HR	Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo						
1	5°C	37.8011	37.8011							
2		34.7810	34.7810	RESUMEN	35% HR	76% HR	Total			
3		32.1447	32.1447	5°C						
4		36.4823	37.4127	Cuenta	12	12	24			
5		35.7641	35.2357	Suma	430.4	437.2239	867.6239			
6		36.0312	37.1378	Promedio	35.86666667	36.435325	36.15099583			
7		36.6310	37.3608	Varianza	1.918218626	2.684537184	2.285675987			
8		35.3192	37.4549	20°C						
9		36.3064	36.7727	Cuenta	12	12	24			
10		36.4323	37.5793	Suma	435.387	429.3383	864.7253			
11		36.2135	36.5645	Promedio	36.28225	35.77819167	36.03022083			
12		36.4932	36.9787	Varianza	2.603285285	2.881095357	2.689245038			
1	20°C	37.8011	37.8011	35°C						
2		34.7810	34.7810	Cuenta	12	12	24			
3		32.1447	32.1447	Suma	432.6204	435.2103	867.8307			
4		36.3746	33.3288	Promedio	36.0517	36.267525	36.1596125			
5		37.6036	35.4433	Varianza	2.292839247	2.585515147	2.345277432			
6		35.2737	35.4092	Total						
7		37.6046	36.0687	Cuenta	36	36				
8		36.0344	36.9714	Suma	1298.4074	1301.7725				
9		36.5864	36.4146	Promedio	36.06687222	36.16034722				
10		36.6573	37.7323	Varianza	2.171376437	2.641723921				
11		36.9324	36.6444	ANÁLISIS DE VARIANZA						
12		37.5932	36.5988	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
1	35°C	37.8011	37.8011	Temperatura	0.251224408	2	0.125612204	0.0503607	0.95092284	3.135923521
2		34.7810	34.7810	Humedad	0.157276361	1	0.157276361	0.0630556	0.80251018	3.986272645
3		32.1447	32.1447	Interacción	3.586888843	2	1.793444422	0.719032	0.49100032	3.135923521
4		36.2953	36.1147	Dentro del grupo	164.6203993	66	2.494248474			
5		36.7853	37.7948	Total	168.6157889	71				
6		35.5660	35.4229							
7		35.6316	37.7356							
8		36.8226	36.1005							
9		37.6827	36.6363							
10		36.0789	36.4313							
11		35.9743	37.1201							
12		37.0569	37.1273							

Pectinas solubles en agua

Tabla B13: Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de pectinas solubles en agua en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento

Réplica	Temp./Hum	35% HR	76% HR	Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo						
1	5°C	0.0522	0.0522							
2		0.0641	0.0641	RESUMEN	35% HR	76% HR	Total			
3		0.0515	0.0515	5°C						
4		0.0512	0.0615	Cuenta	12	12	24			
5		0.0515	0.0752	Suma	0.7109	0.8241	1.535			
6		0.0542	0.0650	Promedio	0.059241667	0.068675	0.063958333			
7		0.0594	0.0687	Varianza	5.37554E-05	0.000154106	0.000122626			
8		0.0562	0.0689	20°C						
9		0.0692	0.0590	Cuenta	12	12	24			
10		0.0643	0.0843	Suma	0.6883	0.8376	1.5259			
11		0.0692	0.0859	Promedio	0.057358333	0.0698	0.063579167			
12		0.0679	0.0878	Varianza	3.39427E-05	0.000130151	0.000118861			
1	20°C	0.0522	0.0522	35°C						
2		0.0641	0.0641	Cuenta	12	12	24			
3		0.0515	0.0515	Suma	0.7238	0.8702	1.594			
4		0.0525	0.0650	Promedio	0.060316667	0.072516667	0.066416667			
5		0.0514	0.0717	Varianza	4.19561E-05	0.000173022	0.000141643			
6		0.0550	0.0742	Total						
7		0.0589	0.0648	Cuenta	36	36				
8		0.0506	0.0745	Suma	2.123	2.5319				
9		0.0589	0.0662	Promedio	0.058972222	0.070330556				
10		0.0643	0.0845	Varianza	4.22861E-05	0.000146391				
11		0.0632	0.0832	ANÁLISIS DE VARIANZA						
12		0.0657	0.0857	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
1	35°C	0.0522	0.0522	Temperatura	0.000113909	2	5.69543E-05	0.5822237	0.56149793	3.135923521
2		0.0641	0.0641	Humedad	0.002322211	1	0.002322211	23.739143	7.237E-06	3.986272645
3		0.0515	0.0515	Interacción	3.35258E-05	2	1.67629E-05	0.1713614	0.84289071	3.135923521
4		0.0517	0.0847	Dentro del grupo	0.006456254	66	9.7822E-05			
5		0.0620	0.0847	Total	0.0089259	71				
6		0.0599	0.0669							
7		0.0583	0.0633							
8		0.0640	0.0736							
9		0.0557	0.0712							
10		0.0669	0.0889							
11		0.0678	0.0832							
12		0.0697	0.0859							

Pectinas solubles en oxalato de amonio

Tabla B14: Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de pectinas solubles en oxalato de amonio en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento

Réplica	Temp./Hum	35% HR	76% HR	Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo						
1	5°C	0.1215	0.1215	RESUMEN	35% HR	76% HR	Total			
2		0.1359	0.1359							
3		0.1346	0.1346							
4		0.1298	0.1532							
5		0.1358	0.1322							
6		0.1268	0.1285							
7		0.1255	0.1395							
8		0.1225	0.1295							
9		0.1407	0.1518							
10		0.1387	0.1955							
11		0.1462	0.1743							
12		0.1399	0.1837							
1	20°C	0.1215	0.1215	Cuenta	12	12	24			
2		0.1359	0.1359	Suma	1.5979	1.7802	3.3781			
3		0.1346	0.1346	Promedio	0.133158333	0.14835	0.140754167			
4		0.1550	0.1355	Varianza	6.1779E-05	0.000575914	0.000365189			
5		0.1465	0.1598	20°C						
6		0.1250	0.1688	Cuenta	12	12	24			
7		0.1224	0.1458	Suma	1.6535	1.9053	3.5588			
8		0.1329	0.1535	Promedio	0.137791667	0.158775	0.148283333			
9		0.1447	0.1669	Varianza	0.000116577	0.000659671	0.00048611			
10		0.1437	0.1997	35°C						
11		0.1462	0.1887	Cuenta	12	12	24			
12		0.1451	0.1946	Suma	1.7382	2.0381	3.7763			
1	35°C	0.1215	0.1215	Promedio	0.14485	0.169841667	0.157345833			
2		0.1359	0.1359	Varianza	0.000197088	0.001056426	0.000762442			
3		0.1346	0.1346	Total						
4		0.1658	0.1955	Cuenta	36	36				
5		0.1632	0.1622	Suma	4.9896	5.7236				
6		0.1325	0.1550	Promedio	0.1386	0.158988889				
7		0.1299	0.1691	Varianza	0.000141766	0.000799551				
8		0.1455	0.1518	ANÁLISIS DE VARIANZA						
9		0.1476	0.1737	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
10		0.1557	0.2079	Temperatura	0.003312805	2	0.001656403	3.7258039	0.02930264	3.135923521
11		0.1493	0.2167	Humedad	0.007482722	1	0.007482722	16.831146	0.00011452	3.986272645
12		0.1567	0.2142	Interacción	0.0002913	2	0.00014565	0.3276159	0.72180494	3.135923521
			Dentro del grupo	0.02934201	66	0.000444576				
			Total	0.040428838	71					

Pectinas solubles en hidróxido de sodio

Tabla B15: Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de pectinas solubles en hidróxido de sodio en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento

Réplica	Temp./Hum	35% HR	76% HR	Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo						
1	5°C	0.1688	0.1688							
2		0.1655	0.1655	RESUMEN	35% HR	76% HR	Total			
3		0.1650	0.1650	5°C						
4		0.1648	0.1625	Cuenta	12	12	24			
5		0.1622	0.1688	Suma	2.0481	2.0922	4.1403			
6		0.1746	0.1797	Promedio	0.170675	0.17435	0.1725125			
7		0.1718	0.1772	Varianza	5.04239E-05	9.27082E-05	7.19777E-05			
8		0.1797	0.1835	20°C						
9		0.1685	0.1659	Cuenta	12	12	24			
10		0.1837	0.1787	Suma	2.0782	2.1053	4.1835			
11		0.1643	0.1832	Promedio	0.173183333	0.175441667	0.1743125			
12		0.1792	0.1934	Varianza	5.66506E-05	0.000166543	0.000108075			
1	20°C	0.1688	0.1688	35°C						
2		0.1655	0.1655	Cuenta	12	12	24			
3		0.1650	0.1650	Suma	2.0427	2.1342	4.1769			
4		0.1768	0.1735	Promedio	0.170225	0.17785	0.1740375			
5		0.1795	0.1795	Varianza	0.000102617	9.883E-05	0.000111511			
6		0.1635	0.1847	Total						
7		0.1787	0.1503	Cuenta	36	36				
8		0.1687	0.1732	Suma	6.169	6.3317				
9		0.1689	0.1703	Promedio	0.171361111	0.175880556				
10		0.1737	0.1884	Varianza	6.76453E-05	0.000114739				
11		0.1859	0.1897	ANÁLISIS DE VARIANZA						
12		0.1832	0.1964	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
1	35°C	0.1688	0.1688	Temperatura	4.513E-05	2	2.2565E-05	0.2384584	0.78851723	3.135923521
2		0.1655	0.1655	Humedad	0.000367657	1	0.000367657	3.885259	0.05290728	3.986272645
3		0.1650	0.1650	Interacción	9.28211E-05	2	4.64106E-05	0.4904493	0.61456507	3.135923521
4		0.1765	0.1865	Dentro del grupo	0.006245491	66	9.46286E-05			
5		0.1747	0.1687	Total	0.006751099	71				
6		0.1598	0.1732							
7		0.1565	0.1831							
8		0.1627	0.1741							
9		0.1642	0.1797							
10		0.1737	0.1932							
11		0.1897	0.1857							
12		0.1856	0.1907							

Fitatos

Tabla B16: Análisis de varianza de los resultados obtenidos para contenido de fitatos en frijol común, variedad Altense, durante todos los tiempos de almacenamiento

Réplica	Temp./Hum	35% HR	76% HR	Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo						
1	5°C	1.2549	1.2549	RESUMEN	35% HR	76% HR	Total			
2		1.2495	1.2495							
3		1.2232	1.2232							
4		1.2195	1.2565							
5		1.2495	1.2462							
6		1.2645	1.2650							
7		1.2320	1.2650							
8		1.2495	1.2370							
9		1.2417	1.2466							
10		1.2495	1.1865							
11		1.2350	1.2295							
12		1.2422	1.2395							
1	20°C	1.2549	1.2549	Cuenta	12	12	24			
2		1.2495	1.2495	Suma	14.911	14.8994	29.8104			
3		1.2232	1.2232	Promedio	1.242583333	1.241616667	1.2421			
4		1.2459	1.2417	Varianza	0.000172945	0.000468103	0.000306832			
5		1.2954	1.2220	20°C						
6		1.2348	1.2470	Cuenta	12	12	24			
7		1.2458	1.1032	Suma	14.9483	13.566	28.5143			
8		1.2395	1.0918	Promedio	1.245691667	1.1305	1.188095833			
9		1.2365	1.1005	Varianza	0.00036795	0.016390724	0.011476527			
10		1.2598	0.9580	35°C						
11		1.2395	0.9422	Cuenta	12	12	24			
12		1.2235	0.9320	Suma	14.8754	12.4214	27.2968			
1	35°C	1.2549	1.2549	Promedio	1.239616667	1.035116667	1.137366667			
2		1.2495	1.2495	Varianza	0.000180623	0.026426558	0.023634804			
3		1.2232	1.2232	Total						
4		1.2465	1.1022	Cuenta	36	36				
5		1.2350	1.1019	Suma	44.7347	40.8868				
6		1.2247	1.1110	Promedio	1.242630556	1.135744444				
7		1.2435	0.9520	Varianza	0.000233091	0.020928223				
8		1.2598	0.9665	ANÁLISIS DE VARIANZA						
9		1.2518	0.9843	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
10		1.2250	0.8319	Temperatura	0.131671756	2	0.065835878	8.9762114	0.00035633	3.135923521
11		1.2395	0.8220	Humedad	0.205643533	1	0.205643533	28.037901	1.4632E-06	3.986272645
12		1.2220	0.8220	Interacción	0.124898294	2	0.062449147	8.5144569	0.00051331	3.135923521
			Dentro del grupo	0.484075936	66	0.007334484				
			Total	0.946289519	71					

Apéndice C

Análisis de correlación

Tabla C1: Análisis de correlación entre resultados obtenidos para las propiedades y los componentes del cotiledón del frijol común, variedad Altense

Propiedad o componente	Tamaño por Peso	Tamaño / Volumen	% Humedad Frijol	% Abs Agua	t de Cocción	NDF	ADF	Hemi-celulosa	Lignina	Celulosa	Proteína	Almidón	Pectinas (agua)	Pectinas (ox. Am.)	Pectinas (NaOH)	Fitatos
Tamaño por Peso	1.0000															
Tamaño por Volumen	0.4683	1.0000														
% Humedad Frijol	0.1537	0.0279	1.0000													
% Absorción Agua	-0.6420	-0.6542	0.0909	1.0000												
Tiempo Cocción	0.0620	0.7557	0.0915	-0.5136	1.0000											
NDF	0.0119	0.5561	0.2888	-0.0273	0.5250	1.0000										
ADF	0.6129	0.5691	-0.0182	-0.9368	0.5183	0.0503	1.0000									
Hemicelulosa	-0.4828	-0.0986	0.1998	0.7320	-0.0779	0.6013	-0.7678	1.0000								
Lignina	0.5984	0.7204	0.1094	-0.8352	0.6714	0.2855	0.8767	-0.5183	1.0000							
Celulosa	0.5119	0.4805	-0.0407	-0.5073	0.4333	0.1767	0.5324	-0.3126	0.6806	1.0000						
Proteína	-0.2197	-0.5294	0.2127	0.5523	-0.3891	-0.2373	-0.4056	0.1723	-0.3332	0.1118	1.0000					
Almidón	0.3739	0.2664	-0.4030	-0.4014	0.2751	-0.3051	0.4178	-0.5300	0.3565	0.3721	-0.2086	1.0000				
Pectinas (agua)	0.5470	0.5558	0.0185	-0.7600	0.5628	0.2241	0.8078	-0.5025	0.9286	0.7507	-0.2812	0.3455	1.0000			
Pectinas (oxalato de amonio)	0.4604	0.7727	-0.0336	-0.6748	0.7483	0.3731	0.6548	-0.2845	0.8973	0.7149	-0.3491	0.3517	0.8879	1.0000		
Pectinas (NaOH)	0.3141	0.4327	-0.0302	-0.4676	0.5196	0.2243	0.4681	-0.2307	0.6822	0.8557	0.0047	0.3240	0.7653	0.7623	1.0000	
Fitatos	-0.3185	-0.8107	-0.1131	0.6086	-0.9253	-0.5974	-0.5941	0.0921	-0.7643	-0.4935	0.4615	-0.3134	-0.6751	-0.8321	-0.5724	1.0000

Contabilización del valor absoluto de la correlación entre variables estudiadas

Código de Color	Valor de R	No. de casos
	.9 o más	3
	.8-.9	8
	.7-.8	12
	.6-.7	9
	.5-.6	20