

**Evaluación de las condiciones de
almacenamiento del frijol (*Phaseolus
vulgaris*) en las bodegas del Instituto
Hondureño de Mercadeo Agrícola (IHMA)**

Sergio Mauricio Enamorado Martinez

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2007

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

**Evaluación de las condiciones de
almacenamiento del frijol (*Phaseolus
vulgaris*) en las bodegas del Instituto
Hondureño de Mercadeo Agrícola (IHMA)**

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero en Agroindustria en el Grado
Académico de Licenciatura

Presentado por:

Sergio Mauricio Enamorado Martinez

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2007

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
naturales o jurídicas se reservan los derechos de autor.

Sergio Mauricio Enamorado Martinez

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2007

**Evaluación de las condiciones de almacenamiento del frijol
(*Phaseolus vulgaris*) en las bodegas del Instituto Hondureño
de Mercadeo Agrícola (IHMA)**

Presentado por:

Sergio Mauricio Enamorado Martinez

Aprobado:

Edward Moncada, M.A.E.
Asesor Principal

Luís Fernando Osorio, Ph.D.
Director
Carrera de Agroindustria Alimentaria

Juan Carlos Rosas, Ph.D.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano académico

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso por permitirme aprender y vivir de muchas experiencias en Zamorano, en donde he logrado crecer como persona y profesional.

A mis padres Carlos Enamorado y Marla Martinez, por su apoyo incondicional en todos los momentos y por proveerme mi formación profesional.

A mis hermanos Carlos, Dennis, Vannesa y Sandra Enamorado, por darme ánimos en todo momento.

A mi novia Paola Gisel Maldonado, por su gran amor y amistad hacia mi persona.

AGRADECIMIENTOS

A Dios todopoderoso, por haber iluminado mi camino con su sabiduría y ayudarme en todo momento para poder culminar este proyecto tan importante en mi vida.

A mis queridos padres, por todos los esfuerzos, sacrificios y por ser mis maestros de la vida, por sus consejos y por su amor.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional y por sus consejos. Mil gracias.

A mi novia Paola Gisel Maldonado, por su ayuda, apoyo y amor incondicional.

A mis asesores Edward Moncada y Juan Carlos Rosas, por su tiempo, paciencia, consejos y la confianza que depositaron en mí.

A mis queridos compañeros, Juan Orellana, Miguel Cabrera, Axel Morales, Oscar Pérez, Dennis Carvajal, Melin Rivera, Michael Oliva, Roger Osorto y Manuel López, por compartir conmigo momentos inolvidables que permanecerán siempre en mi mente.

A Efraín Banegas, Jorge Segura y Obdulio Chevez, por su colaboración para poder realizar este proyecto.

AGRADECIMIENTOS A PATROCINADORES

A mi familia, por el esfuerzo que siempre hacen por apoyarme en la conclusión de mis sueños y metas.

A la Secretaria de Agricultura y Ganadería de Honduras, por contribuir con parte del financiamiento que me brindaron para culminar mis estudios en el Programa de Ingeniería Agroindustrial.

Al USDA, (United States Departament of Agriculture), por el apoyo financiero que me brindaron en mis dos últimos años de estudio en el Programa de Ingeniería Agroindustrial.

Al Instituto Hondureño de Mercadeo Agrícola (IHMA), por brindarme su colaboración para llevar a cabo este estudio.

RESUMEN

Enamorado, S. 2007. Evaluación de las condiciones de almacenamiento del frijol (*Phaseolus vulgaris*) en las bodegas del Instituto Hondureño de Mercadeo Agrícola (IHMA). Proyecto Especial de Graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria. Zamorano, Honduras. 31 p.

El frijol es el segundo grano básico de importancia en Honduras, tanto por su volumen de producción como por el aporte nutricional de proteínas y minerales a bajos precios. Uno de los factores decisivos de compra por el consumidor es el color y el tiempo de cocción del grano. El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del tiempo de almacenamiento sobre la calidad del grano y el tiempo máximo que puede almacenarlo bajo las condiciones de temperatura y humedad relativa reportadas en las bodegas del IHMA. Se monitorearon cuatro estibas de frijol (dos de tinto y dos de rojo) por un periodo de 240 días. Se tomaron muestras de 2 kg, las cuales fueron analizadas mediante un DCA con medidas repetidas en el tiempo. Se correlacionó el tiempo de cocción y el contenido de humedad, total del grano dañado y el color $L^*a^*b^*$. Se observó una disminución en el contenido de humedad y el color rojo, y un aumento en el tiempo de cocción y total del grano dañado de acuerdo al tiempo de almacenamiento. Existió correlación negativa (-0.6, -0.35, -0.2 respectivamente) entre el contenido de humedad, el color L^* y el color b^* con el tiempo de cocción; observándose que a menor humedad y valores de L^* y b^* , mayor fue el tiempo de cocción. Asimismo, existió una correlación positiva (0.7) entre el total de daño del grano con el tiempo de cocción; encontrándose que a mayor fue el total de daño mayor fue el tiempo de cocción. Se demostró con una regresión lineal ($Y = 0.2719x + 54.785$) que el tiempo máximo de almacenamiento del frijol rojo y tinto fue de 10 meses; en relación a un tiempo de cocción máximo recomendado para el consumo humano de 130 min.

Palabras Claves: cocción, color, humedad, total de grano dañado.

Edward Moncada M.A.E.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría	ii
Página de firmas.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos	v
Agradecimientos a patrocinadores.....	vi
Resumen.....	vii
Contenido.....	viii
Índice de cuadros	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de Formulas.....	xii
Índice de anexos.....	xiii
 1. INTRODUCCIÓN	 1
1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	3
1.4. LIMITES DEL ESTUDIO	3
1.5. OBJETIVOS	3
1.5.1. Objetivo General.....	3
1.5.2. Objetivos Específicos	3
 2. REVISIÓN DE LITERATURA	 4
2.1. IMPORTANCIA DEL FRIJOL.....	4
2.2. CONSUMO DE FRIJOL EN HONDURAS	5
2.3. ÉPOCA DE SIEMBRA	5
2.4. COSECHA Y TRILLA.....	5
2.5. ALMACENAMIENTO DEL FRIJOL	6
2.6. CALIDAD	6
2.7. TIEMPO DE COCCIÓN	6
2.8. CLASIFICACIÓN POR COLOR DEL FRIJOL ROJO.....	7
2.9. COLOR.....	8
2.10. HUMEDAD	8
2.11. TEMPERATURA.....	8
2.12. HUMEDAD RELATIVA	8
 3. MATERIALES Y MÉTODOS	 9
3.1. LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO.....	9
3.2. MATERIALES	9
3.3. METODOLOGÍA.....	10
3.3.1. Diseño experimental	10

3.3.2.	Métodos	10
3.3.3.	Procedimiento de muestreo.....	10
3.3.4.	Tamaño de muestra.....	11
3.3.5.	Análisis Físicos y Químicos	11
3.3.6.	Determinación del porcentaje de humedad del grano.....	11
3.3.7.	Análisis tiempo de cocción.....	12
3.3.8.	Análisis de total de grano dañado	12
3.3.9.	Análisis colorimétrico ColorFlex HunterLab	12
3.3.10.	Análisis estadístico	12
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
4.1.	CONTENIDO DE HUMEDAD DEL GRANO DE FRIJOL.....	13
4.2.	TIEMPO DE COCCIÓN	14
4.3.	TOTAL DE GRANO DAÑADO	16
4.4.	ANÁLISIS COLORIMÉTRICO	17
4.4.1.	Valor L*	17
4.4.2.	Valor a*	18
4.4.3.	Valor b*	19
4.5.	CORRELACIONES	20
4.5.1.	Tiempo de cocción – humedad	20
4.5.2.	Tiempo de cocción – daño total del grano	21
4.5.3.	Tiempo de cocción –valor L*	21
4.5.4.	Tiempo de cocción – valor a*	21
4.5.5.	Tiempo de cocción – valor b*	21
4.6.	TIEMPO DE ALMACENAMIENTO	21
5.	CONCLUSIONES	23
6.	RECOMENDACIONES	24
7.	BIBLIOGRAFÍA	25
8.	ANEXOS	27

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Composición estructural de alimentos.....	4
2. Rangos de color en la escala $L^*a^*b^*$ para frijol de grano rojo.....	7
3. Análisis de varianza de humedad del grano y separación de medias Tukey para las dos clases de frijol.....	13
4. Análisis de varianza de tiempo de cocción y separación de medias Tukey para las dos clases de frijol en relación a los días de almacenamiento.....	15
5. Análisis de varianza de tiempo de cocción y separación de medias Tukey para las dos clases comerciales de frijol en el día 240.....	15
6. Análisis de varianza y separación de medias Tukey de total de grano dañado durante el almacenamiento de grano de dos clases comerciales de frijol.....	17
7. Análisis de varianza y separación de medias Tukey para el valor de claridad de dos clases comerciales de frijol durante el almacenamiento de 240 días.....	18
8. Análisis de varianza y separación de medias Tukey para el color amarillo de dos clases comerciales de frijol durante el almacenamiento de 240 días.....	19
9. Correlaciones entre tiempo de cocción y la humedad del grano, el total de grano dañado, y el color $L^*a^*b^*$	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Aumento del tiempo de cocción en relación al tiempo de almacenamiento del grano.....	14
2.	Incremento del total de grano dañado durante el almacenamiento (240 días) de granos de dos clases comerciales de frijol.....	16
3.	Análisis de la claridad (L^*) del grano de dos clases comerciales de frijol almacenado por 240 días.....	18
4.	Análisis del valor (a^*) del grano de dos clases comerciales de frijol almacenado por 240 días.....	19
5.	Análisis del valor (b^*) del grano de dos clases comerciales de frijol almacenado por 240 días.....	20
6.	Aumento del tiempo de cocción del grano en promedio para dos clases comerciales de frijol durante 240 días de almacenamiento.....	22

ÍNDICE DE FORMULAS

Formula	Página
1. Formula para determinar el número de sacos a muestreas por cada estiba de frijol.....	10
2. Regresión lineal para el valor b^* de la clase de frijol tinto.....	19
3. Regresión lineal para el tiempo máximo de almacenamiento de las dos clases comerciales de frijol.....	21

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1.	Secuencia analítica de análisis de calidad de granos.....	28
2.	Tabla de humedad para lecturas y correcciones por temperatura en el “Motomco”	29
3.	Temperatura promedio quincenal durante el almacenamiento (240 días) de frijol en las bodegas del IHMA.....	30
4.	Humedad Relativa promedio quincenal durante el almacenamiento (240 días) de frijol en las bodegas del IHMA.....	31

1. INTRODUCCIÓN

Muchos países en vías de desarrollo tienen como importante recurso de su seguridad alimentaria, la producción de productos agrícolas tradicionales propios de la región, como ser el cultivo de granos básicos, que constituyen la principal fuente de carbohidratos y proteínas en la dieta de la población (Erazo, 2004).

Las leguminosas de grano se han reconocido como fuente importante de proteína en la dieta de las poblaciones de muchas regiones del mundo. Ellas pueden fácilmente cubrir la necesidad humana de ingesta de proteína en cuanto a cantidad y, lo que posiblemente es más importante, pueden proveer la calidad proteica deseada para la alimentación de grupos de poblaciones vulnerables, como los infantes, niños, madres embarazadas y lactantes, cuando se consumen en cantidades adecuadas (Mendoza, 2003).

El consumo anual *per cápita* de frijol en Honduras es de 38.1 gramos por persona por día; aunque existe un consumo mayor en las zonas rurales. Muchos de los productores cultivan para consumo propio y el excedente es vendido a intermediarios en las fincas. El precio promedio del frijol rojo y tinto en el mes de marzo 2006 fue de \$ 34.60 y \$ 30.05 por quintal (45.36 kg), respectivamente, según SIMPAH (2006); pero los precios fluctúan considerablemente debido a cosechas estacionarias y su demanda anual. Esto quiere decir que la cosecha del frijol se rige bajo un ciclo de producción bianual, y ese ciclo de producción determina la escasez o demanda que el mercado va a reflejar. Aún así, el frijol figura entre los 10 primeros cultivos de importancia económica en Honduras (Bueso, 2004).

Según Mora (1982), el aumento en el tiempo de cocción es uno de los parámetros más delicados a controlar que presenta los granos de frijol durante el almacenamiento. Trae consigo varias consecuencias como; menor aceptabilidad por el consumidor, mayor gasto de energía y tiempo para su preparación, pérdida de valor nutritivo en casos extremos y pérdida total de su valor comercial. Entre los principales factores que influyen sobre el tiempo de cocción de los frijoles tenemos: la temperatura y el contenido de humedad.

Se ha encontrado que cuanto menor sean la temperatura y contenido de humedad del frijol, menor es el aumento en el tiempo de cocción en un periodo de almacenamiento dado (Mora, 1982).

1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El Instituto Hondureño de Mercadeo Agrícola, actualmente (Enero, 2007) tiene almacenado frijol rojo y tinto como reserva estratégica en sus bodegas, para casos de contingencia como un desastre natural o en caso de que exista un alza en los precios del frijol. Es por eso la importancia de controlar las condiciones de almacenamiento de los granos. Actualmente, el IHMA no cuenta con estudios o información acerca del comportamiento del producto almacenado.

El precio del frijol muchas veces es determinado por el tiempo de cocción. Sin embargo, Honduras no cuenta con un catálogo donde exista la relación entre el tiempo de cocción y el precio del frijol.

1.2. ANTECEDENTES

Un estudio realizado por Mora (1982), evaluó la influencia de diferentes temperaturas (15, 20 y 25 °C) y contenidos de humedad (9.2, 12.2, 15.5%) sobre el tiempo de cocción de frijol, almacenado durante 18 meses. Encontrando que si el frijol se consume durante los primeros seis meses después de la cosecha, no es necesario prestarle mucha atención a las condiciones de almacenamiento si están dentro de los límites que se indican en este experimento. Luego de siete meses de almacenamiento, el tiempo de cocción del frijol aumentó en todos los tratamientos desde los 10-12 meses, a partir de este momento, el tiempo de cocción continuó aumentando sólo en el frijol con 15.5% de humedad mantenido a 25 °C, aunque a un ritmo menor; mientras que en los otros tratamientos, comenzó a disminuir.

El comportamiento del frijol con 9.2% de humedad fue similar en las tres temperaturas de almacenamiento. Durante el primer año hubo un aumento en el tiempo de cocción de 82 a 135 a 150 minutos, disminuyendo después hasta los 105 minutos. Los resultados para el frijol con 12.2% de humedad son similares a las del frijol con 9.2% excepto que hacia el final del ensayo el tiempo de cocción fue mayor.

Un estudio realizado por Taleón (2005), se observó una mayor degradación del color rojo a 26 °C y 28 °C ($Pr < 0.01$). Todas las variedades redujeron su intensidad de rojo a 26 °C; por otro lado, las variedades Seda, Paraisito y Desarrural, redujeron su valor comercial a los 90, 120 y 150 días, respectivamente. A 28 °C, las variedades Seda y Paraisito redujeron su valor comercial a los 120 días, y la variedad Desarrural a los 180 días. Los cambios en la claridad y el color amarillo del grano no afectaron su valor comercial. Las variedades claras presentaron una mayor reducción en su color rojo que provocó un cambio en su clasificación comercial a los seis meses de almacenamiento; mientras que, las variedades intermedias y oscuras perdieron su color rojo lentamente.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El presente estudio permitirá dar lineamientos para mejorar o conservar la calidad del frijol almacenado como reserva estratégica en las bodegas del Instituto Hondureño de Mercadeo Agrícola (IHMA).

Es de suma importancia para Honduras, y en general en los países latinoamericanos, conservar la calidad del frijol y saber que condiciones son las adecuadas para el almacenamiento; de no ser así, podría representar grandes pérdidas económicas y de calidad y al mismo tiempo pone en riesgo la seguridad alimentaria de la nación.

1.4. LIMITES DEL ESTUDIO

- Este estudio se limitó a la evaluación de la calidad del frijol en las bodegas del IHMA, durante ocho meses.
- Los análisis que se realizaron al frijol fueron cada 15 días.
- La temperatura de cocción puede ser variable con otros estudios debido a la altitud que se encuentra el laboratorio donde se realizaron los análisis (800 msnm).

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

- Evaluar la calidad del frijol (*Phaseolus vulgaris*) almacenado como reserva estratégica, en las bodegas del IHMA. Tomando en cuenta factores físicos y químicos en un período de 240 días.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la calidad del frijol almacenados en las bodegas del IHMA, cada 15 días durante 240 días.
- Correlacionar los resultados de los análisis físicos y químicos, y determinar qué factores afectaron el tiempo de cocción del frijol tinto y rojo.
- Determinar que clase comercial de frijol conserva mejor su calidad durante el período de almacenamiento.
- Proyectar el tiempo máximo de almacenamiento, con base en el tiempo de cocción, en condiciones ambientales presentadas durante el estudio.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. IMPORTANCIA DEL FRIJOL

El frijol común (*Phaseolus vulgaris*), es un alimento de gran importancia económica y social para muchos países latinoamericanos. Los frijoles son una importante fuente de proteína vegetal para la población, fundamentalmente en áreas rurales, a la vez es una fuente de ingresos para los pequeños productores. En Honduras, dentro de los granos básicos, el frijol ocupa el segundo lugar después del maíz, tanto por la superficie sembrada como por la cantidad que consume la población (38.1 g. por día por persona).

Según Rosas (1998), el frijol común es un cultivo principalmente de pequeños agricultores en las regiones de América Latina, África y Asia, donde predominan países en proceso de desarrollo, y donde se produce aproximadamente 77% de la producción mundial. Sin embargo, en países desarrollados de América del Norte, Europa y la región Pacífica es un cultivo de alta tecnología y un rubro de exportación, que representa aproximadamente el 23% de la producción mundial.

Los frijoles juegan un papel importante en la nutrición para muchos países latinoamericanos, ya que son uno de los pocos alimentos ricos tanto en carbohidratos (61.4%) como en proteínas (21.5%), minerales (hierro, calcio y fósforo) y calorías (334 cal/100g) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Composición estructural de alimentos.

Alimento	Agua (%)	Calorías Cal/100g	Proteína (%)	Grasa (%)	Carbohidratos (%)
Frijol	12	334	21.5	1.2	61.4
Soya	8	353	38	18	31.1
Arroz	13	360	6.7	0.7	78.9
Maíz	12	360	9.3	4	73.5
Trigo	13	360	6.7	0	78.9

Fuente: Zaumeyer (1968) modificado por Sergio Enamorado.

2.2. CONSUMO DE FRIJOL EN HONDURAS

Según MFEWS (2007), La Encuesta Agropecuaria Básica del Instituto Nacional de Estadística (INE) de noviembre del 2006, la producción nacional de frijol para el ciclo 2006/07 será un 17% menor a la del ciclo 2005/06. El consumo neto *per cápita* de frijol es de 38.1 gramos por persona por día, lo que ocasiona una demanda nacional por año de aproximadamente 2.18 millones de quintales de frijol (98 mil toneladas métricas). Para el ciclo 2006/07 la producción nacional aportará un 73% de esta demanda. El INE ha proyectado una importación de frijol de 0.23 millones de quintales (10 mil toneladas métricas) que servirán para cubrir un 10%, quedando un déficit de 17% de la demanda.

Según Rosas (2003), el grano de frijol seco es consumido en una gran variedad de platillos. En Centro América, el frijol “parado” y “guisado” (Honduras), el frijol frito (Honduras) o refrito (Guatemala) se consume principalmente con tortillas de maíz; mientras que en México los frijoles se acompañan con tortillas de harina de trigo. Por otro lado, los frijoles se consumen de diversas formas en otros países. El frijol entero revuelto con arroz se consume en muchos países, donde se le conoce como “gallo pinto” (Nicaragua y Costa Rica), “casamiento” (Honduras), “moros y cristianos” (Caribe) o “tacu-tacu” (Perú).

2.3. ÉPOCA DE SIEMBRA

El frijol se siembra principalmente de acuerdo al régimen de lluvias. Siendo un cultivo de ciclo corto, normalmente puede sembrarse hasta dos veces por año. En muchas regiones la época de siembra depende de la siembra de otros cultivos de ciclo más largo (maíz o arroz), con respecto a los cuales debe ajustarse las siembras de frijol. En la mayoría de sistemas, el frijol se siembra en la parte final del ciclo de lluvias ya que por ser ciclo corto puede adaptarse mejor; sin embargo, las lluvias insuficientes son uno de los factores limitantes de la producción de frijol en muchas regiones. En el caso del trópico si se dispone de agua para riego se puede sembrar en cualquier periodo del año (Rosas, 2003).

2.4. COSECHA Y TRILLA

Según Rosas (2003), la cosecha del frijol se realiza después de completarse la madurez fisiológica, cuando la mayoría de las hojas se han caído y la mayoría de las vainas se han secado. En esta época se arranca las plantas y se amontonan en hileras en el campo con las raíces hacia arriba; esto permite que las plantas terminen de secarse al sol por dos o tres días. El secado permite que las vainas se abran con facilidad al momento de la trilla, y los granos contengan aproximadamente 14% de humedad. La madurez de cosecha deberá coincidir con periodos secos, como ocurre en las siembras de postrera en Centroamérica.

2.5. ALMACENAMIENTO DEL FRIJOL

La producción de frijol en Centroamérica es estacional lo que causa que en ciertas épocas del año exista una sobreoferta del producto causando una caída de su precio. Esto obliga a almacenar el grano para poder venderlo en épocas de escasez para obtener un mejor precio. La forma tradicional de almacenar el frijol es en silos o bodegas, en donde se presentan de manera frecuente temperaturas altas y muy fluctuantes (Martínez, 2005). Esto causa un problema de oscurecimiento del grano ya que las antocianinas, que proveen el color rojo al frijol, se degradan bajo éstas condiciones.

Una vez cosechado y limpio, el grano de frijol es llevado en sacos hacia el lugar donde se almacena hasta su consumo o venta. Previo al almacenamiento es necesario reducir el contenido de humedad del grano a un 12-13%, a fin de asegurar una buena conservación durante el almacenamiento.

Esto se puede lograr exponiéndolo al sol si las condiciones son adecuadas; si existe demasiada humedad ambiental y posibilidad de lluvia es necesario recurrir al secado artificial, lo cual incrementa los costos. Lo mejor es producir en épocas en que la cosecha del grano coincida con las épocas suficientemente secas.

Los granos almacenados son afectados por factores físicos como la humedad y la temperatura, y biológicos como hongos, insectos y roedores. Se debe almacenar el grano de frijol con la humedad adecuada, y en un lugar ventilado y protegido de la intemperie, ya que las altas temperaturas y humedad favorecen el desarrollo de hongos e insectos y reducen la calidad fisiológica del grano (Rosas, 2003).

2.6. CALIDAD

El concepto de calidad como en todos los bienes de consumo es relativo a las preferencias de los consumidores. En nuestro caso factores tales como: los relacionados con la producción por unidad de área, la aceptabilidad por parte de los consumidores y los nutritivos deben entenderse de forma conjunta por parte de todos los actores involucrados en la cadena agroalimentaria del frijol. Aunado a los factores relacionados a la calidad se encuentra el fenómeno por todos conocido, pero por pocos entendido, del aumento en el tiempo de cocción (Carmona, 2000).

2.7. TIEMPO DE COCCIÓN

Es el tiempo requerido para que por lo menos el 90% de los granos de la muestra sometidos a la prueba de cocción, alcancen su cocimiento. Se define como frijol cocido cuando el grano presenta una textura granular y suave para el paladar (Pérez, 2002).

El tiempo de cocción está influenciado por la resistencia de la cáscara para absorber agua durante el remojo previo a la cocción. Esta resistencia se produce al almacenar el grano a alta temperatura y a baja humedad. A este fenómeno se le conoce como cáscara dura.

También, puede ocurrir que al almacenar a alta temperatura y alta humedad, los cotiledones no se suavicen durante la cocción aunque el frijol absorba agua. A esto se le conoce como endurecimiento (Reyes y Moreno, 1989).

La principal característica que utilizan los consumidores para definir sus preferencias es el tiempo de cocción y el sabor. Se detectó que entre los consumidores de frijol los hábitos preferenciales están muy arraigados pues el 70% declaró no estar dispuesto a cambiar el frijol de su preferencia aún cuando la clase alternativa fuese más barata. Por otro lado, los consumidores normalmente no remojan el grano en agua ni agregan sal al inicio del proceso de cocción para no afectar el sabor y apariencia del frijol (Castellanos *et al.*, 1997).

2.8. CLASIFICACIÓN POR COLOR DEL FRIJOL ROJO

Melgar (2004) desarrolló una escala para clasificar el frijol rojo centroamericano (Cuadro 2), con el objetivo de ayudar a los comercializadores del producto a tener una herramienta útil para ajustar precios utilizando como parámetro el color. Con esta escala, el frijol Rojo de Seda clasifica como un grado 1. Una clasificación inferior a esta (de 2 a 9) causa una disminución en el valor comercial del producto.

Cuadro 2. Rangos de color en la escala $L^*a^*b^*$ para frijol de grano rojo.

Escala Propuesta	Rangos					
	L_1^*	L_2^*	a_1^*	a_2^*	b_1^*	b_2^*
1	21.2925	20.0563	14.4912	12.3400	3.8233	3.1745
2	20.0562	19.4381	12.3399	11.2643	3.1744	2.8500
3	19.4380	18.8199	11.2642	10.1886	2.8499	2.5255
4	18.8198	18.2017	10.1885	9.1129	2.5254	2.2010
5	18.2016	17.6002	9.1128	8.0372	2.2009	1.8765
6	17.6001	16.9820	8.0371	6.9615	1.8764	1.5520
7	16.9819	16.3638	6.9614	5.8858	1.5519	1.2275
8	16.3637	15.7456	5.8857	4.8101	1.2274	0.9030
9	15.7455	15.1274	4.8100	3.7344	0.9029	0.5785

Fuente: Melgar (2004).

L: 0-100 (0 es más negro y 100 es más blanco).

a^* : (positivo = rojo, negativo = verde).

b^* : (positivo = amarillo, negativo = azul).

2.9. COLOR

Los objetos modifican la luz. Los colorantes, como los tintes y pigmentos, al aplicarlos al objeto, absorben selectivamente unas longitudes de onda de luz incidente, mientras que reflejan o transmiten sus complementarias (HunterLab, 2000).

El Colorflex® Hunter L*a*b* funciona con un espacio de color rectangular de 3-dimensiones basada en la Teoría de los Colores-Opuestos. – Eje “L” (luminosidad) – 0 es negro, 100 es blanco. Eje “a” (rojo-verde) -los valores positivos son rojos; los valores negativos son verdes y 0 es neutro. Eje “b” (azul-amarillo) – los valores positivos son azules; los valores negativos son amarillos y 0 es el neutro (HunterLab, 2000).

2.10. HUMEDAD

El nivel de humedad de los granos influye directamente sobre su velocidad de respiración. Los granos almacenados con humedad de entre 11 y 13%, tienen un proceso respiratorio lento. Sin embargo, si se aumenta el contenido de humedad, se acelera considerablemente la respiración y, en consecuencia, ocurre un deterioro. El nivel de humedad del producto es un factor fundamental para su conservación (FAO, 1993).

2.11. TEMPERATURA

Al estudiar la influencia de la temperatura sobre el proceso respiratorio de los granos, diversos investigadores concluyeron que la respiración aumenta rápidamente cuando la temperatura se eleva de 30° a 40°C, y a partir de este punto se produce un acentuado descenso del proceso. Por lo general, el aumento de la temperatura puede acelerar la respiración dos o tres veces hasta un cierto límite, arriba del cual disminuye como resultado de los efectos destructores de las altas temperaturas sobre las enzimas (FAO, 1993).

Se sabe que la temperatura acelera los procesos metabólicos y en el caso de los polifenoles, una mayor temperatura causa modificaciones en su estructura causando cambios de color al grano (Shin, 2002).

La mayoría de los insectos que atacan los granos almacenados son de origen subtropical y tropical. Los límites de temperatura para el desarrollo de la mayoría de los insectos que atacan los granos almacenados varían entre 20 y 35°C (FAO, 1993).

2.12. HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa también afecta los procesos metabólicos, ya que mientras más humedad existe en el ambiente, el producto es más propenso a ganar humedad acelerando los procesos que ocurren en la testa.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN DEL ESTUDIO.

El estudio se llevó a cabo en las bodegas del IHMA en Tegucigalpa, Honduras, a una altura de 990 msnm. Mientras que los análisis físicos y químicos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de Granos y en el Laboratorio de Análisis de Alimentos Zamorano (LAAZ), de la Escuela Agrícola Panamericana, ubicada en el Valle del Yegüare, Departamento de Francisco Morazán, Honduras, con una precipitación de 1100 mm por año y una altura de 800 msnm.

3.2. MATERIALES

- Cristalería de laboratorio.
- Agua destilada.
- Medidor de humedad para muestras de 250 g. (SAMAP-O-TEST) Probador de humedad “Motomco”.
- Colorimétrico Colorflex HunterLab Reston, VA.
- Zarandas.
- Cribas.
- Cuatro ollas de aluminio (ANA) con capacidad de 2.5 L.
- Higrómetro Cole Palmer.
- Termómetro Cole Palmer.
- Cronómetro.
- Balanza digital.
- Estufa de gas de 4 hornillas, marca Tropigas.
- Homogenizador de granos.

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Diseño experimental

El presente estudio consistió en la evaluación de las condiciones de almacenamiento del frijol en las bodegas del IHMA bajo las condiciones de temperatura y humedad relativa actuales de almacenamiento. Se quería conocer como esta calidad cambia con el tiempo (240 días). Se realizó un diseño DCA con medidas repetidas en el tiempo para los dos tratamientos (Tr1= frijol Tinto; Tr2= frijol Rojo), con tres repeticiones para cada tratamiento para disminuir el error experimental. Las variables evaluadas fueron el contenido de humedad, total de grano dañado, tiempo de cocción y el color $L^*a^*b^*$.

3.3.2. Métodos

Durante el estudio se realizaron ocho muestreos en un periodo de 240 días, tiempo suficiente para poder dictar conclusiones de almacenamiento de los granos. Los dos primeros análisis fueron realizados en el IHMA. El primer análisis fue el de la compra del frijol día cero (Diciembre 2006); el segundo se realizó 133 días después. Luego de 38 días se comenzó a realizar los análisis a intervalos de 15 días.

La calidad inicial con que se compró el frijol rojo y tinto fue CA-3, bajo las normas de Zamorano, con una humedad de 14.0%, total de grano dañado de 3.0% y tiempo de cocción de 60 min.

3.3.3. Procedimiento de muestreo

Las muestras de frijol fueron cosechadas y almacenadas en diciembre 2006 y enero-febrero de 2007, con un total de 14,350 qq provenientes de diferentes productores del país, los cuales pasaron por un proceso de limpieza y secado uniforme para almacenarlas bajo condiciones adecuadas, con 14% de humedad y 1 % de impurezas.

El método de muestreo que se utilizó fue un muestro simple aleatorio con un muestreador alvéolo. El tamaño de la sub-muestras fue calculado por medio de la ecuación 1, teniendo para las estibas 1, 2, 3 y 4 un número de sacos de 11, 13, 12 y 14, respectivamente. Se procedió a homogenizar las muestras por clase comercial de frijol teniendo un total de 115 sacos para el tinto y 135 sacos para el rojo, con el objetivo de garantizar una toma de muestra representativa del lote de granos y que los resultados puedan ser confiables, y tomando en cuenta de no muestrear los sacos de las esquinas para evitar el debilitamiento de las estibas.

$$\text{Tamaño submuestras} = \frac{\sqrt{\text{Cantidad de sacos en la estiba}}}{\text{Número de caras}} = \text{No. de sacos a muestrear [1]}$$

3.3.4. Tamaño de muestra

El tamaño de cada muestra enviada al Laboratorio de Tecnología de Granos de Zamorano previamente identificadas fue de 2 kg por cada estiba, las cuales fueron divididas en 1 kg para los análisis realizados y 1kg para archivo.

3.3.5. Análisis Físicos y Químicos

Se procedió a determinar parámetros de almacenamiento como humedad relativa (con un higrómetro) y temperaturas (con termómetro) de la bodega donde se almacenó el frijol rojo y tinto. Para este estudio le daremos mayor importancia a las temperaturas tomadas al medio día, ya que estudios anteriores demuestran que las temperaturas altas son las que mayor efecto tienen sobre la calidad del frijol.

El proceso de los análisis en el laboratorio se inició con un análisis organoléptico de olor, número total de insectos y apariencia; después se procedió a la homogenización y división de la muestras. Luego se procedió a realizar el análisis selectivo tales como porcentaje de humedad, porcentaje de impurezas, porcentaje de daño por hongo, porcentaje de daño por calentamiento, otros daños, total del grano dañado, tiempo de cocción y calidad; evaluada bajo las normas de calidad del Zamorano (Anexo 1).

Normas de calidad para el frijol en Zamorano:

CA-1 = Total de daño 0 a 0.5%.

CA-2 = Total de daño 0.51 a 1.0%.

CA-3 = Total de daño 1.1 a 3.5%.

CA-4 = Total de daño 3.6 a 5.0%.

SM = Total de daño 5.1% en adelante.

3.3.6. Determinación del porcentaje de humedad del grano

El porcentaje de humedad se determinó a través del método indirecto (dieléctrico) utilizando el medidor de humedad para muestras de 250 g (SAMAP-O-TEST) de marca “Motomco”. A continuación el procedimiento:

- Determina la humedad para una muestra de 250 gramos; tomar la lectura de la temperatura y luego calibrar el “Motomco”.
- Depositar el grano en la tolva receptora y girar el switch función a la posición de operación.
- Presionar el botón de disparo de la tolva receptora para que el grano se deposite en la cámara de medición.
- Girar la perilla (derecha) hasta que alcance la posición más baja, a la izquierda del dial.
- Observar la lectura y se determinar el contenido de humedad por medio de las tablas de humedad.
- Para temperaturas diferentes de 25°C, realizar el ajuste por temperatura y por lecturas sumando los ajustes (Anexo 2).

3.3.7. Análisis tiempo de cocción

Para determinar el tiempo de cocción se utilizó el método tradicional, el que se utiliza en los hogares. Para eso fue necesario llevar a ebullición dos ollas con agua a un mismo nivel de 1500 ml. Después que alcanzó la ebullición se introdujo la muestra de 500 g de frijol previamente lavados y se tomó la hora de inicio del análisis, para la pérdida de vapor fue necesario mantener el nivel aproximadamente 5 cm sobre los frijoles.

Después de 60 min y a intervalos de 15 min, se tomó 50 granos y se presionaron uno por uno con los dedos índice y pulgar. Se consideró granos cocidos a todos aquellos que al presionarlos tenían una consistencia suave y granulosa. Para la hora de finalización, se tomó el tiempo necesario para que por lo menos el 90% de los granos probados estuvieran cocidos.

3.3.8. Análisis de total de grano dañado

El total del grano dañado fue determinado pesando en la balanza digital 250 g de la muestra de frijoles. Esta se colocó en una zaranda con el objetivo de apartar las impurezas; Luego se procedió a separar visualmente los granos quebrados y partidos. Por ultimo, se colocó la muestra sobre una bandeja de fondo blanco y se clasificaron los granos dañados por hongos, por insectos, por calentamiento y otros. Se pesó y se calculó los porcentajes, los cuales se suman para calcular el porcentaje del total de grano dañado.

3.3.9. Análisis colorimétrico ColorFlex HunterLab

- Se colocan las muestras en recipientes plásticos.
- Se toma una sub-muestra con la copa especial transparente del Colorflex.
- Se coloca la copa con la sub-muestra en la región de lectura de color del Colorflex.
- Se corre el software, para el análisis de la muestra.
- Se toman los datos de L^* a^* b^* .
- Se ordenan los datos en el Programa de cálculo Microsoft Office Excel.
- Se analizan los datos utilizando el programa estadístico “Statistical Analysis System” (SAS®) v. 9.1.

3.3.10. Análisis estadístico

Se utilizó el programa Sistemas de Análisis Estadístico (SAS® por sus siglas en inglés) evaluando los resultados con un nivel de significancia de 5% ($p < 0.05$). Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con medidas repetidas en el tiempo para los dos tratamientos. Para observar si hubo efecto en las variables se realizaron separaciones de medias Tukey para cada clase comercial de frijol, por cada 15 días.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CONTENIDO DE HUMEDAD DEL GRANO DE FRIJOL

Según los resultados obtenidos por medio del programa estadístico “SAS”. El comportamiento en cuanto al contenido de humedad observamos que ambas clase comerciales de frijol perdieron humedad en el transcurso del tiempo. El frijol fue almacenado con una humedad de 14% en promedio para las dos clases y al final del estudio 240 días después el contenido de humedad promedio fue de 12.19%, lo cual representa una diferencia de 1.81% en humedad. Las condiciones de almacenamiento en las bodegas del IHMA fueron de una temperatura promedio de 29 °C y una humedad relativa de 69%. (Anexo 3 y 4). Según estudios anteriores se recomienda almacenar el frijol con una humedad promedio entre 12 y 13%.

El contenido de humedad del frijol tinto y rojo tuvo un comportamiento similar (Cuadro 3). Siendo el día cero el que tiene significativamente el mayor contenido de humedad, mientras que el día 240 tiene significativamente el menor contenido de humedad. Se encontraron diferencias estadísticas en cada análisis para cada variedad.

Cuadro 3. Análisis de varianza de humedad del grano y separación de medias Tukey para las dos clases de frijol.

Clases de frijol		
Días	Tinto	Rojo
0	14.00 ± 0.00 ^a	14.00 ± 0.00 ^a
133	12.42 ± 0.00 ^c	13.01 ± 0.00 ^b
171	12.80 ± 0.10 ^b	12.53 ± 0.06 ^c
183	12.82 ± 0.06 ^b	12.45 ± 0.13 ^{cd}
197	12.69 ± 0.01 ^b	12.35 ± 0.02 ^{cd}
211	12.41 ± 0.13 ^c	12.29 ± 0.07 ^{de}
225	12.28 ± 0.06 ^c	12.37 ± 0.07 ^{cd}
240	12.24 ± 0.08 ^c	12.13 ± 0.07 ^e

Análisis humedad del frijol tinto y rojo almacenado en bodegas del IHMA

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

Por otro lado, el estadístico de wliks' lambda ($Pr>F$: 0.0001) afirma que existió un efecto del tiempo de almacenamiento sobre la humedad del frijol tinto y rojo. También existió una variación entre las dos clases de frijol (wliks' lambda $Pr>F$: 0.0001).

4.2. TIEMPO DE COCCIÓN

El comportamiento en cuanto al tiempo de cocción, podemos observar que aumentó durante la realización del estudio 240 días (figura 1). Esto puede estar relacionado con el porcentaje de daño total del grano y el contenido de humedad. Para eso se realizó un estudio de correlación para ver si estos parámetros tienen influencia en el aumento del tiempo de cocción del frijol rojo y tinto.

Un estudio realizado por Mora (1982), también encontró un aumento en el tiempo de cocción debido a alto contenido de humedad (15%) y temperatura de almacenamiento. A diferencia de este estudio, el tiempo de cocción fue aumentado mientras que el contenido de humedad fue decreciendo, debido a las altas temperaturas reportadas en la bodega. El incremento en daño por calentamiento está relacionado con el aumento en el tiempo de cocción.

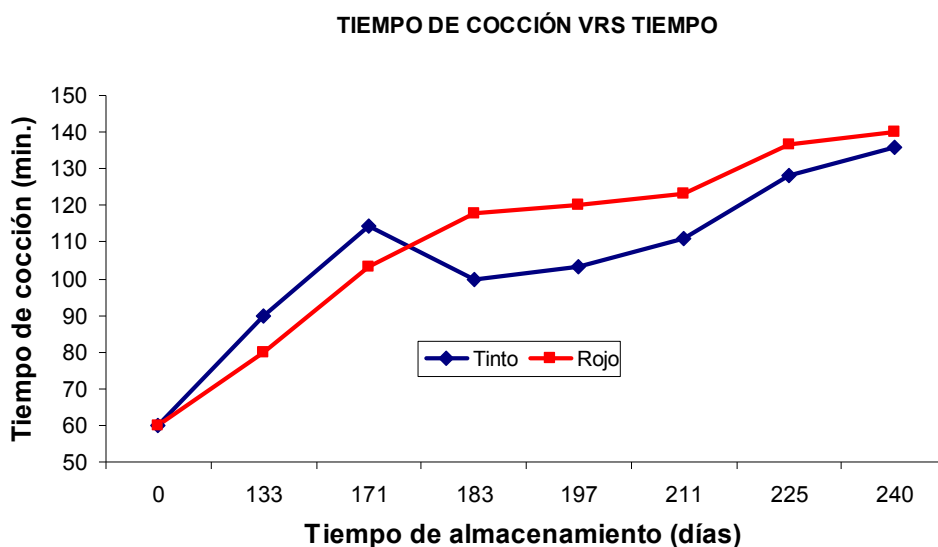


Figura 1. Aumento del tiempo de cocción en relación al tiempo de almacenamiento del grano.

Para las dos clases comerciales de frijol tinto y rojo, se pudieron observar aumentos graduales con el paso del tiempo, comenzando ambas con un mismo tiempo de cocción de 60 min se encontró diferencia estadística significativa ($Pr<0.05$) de las clases de frijol en el tiempo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza de tiempo de cocción y separación de medias Tukey para las dos clases de frijol en relación a los días de almacenamiento.

Clases de frijol		
Días	Tinto	Rojo
0	60.00 ± 0.00 ^a	60.00 ± 0.00 ^a
133	90.00 ± 0.00 ^b	80.00 ± 0.00 ^b
171	114.33 ± 4.04 ^d	103.33 ± 2.89 ^c
183	100.00 ± 0.00 ^c	117.67 ± 2.52 ^d
197	103.00 ± 2.89 ^c	120.00 ± 0.00 ^{de}
211	111.00 ± 3.61 ^d	123.33 ± 2.89 ^e
225	128.33 ± 2.89 ^e	136.67 ± 2.89 ^f
240	136.00 ± 1.73 ^f	140.00 ± 0.00 ^f

Análisis de tiempo de cocción del frijol tinto y rojo almacenado en bodegas del IHMA.
Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

Por otro lado no hubo diferencia significativa (Pr<0.05) en cuanto al tiempo de cocción al final del estudio día 240, para las dos clases de frijol (Cuadro 5), los tiempos de cocción más altos los encontramos en ambas clases.

Cuadro 5. Análisis de varianza de tiempo de cocción y separación de medias Tukey para las dos clases comerciales de frijol en el día 240.

Clases de frijol		
Día	Tinto	Rojo
240	136.00 ± 1.73 ^a	140.00 ± 0.00 ^a

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

El estadístico de wliks' lambda (Pr>F: 0.0001) confirma que si existió un efecto del tiempo de almacenamiento sobre el tiempo de cocción del frijol rojo y tinto. También existió una variación entre ambas clases de frijol (wliks' lambda Pr>F: 0.0001).

4.3. TOTAL DE GRANO DAÑADO

El total del grano dañado esta clasificado según las normas de calidad de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. El frijol fue comprado y almacenado con un promedio de 3.00% de total de grano dañado (calidad CA-3), en ambas clases. Según el estadístico de wliks' lambda ($Pr > F$: 0.0001), confirma que si existió un efecto del tiempo de almacenamiento sobre el total del grano dañado del frijol rojo y tinto. También existió una variación entre las clases de frijol tinto y rojo (wliks' lambda $Pr > F$: 0.0001).

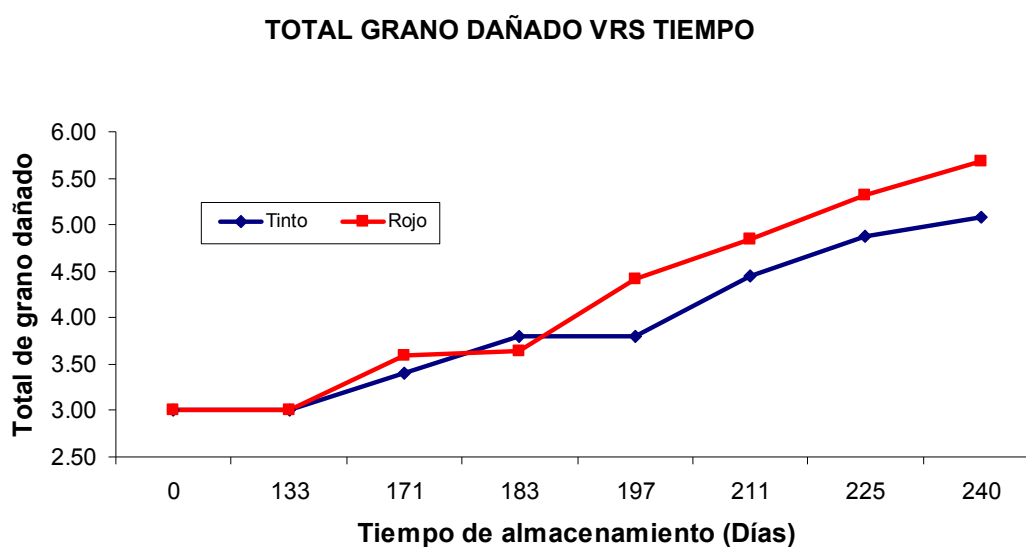


Figura 2. Incremento del total de grano dañado durante el almacenamiento (240 días) de granos de dos clases comerciales de frijol.

Podemos observar que los porcentajes en cuanto al total de grano dañado, en los primeros 133 días de almacenamiento no presentaron diferencias estadísticas significativas $Pr < 0.05$, para las dos clases de frijol, conservando su calidad CA-3 (Cuadro 6). Después de 38 días, el total de granos dañados para las dos clases de frijol fueron incrementando durante el estudio de 240 días de almacenamiento (Figura 2).

En el último análisis realizado, el frijol rojo pasó a calidad de SM (total de grano dañado de 5.1% en adelante). Mientras que la clase de frijol tinto terminó con una calidad CA-4.

El aumento en el total de grano dañado se debe a factores como grano dañado por hongos, grano dañado por insectos, y principalmente, daño por calentamiento. En la literatura encontramos que el efecto de altas temperaturas entre 20° y 35°C, son condiciones favorables para el crecimiento de insectos (FAO, 1993).

Cuadro 6. Análisis de varianza y separación de medias Tukey de total de grano dañado durante el almacenamiento de grano de dos clases comerciales de frijol.

Clase de frijol		
DÍAS	Tinto	Rojo
0	3.00 ± 0.00 ^a	3.00 ± 0.00 ^a
133	3.00 ± 0.00 ^a	3.00 ± 0.00 ^a
171	3.41 ± 0.09 ^b	3.59 ± 0.01 ^{ab}
183	3.80 ± 0.10 ^c	3.65 ± 0.10 ^b
197	3.80 ± 0.16 ^c	4.42 ± 0.31 ^c
211	4.45 ± 0.04 ^d	4.85 ± 0.25 ^{cd}
225	4.88 ± 0.19 ^e	5.32 ± 0.17 ^{de}
240	5.08 ± 0.11 ^e	5.69 ± 0.39 ^e

Análisis daño total del grano de frijol tinto y rojo almacenado en bodegas del IHMA
 Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

4.4. ANÁLISIS COLORIMÉTRICO

Los resultados obtenidos del análisis realizado para el valor L* (blanco y negro), a* (rojo y verde) y b* (amarillo y azul), medidos por el ColorFlex HunterLab, demuestran que existió interacción entre las dos clases de frijol (rojo y tinto), con el tiempo de almacenamiento de acuerdo con estadístico wilk's Lambda con una probabilidad significativamente alta (Pr<0.0001).

De acuerdo con la escala L*a*b* para frijol de grano rojo propuesta por Melgar (2004), no se pudieron clasificar las dos clases de frijol, ya que los valores obtenidos por el estudio son mayores a los propuestos.

4.4.1. Valor L*

Los valores para la claridad en las dos clases de frijol presentaron cambios significativos (Pr<0.05) durante el estudio (Cuadro 7), teniendo una tendencia a perder claridad la clase de frijol rojo con un R² de 0.78, mientras que la clase de frijol tinto presento aumentos y descensos en el tiempo con un R² de 0.35, por lo que podemos decir que el tiempo no tubo efecto sobre la claridad del frijol tinto (Figura 3). La evaluación de claridad es más importante para frijoles que no tengan valores altos de color rojo.

Según Taleón (2005), la claridad del frijol no es afectada por el tiempo ya que ocurrieron aumentos y descensos que no fueron significativos.

Cuadro 7. Análisis de varianza y separación de medias Tukey para el valor de claridad de dos clases comerciales de frijol durante el almacenamiento de 240 días.

Color L*		
Clase de frijol		
DÍAS	Tinto	Rojo
171	16.92 ± 0.29 ^d	24.08 ± 0.09 ^a
183	18.21 ± 0.12 ^b	22.58 ± 1.68 ^a
197	18.76 ± 0.11 ^a	24.07 ± 0.35 ^a
211	18.03 ± 0.35 ^{cb}	22.45 ± 0.02 ^a
225	17.55 ± 0.03 ^c	19.86 ± 0.06 ^b
240	16.90 ± 0.04 ^d	19.17 ± 0.11 ^b

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

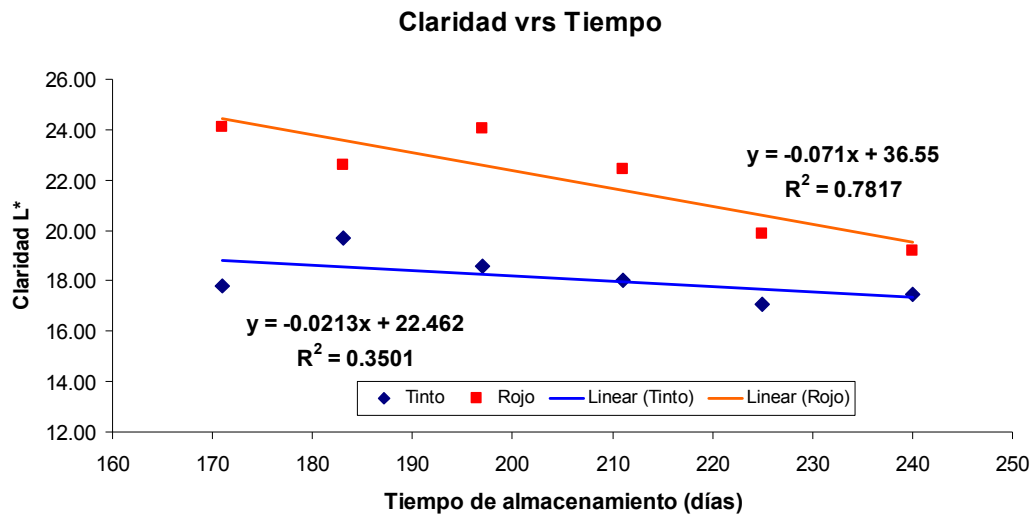


Figura 3. Análisis de la claridad (L*) del grano de dos clases comerciales de frijol almacenado por 240 días.

4.4.2. Valor a*

Para el valor a* (rojo) que en este caso es el color de mayor interés, se observó que en ambas clases de frijol presentó un coeficiente de determinación (R^2) arriba de 0.86 (Figura 4), que indican que el 86% de los datos se ajustan al modelo. También describe una tendencia lineal negativa, es decir que por cada día más de almacenamiento el color rojo disminuirá en intensidad, bajo las condiciones de almacenamiento reportadas. Este resultado concuerda con el estudio realizado por Taleón (2005), donde se encontró que el color rojo fue reduciendo su intensidad por efecto de altas temperaturas de almacenamiento entre 26° y 28 ° C, las que provocan que las antocianinas de la testa del frijol interactúen con otros compuestos.

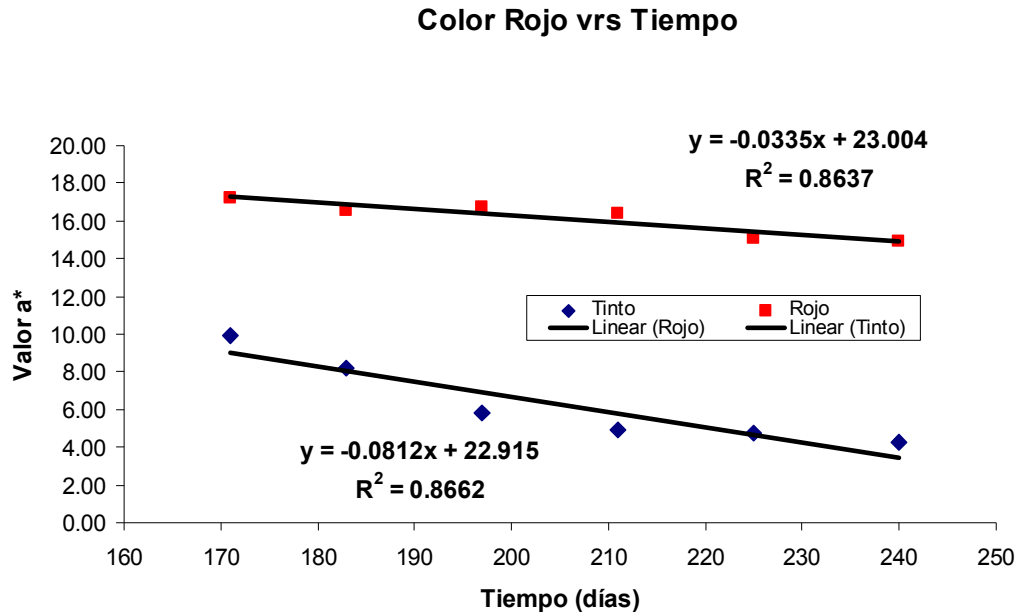


Figura 4. Análisis de valor a* del grano de dos clases comerciales de frijol almacenado por 240 días.

4.4.3. Valor b*

La clase de frijol rojo presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 0.11 (Figura 5), lo cual indica que los datos no se acomodan al modelo y que el tiempo no tuvo efecto sobre el color amarillo ya que se observaron aumentos y descensos (Cuadro 8).

$$Y = -0.0311x + 8.3044 \quad [2]$$

Para la clase de frijol tinto la ecuación 2 describe una tendencia lineal negativa, es decir que por cada día más en almacenamiento el color amarillo disminuirá. El coeficiente de determinación (R^2) para la ecuación 2 fue de 0.8966 (Figura 5).

Cuadro 8. Análisis de varianza y separación de medias Tukey para el color amarillo de dos clases comerciales de frijol durante el almacenamiento de 240 días.

Valor b*		
Clase de frijol		
DÍAS	Tinto	Rojo
171	1.57 ± 0.01^{ab}	6.74 ± 0.20^b
183	1.85 ± 0.08^a	6.19 ± 0.44^b
197	1.73 ± 0.18^{ab}	7.54 ± 0.12^a
211	1.71 ± 0.15^{ab}	7.37 ± 0.06^a
225	1.40 ± 0.09^b	4.86 ± 0.06^c
240	0.52 ± 0.22^c	4.84 ± 0.07^c

Letras diferentes denotan diferencias estadísticamente significativas ($P < 0.05$).

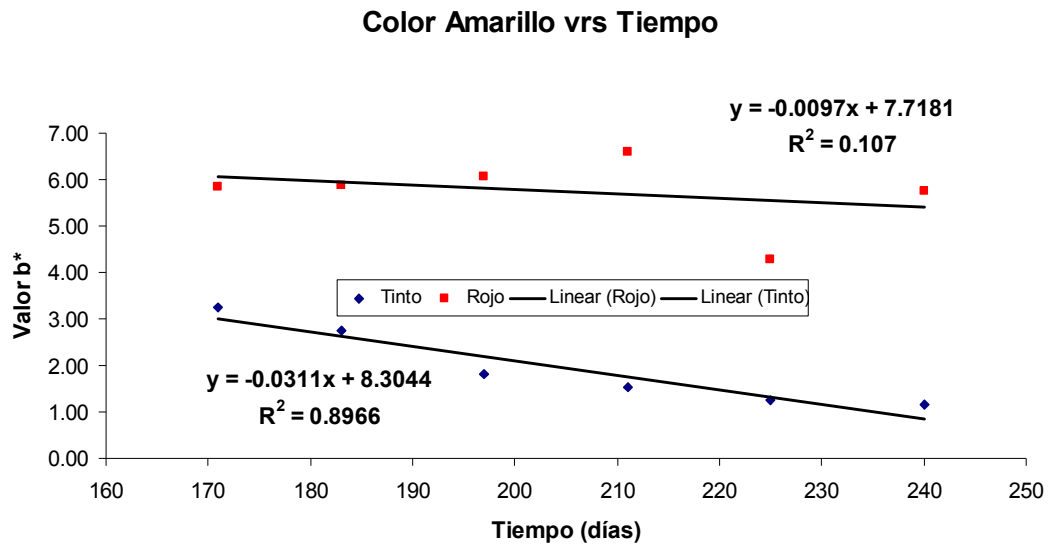


Figura 5. Análisis de Valor b* del grano de dos clases comerciales de frijol almacenado por 240 días.

4.5. CORRELACIONES

Se tomó en cuenta las correlaciones que existen entre las variables y el tiempo de cocción, ya que es nuestro indicador de interés (Cuadro 9).

Cuadro 9. Correlaciones entre tiempo de cocción y la humedad del grano, el total de grano dañado, y el color L*a*b*.

	Coeficiente de Pearson				
	Pr> r				
	Humedad	Daño	L*	a*	b*
Tiempo de cocción	-0.6	0.7	-0.35	-0.18	-0.2
	<0.0001	<0.0001	0.0002	0.06	0.0412

4.5.1. Tiempo de cocción – humedad

Se encontró que existe una correlación negativa (-0.6, $p < 0.0001$), entre la humedad del grano y tiempo de cocción. Es decir que entre menor sea la humedad del grano, mayor será el tiempo de cocción. Tomando en cuenta esto, es recomendable mantener una humedad entre los 11 y 13% para no acelerar los procesos de degradación (FAO, 1993), para evitar influir en el aumento del tiempo de cocción, ya que el consumidor prefiere frijoles que sean rápidos de cocinar.

4.5.2 Tiempo de cocción – daño total del grano

Se encontró que existe una correlación positiva entre el total de grano dañado y el tiempo de cocción (0.7; $p < 0.0001$), es decir que entre mayor sea el daño total del grano mayor será el tiempo de cocción.

4.5.3. Tiempo de cocción –color L*

Se encontró que existe una correlación negativa entre el valor de claridad y el tiempo de cocción (-0.35; $p = 0.0002$), es decir que entre menor sea el valor de claridad L*, mayor será el tiempo de cocción.

4.5.4. Tiempo de cocción – color a*

No existió correlación entre el color rojo (a*) y el tiempo de cocción (-0.18; $p = 0.06$). Estudios anteriores encontraron que el color rojo del frijol se pierde como consecuencia de altas temperaturas mayores a 28° C.

4.5.5. Tiempo de cocción – color b*

Se encontró que existe una correlación negativa entre el color amarillo y el tiempo de cocción (-0.2; $p = 0.0412$), es decir que entre menor sea el color amarillo mayor será el tiempo de cocción.

4.6. TIEMPO DE ALMACENAMIENTO

Para determinar cuanto tiempo es posible almacenar los frijoles, se tomó como parámetro principal el tiempo de cocción, aunque es importante recordar que el contenido de humedad también tiene interacción en el total de días almacenados.

$$Y = 0.2719x + 54.785 \quad [3]$$

La ecuación 3 es la que mejor describe el comportamiento del frijol rojo y tinto en el almacenamiento. El coeficiente de determinación (R^2) fue de 0.9403 para la ecuación 3, es decir que el 94% de los datos se adaptan al modelo. La gráfica de la ecuación 3 se representa en la Figura 6.

Para comprender mejor esta ecuación se le dio un tiempo de cocción máximo de 130 min. Entonces despejando en la ecuación para x tenemos que el número de días almacenado es igual a 290 días, lo que equivale aproximadamente a 10 meses, bajo las condiciones de almacenamiento que actualmente tienen las bodegas del IHMA.

TIEMPO DE ALMACENAMIENTO

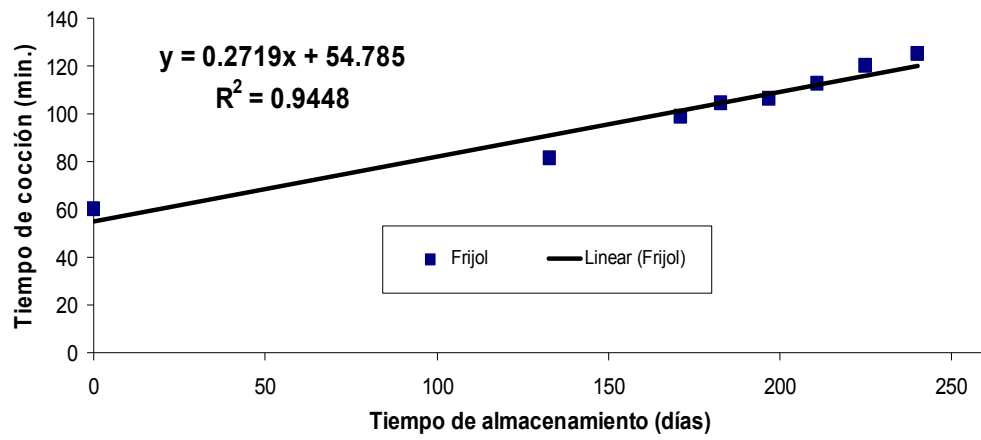


Figura 6. Aumento del tiempo de cocción del grano en promedio para dos clases comerciales de frijol durante 240 días de almacenamiento.

5. CONCLUSIONES

- Durante el período de almacenamiento (240 días) y bajo las temperaturas y humedad relativa de las bodegas del IHMA, se encontraron disminuciones del contenido de humedad y del color rojo, y aumento en el total de grano dañado y tiempo de cocción del frijol tinto y rojo.
- La clase comercial de frijol rojo terminó con una calidad SM, mientras que la clase comercial de frijol tinto terminó con mejor calidad CA-4.
- Entre menor fue el contenido de humedad, claridad y color amarillo mayor fue el tiempo de cocción del grano en ambas clases comerciales durante el periodo de almacenamiento.
- Se encontró una correlación positiva entre el porcentaje de daño total del grano y el tiempo de cocción durante el tiempo de almacenamiento, indicando que entre mayores daños totales del grano mayor tiempo tardará el frijol en estar cocido.
- Se determinó que no existe diferencia estadística en cuando al tiempo de cocción entre las dos clases comerciales de frijol durante el período de la investigación.
- Se demostró que el tiempo máximo de almacenamiento del frijol rojo y tinto en las bodegas del IHMA en relación al tiempo de cocción, es aproximadamente de 10 meses si se quiere sacar al mercado un frijol con tiempo de cocción recomendado (Máximo de 130 min).

6. RECOMENDACIONES

- Monitorear las variables de almacenamiento como humedad relativa y temperatura, para que en estudios posteriores se pueda determinar si estas tienen efecto significativos en el tiempo de cocción, la humedad del grano, el total del grano dañado y el color $L^*a^*b^*$, para de frijol almacenados.
- Realizar un estudio sobre el efecto del total grano dañado en el tiempo de cocción, bajo condiciones de almacenamiento controladas de alta temperatura 30° C y alta humedad relativa (>80%).
- Vender los frijoles antes del tiempo máximo de almacenamiento en relación, a las necesidades nacionales del producto y la producción de frijol en la época de primera de año 2008.

7. BIBLIOGRAFÍA

Bueso, F. J. 2004. Plan de estímulo de la producción de frijol rojo para consumo local y exportación usando nuevas variedades de alto rendimiento y óptima calidad de granos. Procesamiento Agroindustrial. Tegucigalpa, Honduras. 12 p.

Carmona, G. 2000. Manejo de Poscosecha Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): Factores de calidad, almacenamiento y efecto de endurecimiento en frijol (En Línea). Consultado el 10 de junio de 2007. Disponible en: http://www.mercanet.cnp.go.cr/Calidad/Poscosecha/Investigaciones/Granos_B%C3%A1sicos/Frijol.htm

Castellanos, J. Z., H. Guzmán M., A. Jiménez, C. Mejía, J. J Muñoz R., J. A. Acosta G., G. Hoyos, E. López S., D. González E., R. Salinas P., J. González A., J. A. Muñoz V., P. Fernández H. y B. Cáceres. 1997. Hábitos preferenciales de los consumidores de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 47 (2): 163-167.

Erazo, A. 2004. Deterioro de la calidad física y viabilidad de semillas de maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y sorgo (*Sorghum bicolor*) durante su almacenamiento en Zamorano. Proyecto Especial de Graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria. Zamorano, Honduras. 57 p.

FAO. 1993. Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural. Departamento de Agricultura. (En línea). Consultado el 10 de octubre de 2007. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/X5027S/X5027S00.htm>

HunterLab, 2000. Universal Software Version 4.0 and Above User's Manual. Hunter Associates Laboratory. Virginia, USA. 470 p.

Martínez, L., R. Bernsten y M. Zamora. 2004. Agronomía Mesoamericana. Estrategias de Mercadeo para el Frijol Centro americano. Agronomía mesoamericana 15(2): 121-130.

Melgar, H. 2004. Desarrollo de una escala colorimétrica digital de triple estímulo para grano de frijol rojo centroamericano. Proyecto Especial de Graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria. Zamorano, Honduras. 23 p.

Mendoza, O. 2003. Refinamiento de un prototipo de frijol cocido, molido y deshidratado para uso instantáneo. Proyecto Especial de Graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria. Zamorano, Honduras. 42 p.

MFEWS. 2006. Honduras: Situación de Seguridad Alimentaria Diciembre 2006. (En línea). Consultado el 10 de agosto de 2007. Disponible en: http://www.fews.net/centers/files/Honduras_200611es.pdf

Mora, M. A. 1982. Influencia de diferentes temperaturas y contenido de humedad sobre el tiempo de cocción de frijol (*Phaseolus vulgaris*) almacenado durante 18 meses. Agronomía Costarricense 6 (1/2): 87-89.

Pérez. C.A. 2002. Caracterización del frijol común por su calidad de cocción. Laboratorio de Calidad de Frijol. México, D. F. 9 p.

Reyes, J. M, Moreno C. 1989. Biodisponibilidad del almidón en dos variedades comerciales de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y en frijoles industrializados. México, D.F. 9 p.

Rosas, J.C. 2003. El Cultivo del frijol Común en América Tropical. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Imprenta Litocom, Tegucigalpa, Honduras, 57 p.

Rosas, J. C. 1998. El cultivo del frijol común en América Tropical. Zamorano, Honduras. Zamorano Academia Press. 52 p.

Shin, C. 2002. Effects of pH, sulfur dioxide, storage time, and temperature on the color and stability of red muscadine grape wine. AJEV 35(1):35-39.

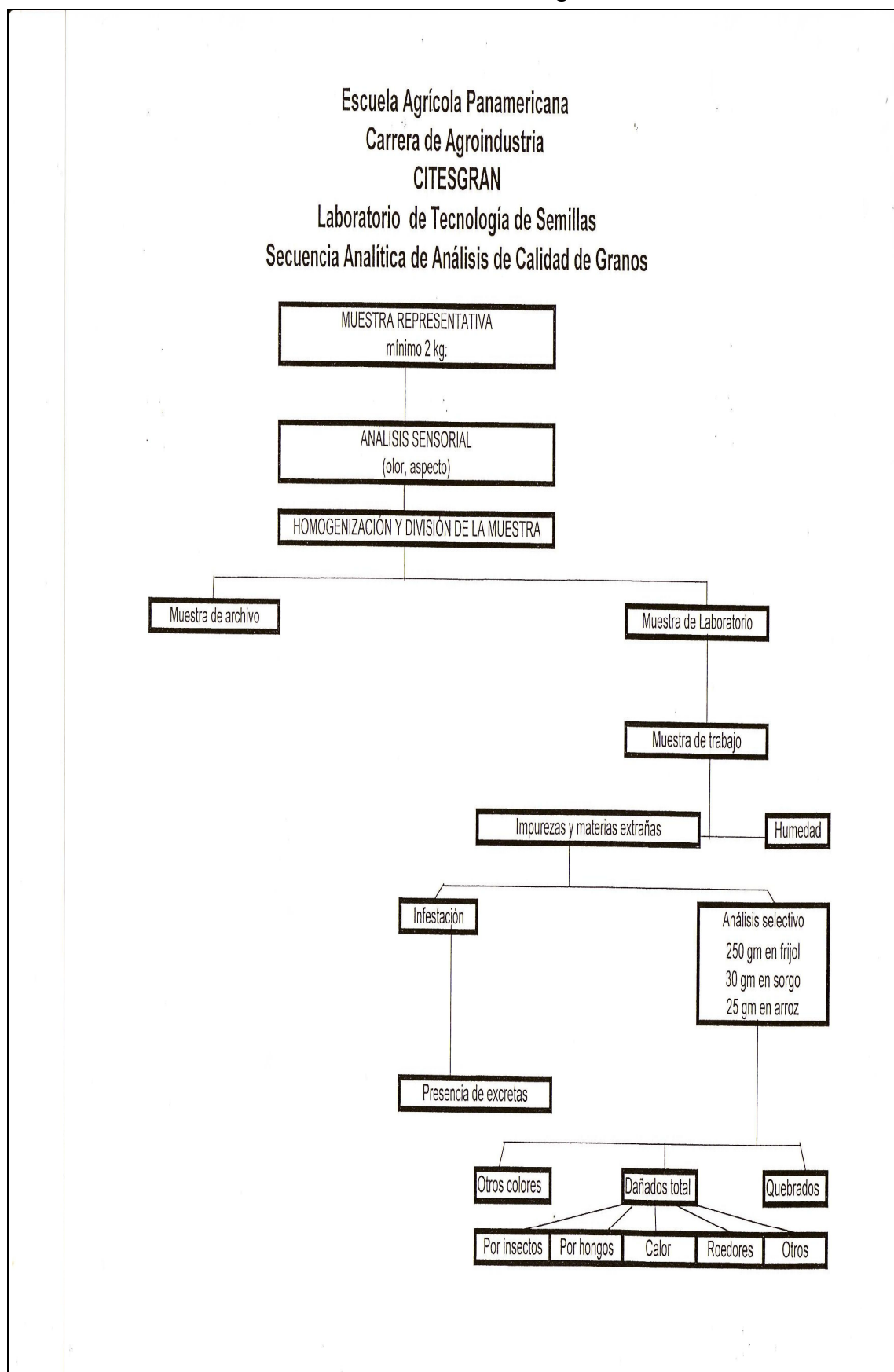
SIMPAH, 2006. Panorama de mercados centroamericanos (Honduras, Salvador y Nicaragua). (En línea). Consultado en 10 de octubre de 2007. Disponible en: http://www.sag.gob.hn/arch_desc/boletines/BOLETIN%20CENTRO%20AMERICA%20NO%2030%20de%20marzo%202006.pdf

Taleón, V. 2005. Efecto de la temperatura de almacenamiento en la estabilidad del color del grano de frijol rojo. Proyecto Especial de Graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria. Zamorano, Honduras. 32 p.

Zaumeyer, W.J. 1968. Informe de la Fundación Rockefeller sobre las leguminosas de grano de las tierras bajas del Trópico en América.

8. ANEXOS

Anexo 1. Secuencia analítica de análisis de calidad de granos.



Anexo 2. Tabla de humedad para lecturas y correcciones por temperatura en el "Motomco".

MOTOMCO

PESO DE LA MUESTRA: 250 g.

Calibrar a 53

FRIJOL: Rojo y Negro

Lectura del Cuadrante	Humedad o/o	Lectura del Cuadrante	Humedad o/o
1	8.75	51	14.67
2	8.87	52	14.78
3	8.99	53	14.90
4	9.11	54	15.02
5	9.23	55	15.14
6	9.34	56	15.26
7	9.46	57	15.38
8	9.58	58	15.49
9	9.70	59	15.61
10	9.82	60	15.73
11	9.94	61	15.85
12	10.05	62	15.97
13	10.17	63	16.09
14	10.29	64	16.20
15	10.41	65	16.32
16	10.53	66	16.44
17	10.65	67	16.56
18	10.76	68	16.68
19	10.88	69	16.80
20	11.00	70	16.91
21	11.12	71	17.03
22	11.24	72	17.15
23	11.36	73	17.27
24	11.47	74	17.39
25	11.59	75	17.50
26	11.71	76	17.62
27	11.83	77	17.74
28	11.95	78	17.86
29	12.06	79	17.94
30	12.18	80	18.10
31	12.30	81	18.21
32	12.42	82	18.33
33	12.54	83	18.45
34	12.66	84	18.57
35	12.77	85	18.69
36	12.89	86	18.81
37	13.01	87	18.92
38	13.13	88	19.01
39	13.25	89	19.16
40	13.37	90	19.28
41	13.48	91	19.40
42	13.60	92	19.52
43	13.72	93	19.63
44	13.84	94	19.75
45	13.96	95	19.81
46	14.08	96	19.99
47	14.19	97	20.11
48	14.31	98	20.22
49	14.43	99	20.34
50	14.55	100	20.46

INSTRUCCIONES

1. Para obtener el porcentaje de humedad corregido por fracciones de unidad, agregar al porcentaje de humedad los valores abajo indicados.

FRACCIONES DE LECTURA DEL CUADRANTE

0.1	0.01	0.4	0.05	0.7	0.08
0.2	0.02	0.5	0.06	0.8	0.09
0.3	0.04	0.6	0.07	0.9	0.11

2. C

2. Corrección por temperatura (sumar o restar al porcentaje de humedad).

a) Si la temperatura es inferior a 25°C, sumar la corrección.
b) Si la temperatura es superior a 25°C, restar la corrección.

Temperatura °C	Humedad o/o	Temperatura °C	Humedad o/o
0	+ 2.34	26	- 0.09
1	+ 2.25	27	- 0.19
2	+ 2.16	28	- 0.28
3	+ 2.06	29	- 0.38
4	+ 1.97	30	- 0.47
5	+ 1.88	31	- 0.56
6	+ 1.78	32	- 0.66
7	+ 1.69	33	- 0.75
8	+ 1.59	34	- 0.84
9	+ 1.50	35	- 0.94
10	+ 1.41	36	- 1.03
11	+ 1.31	37	- 1.13
12	+ 1.22	38	- 1.22
13	+ 1.13	39	- 1.31
14	+ 1.03	40	- 1.41
15	+ 0.94	41	- 1.50
16	+ 0.84	42	- 1.59
17	+ 0.75	43	- 1.69
18	+ 0.60	44	- 1.78
19	+ 0.56	45	- 1.88
20	+ 0.47	46	- 1.97
21	+ 0.38	47	- 2.06
22	+ 0.28	48	- 2.18
23	+ 0.19	49	- 2.25
24	+ 0.09	50	- 2.34
25	+ 0.00		

Ejemplo: Suponga una lectura del cuadrante de 37.4 y una temperatura de 27°C.

Para una lectura de 37, la humedad es de 13.01

Corrección para la fracción de 0.4 + 0.05

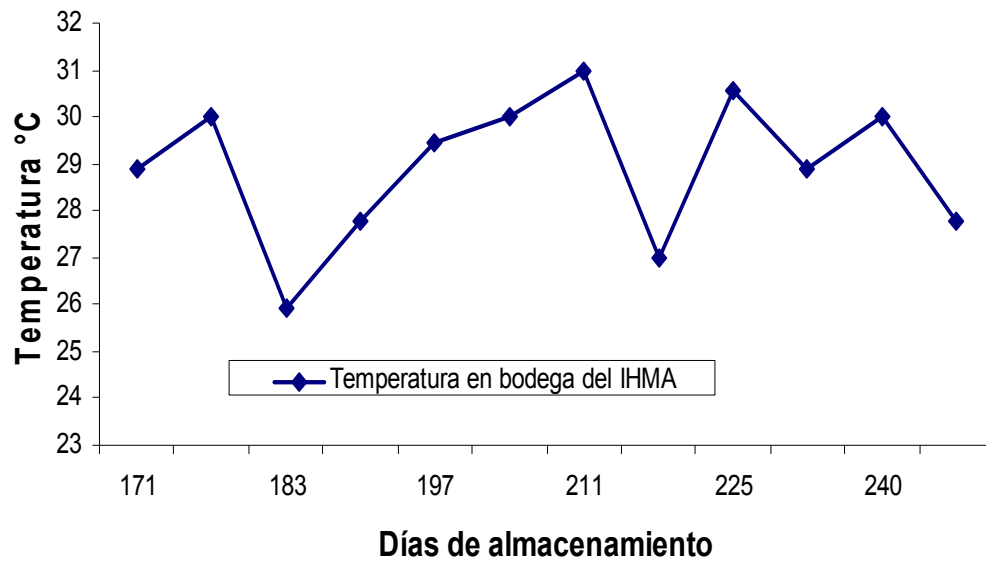
Así para una lectura de 37.4 la humedad es de: 13.06

Corrección para una temperatura de 27°C - 0.19

HUMEDAD FINAL 12.97

24

Anexo 3. Temperatura promedio quincenal durante el almacenamiento (240 días) de frijol en las bodegas del IHMA.



Anexo 4. Humedad Relativa promedio quincenal durante el almacenamiento (240 días) de frijol en las bodegas del IHMA.

