

**Efecto de la concentración de oxígeno
atmosférico en el color del grano de tres
variedades de frijol rojo centroamericano
(*Phaseolus vulgaris L.*)**

Wilfene Richelieu

Zamorano, Honduras

Diciembre, 2009

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

**Efecto de la concentración de oxígeno
atmosférico en el color del grano de tres
variedades de frijol rojo centroamericano
(*Phaseolus vulgaris L.*)**

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

Presentado por

Wilfene Richelieu

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2009

**Efecto de la concentración de oxígeno
atmosférico en el color del grano de tres
variedades de frijol rojo centroamericano
(*Phaseolus vulgaris L.*)**

Presentado por:

Wilfene Richelieu

Aprobado:

Francisco J. Bueso, Ph.D.
Asesor principal

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

Juan Carlos Rosas, Ph.D.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano

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

RESUMEN

Wilfene, R. 2009. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico en el color del grano de frijol rojo centroamericano (*Phaseolus vulgaris*). Proyecto Especial de Graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria, Zamorano, Honduras. 39p.

La tendencia y el hábito de consumo de frijol en El Salvador, Honduras y Nicaragua exige generalmente granos de color rojo claro, pagando hasta un 20% más del precio en relación a un frijol rojo oscuro. Sin embargo, las variedades de frijol rojo claro tienden a perder esta tonalidad en el almacenamiento bajo la condición de altas temperaturas. La pérdida de color está relacionada con las antocianinas, los compuestos que dan el color rojo al grano, que se degradan durante el almacenamiento. Se determinó el efecto de la concentración de oxígeno atmosférico, se evaluó su respectiva clasificación comercial en la escala de color de Melgar (2004) y la textura y el tiempo de cocción de tres variedades de frijol rojo: Seda de color rojo claro, Amadeus-77 rojo intermedio y Dorado rojo oscuro, almacenado durante dos meses al vacío, atmósfera modificada, y ambiente (0 % oxígeno, 10% oxígeno, y 21% de oxígeno, respectivamente). Se utilizó el colorímetro Colorflex HunterLab para medir la claridad, la intensidad de color rojo y amarillo usando la escala $L^* a^* b^*$. Se evaluó el tiempo de cocción y la textura de las variedades que son dos de las exigencias culinarias que definen la preferencia del consumidor. La concentración de oxígeno atmosférico tuvo efecto significativo ($P < 0.01$) sobre las tres variedades de frijol rojo en las etapas de evaluación del estudio. Se incrementó la intensidad del tono claro, color rojo y amarillo de las variedades de tal manera que superaron el grado superior (1) de la clasificación comercial de Melgar. La tendencia creciente en el color rojo y la claridad fue mayor en las variedades clara (Seda) e intermedia (Amadeus-77), respectivamente, que la variedad oscura Dorado. Las tres variedades mantuvieron tiempos de cocción estadísticamente iguales alcanzando la textura deseada a los 70 min.

Palabras clave: Colorflex HunterLab, fuerza de compresión, tiempo de cocción.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
5. CONCLUSIONES.....	35
6. RECOMENDACIONES.....	36
7. LITERATURA CITADA.....	37
8. ANEXOS.....	39

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro

1.	Precios del frijol rojo de Seda y rojo normal en El Salvador, septiembre 2005	2
2.	Producción de frijol rojo en tres países de Centro-América. en el año 2004.....	6
3.	Precios promedio (en US \$) por quintal de frijol Rojo de Seda y Retinto en Honduras, El Salvador y Estados Unidos.....	7
4.	Propuesta de rangos de color en la escala L*a*b* para frijol rojo	9
5.	Opiniones sobre la textura y dureza del grano de frijol por los agricultores de Lavanderos y Tabla Grande.	11
6.	Efecto de las atmósferas en los valores de claridad (L*), color rojo (a*) y amarillo (b*) del grano de tres variedades de frijol rojo almacenado durante 60 días.....	15
7.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el tono claro de las variedades durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.....	18
8.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre la intensidad de color rojo de las variedades durante 60 días a 26°C y 70.2% HR	21
9.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre la intensidad de color amarillo de las variedades durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.....	24
10.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el tiempo de cocción de las variedades durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.....	27
11.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre la textura de las variedades durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.....	30
12.	Efecto de las atmósferas sobre el color de la variedad de Seda.....	32
13.	Efecto de las atmósferas sobre el color de la variedad Amadeus-77.....	33
14.	Efecto de las atmósferas sobre el color de la variedad Dorado	34

Figura

1.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico en el color rojo del grano de tres variedades de frijol rojo almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.....	16
2.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico en el color rojo del grano de tres variedades de frijol almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR	17
3.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre la claridad del grano de de frijol de la variedad Seda almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR..	19
4.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre la claridad del grano de de frijol de la variedad Amadeus-77 almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.....	20
5.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre la claridad del grano de de frijol de la variedad Dorado almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.....	20
6.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico en el color rojo del grano de frijol de la variedad Seda almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.....	22
7.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico en el color rojo del grano de frijol de la variedad Amadeus-77 almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR..	23
8.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico en el color rojo del grano de frijol de la variedad Dorado almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.....	23
9.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico en el color amarillo del grano de frijol de la variedad Seda almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR	25
10.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el color amarillo del grano de frijol de la variedad Amadeus-77 almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2%	25
11.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el color amarillo del grano de frijol de la variedad Dorado almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.....	26
12.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el tiempo de cocción del grano de frijol de la variedad Seda almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.....	28
13.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el tiempo de cocción del grano de frijol de la variedad Amadeus-77 almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.....	28
14.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el tiempo de cocción del grano de frijol de la variedad Dorado almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.....	29
15.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre la textura del grano de frijol de la variedad Seda almacenado. almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.....	30
16.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre la textura del grano de frijol de la variedad Amadeus-77 almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR..	31
17.	Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre la textura del grano de frijol de la variedad Dorado almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.....	31

Anexo

1.	Fluctuaciones promedio diarias de la temperatura del ambiente de almacenamiento durante 60 días.....	39
2.	Fluctuaciones promedio diarias de la humedad relativa del ambiente de almacenamiento durante los 60 días de	39

1. INTRODUCCIÓN

Unos de los principales parámetros de calidad que influye en la decisión de compra de frijol rojo centroamericano son el color, la apariencia y la textura, características generadas por la genética de la planta y susceptible a cambios debido a temperatura, presencia de oxígeno, humedad relativa y luz. El oscurecimiento del grano de frijol conlleva pérdidas para el productor por la reducción de precio y poca competitividad en mercados selectos.

Según la tendencia de consumo, los consumidores hondureños prefieren las variedades de color de frijol rojo sobre el frijol de color negro, comercializado en Guatemala. Eso refuerza la necesidad de entender y prevenir los cambios en el color del frijol rojo.

Varios estudios han demostrado que la aceptación de un producto por parte del consumidor depende en buena medida de su apariencia y por tanto, también de su color. Las preferencias por el color de los alimentos, por ser éste precisamente un factor subjetivo, no son las mismas para cada persona, y varían según las regiones, países, edades u otros factores.

Las propiedades cualitativas de los alimentos son esenciales, ya que son los factores de los cuales se vale el consumidor para tomar una decisión de compra. Los cuatro factores cualitativos de mayor importancia en los alimentos son la apariencia, el sabor, la textura y la nutrición. La apariencia comprende el color, tamaño, forma y brillo.

El Laboratorio de Análisis de Alimentos (LAAZ) y el Programa de Investigaciones en Frijol (PIF) de Zamorano han realizado estudios conjuntos para generar y proteger variedades de frijol con menor tendencia al oscurecimiento en almacenamientos prolongados. Melgar (2004), realizó la caracterización espectrométrica de color para el frijol rojo, distinguiendo las variedades claras de las oscuras. Taleón (2005), evaluó el efecto de la temperatura en el color de cinco variedades de frijol rojo. Peguero (2007), estableció el perfil de antocianinas de tres variedades de frijol cultivadas en Honduras. Finalmente Carabante (2008), evaluó el efecto de las condiciones de almacenamiento en el contenido de antocianinas del frijol rojo centroamericano (*Phaseolus vulgaris L.*)

Basado en los estudios previos, se seleccionaron tres variedades de frijol rojo, Seda (rojo claro), Amadeus-77 (rojo intermedio) y Dorado (rojo oscuro), para realizar estudios cuyo objetivo fue determinar cambios en color, tiempo de cocción y textura del grano de frijol bajo condiciones de almacenamiento en atmósferas modificadas (10 % oxígeno y 90 % de nitrógeno), de vacío (0 % oxígeno) y ambiente (21 % oxígeno y 78 % nitrógeno).

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las variedades comerciales de frijol rojo claro centroamericano (“Rojo de Seda “o Paraisito) son las que alcanzan mejores precios en los mercados de El Salvador, Nicaragua y Honduras y entre la población de estos países residentes en Estados Unidos (Cuadro 1). El color rojo de estas variedades tiende a alterarse durante el almacenamiento provocando una pérdida del valor comercial del producto. No se sabe cuánto se degrada el color, se altera la textura de éstas variedades durante su almacenamiento lo que causa que los productores no conozcan el tiempo, la variedad ni la temperatura y ambiente adecuada, a las que deben almacenar su producto sin que pueda verse afectado sus características y su precio.

Debido a muchos factores de variación en el color del grano de frijol rojo centroamericano, y las crecientes exigencias del mercado, se ve la necesidad de realizar estudios sobre las condiciones de almacenamiento de las nuevas variedades generadas. El PIF de Zamorano está involucrado en la generación de variedades que sean mejor aceptadas por los comerciantes y productores con base en color, un factor muy importante, ya que de este depende gran parte la elección de compra. Con estas variedades se desea incursionar en el mercado hondureño y expandir sus fronteras de comercialización a la región de Centro América y los Estados Unidos de Norteamérica; en este último, aprovechando el nicho de mercado de hispanos radicados en ese país que prefieren frijoles de sus países de origen

Cuadro 1. Precios del frijol rojo de Seda y rojo normal en El Salvador, septiembre 2005.

<i>Tipo de frijol</i>	<i>Procedencia</i>	<i>Precio en US \$/ TM</i>	
		Transportista	Mayorista
Rojo de seda	Nacional	946	960
Rojo corriente	Nacional	770	814
Rojo de seda	Importado	946	960
Rojo corriente	Importado	770	814

Fuente: MAG-DGEA, El Salvador (2005).

En el 2005 el frijol Rojo de Seda y el corriente de procedencia nacional e importado tuvieron el mismo precio (US \$/TM) \$ 946 y \$ 770 para transportista y mayorista respectivamente (MAG-DGEA, El Salvador 2005).

1.2 ANTECEDENTES

Choung (2003), cuantificó los niveles de antocianinas en frijol indicando que la pelargonidina es la principal antocianidina presente en la testa del frijol rojo. En un estudio realizado por Kirca (2003), se determinó que las antocianinas en concentrados de toronja se degradaban a mayores temperaturas de almacenamiento.

Las antocianinas o antocianidinas pertenecen al grupo de los flavonoides y son pigmentos rojo azulados solubles en agua que protegen a las plantas, sus flores y sus frutos contra la luz ultravioleta. La propiedad antioxidante de las antocianinas evita la producción de radicales libres (Rivas y Mark 2004).

Taleón (2005), estudió el efecto de la temperatura de almacenamiento en la estabilidad del color del grano de frijol rojo centroamericano.

Carabante (2008), evaluó durante 60 días el efecto de las condiciones de almacenamiento en el contenido de antocianinas del frijol rojo centroamericano (*Phaseolus vulgaris L.*).

El PIF de Zamorano actualmente cuenta con una escala de color desarrollado por Melgar para el grano frijol rojo que se utiliza para evaluar el valor comercial del grano en las líneas mejoradas después de la cosecha (Rosas 2003).

La escala utilizada es de 9 grados, donde el valor 1 representa una línea con grano rojo similar a la variedad Paraisito que es un frijol de color rojo claro brillante de tamaño pequeño con peso de 100 granos de 20-22g; y al grado 9 una línea con grano rojo muy oscuro y no comercial. Una evaluación exitosa del grano evaluado dependerá en gran parte de la experiencia del evaluador y su estado de ánimo. Otros factores externos que se deben tomar en cuenta como fuentes de variación al realizar dicha evaluación son las distracciones, iluminación, clima y ventilación, entre otras.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El PIF de Zamorano ha estado involucrado en la generación de variedades que posean granos con el tamaño, color, tono y brillo que demandan productores, comerciantes y procesadores. El programa se ve en la necesidad de mejorar las variedades existentes que presentan susceptibilidad a enfermedades y poco rendimiento. En el desarrollo de las nuevas variedades es necesario evaluar las líneas en mejoramiento para clasificar las que tienen un potencial comercial en cuanto a color, para dicha evaluación se utiliza una escala propuesta, objetiva que se permite comparar las variedades comerciales (Paraisito, Seda, Desarrural, Amadeus 77, Tío Canela 75, Don Silvio, Dorado y Colorado Teopisca) y estas pierden color con el pasar del tiempo en el almacenamiento. Razón por la cual se decidió evaluar el efecto de la concentración de oxígeno en el almacenamiento de tres variedades (Seda, Amadeus-77 y Dorado) de grano de frijol rojo, y la textura y tiempo de cocción durante 60 días. Por ello se ve la necesidad de buscar una alternativa viable que

permita cuantificar esta característica, para tener menos variación y dar resultados más precisos.

1.4 LIMITES DEL ESTUDIO

El tiempo de evaluación del estudio se limitó a 60 días.

Sólo se pudieron evaluar tres atmósferas de concentración de oxígeno de almacenamiento y tres variedades de frijol rojo centro americano.

El estudio solo se enfocó en evaluar el cambio de color, tiempo de cocción y textura de tres variedades de frijol rojo centroamericano. No se pudieron evaluar cambios en las concentraciones de antocianinas como consecuencia del almacenaje bajo tres concentraciones de oxígeno atmosférico.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General

Determinar el efecto de la concentración de oxígeno atmosférico en el cambio de color del grano de tres variedades de frijol rojo almacenado al vacío, en atmósferas modificadas y ambiente.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Medir el efecto de la concentración de oxígeno en el color del frijol rojo y las variaciones en su clasificación en la escala de color de Melgar (2004).
- Evaluar la textura y el tiempo de cocción del grano de frijol rojo centroamericano almacenado durante dos meses al vacío, en atmósferas modificadas y ambiente.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 COLOR

Es el efecto de un estímulo sobre la retina, que el nervio óptico transmite al cerebro donde este último lo integra. Generalmente, el estímulo consiste en una luz reflejada (o transmitancia) por el objeto, a partir de una iluminación incidente. Los físicos con la ayuda de instrumentos (fotómetros, colorímetros) han buscado la manera de definir, medir y comparar los colores de una manera objetiva. Sus observaciones se hacen generalmente sobre soluciones transparentes, claras en las que se mide la absorbancia o transmitancia. Cuando se trata de superficies planas, mates (y no brillantes) opacas (y no traslucidas), de pigmentación homogénea, se mide la reflectancia (Cheftel *et. al.* 1983). Los objetos modifican la luz. Los colorantes, como los tintes y pigmentos, al aplicarlos al objeto, absorben selectivamente unas longitudes de onda de la luz incidente mientras que reflejan o transmiten sus complementarias (HunterLab 2000).

2.2 IMPORTANCIA DEL FRIJOL ROJO EN CENTROAMÉRICA

El color del frijol es un parámetro muy importante en el mercado centroamericano ya que no en todos los países prefieren frijoles del mismo color. Por ejemplo, en Guatemala y Costa Rica prefieren frijoles de color negro, mientras que en Nicaragua, Honduras y El Salvador prefieren frijoles de color rojo brillante (Martínez *et al.*, 2004). Estos tres últimos países se convierten en un importante bloque de producción de frijol rojo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Producción de frijol rojo en tres países de Centro-América en el año 2004.

País	Producción (miles de toneladas)
Nicaragua	223.9
Honduras	86.3
Salvador	83.4

Fuente: MAG-DGEA, El Salvador (2005).

Con el desarrollo de una escala colorimétrica digital se pueden establecer parámetros cuantitativos para medir el color del grano y que el precio sea pagado de una forma justa a lo largo de la cadena de producción y procesamiento hasta que llegue al consumidor final.

Para el PIF el desarrollo de la escala servirá para acelerar el proceso y tener un método más certero de selección de estas variedades de color que demanda el mercado centroamericano. Las impresiones sensoriales de los consumidores de alimentos comienzan en el lugar de compra, donde la selección de alimentos está determinada por los sentidos de la vista, olfato, tacto y en algunos casos el gusto.

Una de las características del frijol que más influye en la elección de compra es el color del grano. El precio está directamente ligado a esta característica física. Las variaciones que existen en el precio del frijol están ligadas también a la oferta y la demanda. Cuando la oferta sobrepasa la demanda. El precio de frijol decrece y el color es un parámetro que se vuelve clave, ya que la selección de esta característica se vuelve más exigente. Son muchos los esfuerzos que se realizan para incrementar la producción de frijol rojo de variedades criollas ya que son las más preferidas en El Salvador, Honduras y Nicaragua. El grano de estas variedades criollas es de color rojo claro (llamado comúnmente “Rojo de Seda” o “rosa”), brillante y de tamaño pequeño, con peso de 100 granos de 20-22 g. En estos países, los consumidores están dispuestos a pagar precios hasta un 20% más alto, sobre el precio de frijol rojo de tono más oscuro (Cuadro 3).

Cuadro 3. Precios promedio (en US \$) por quintal de frijol Rojo de Seda y Retinto en Honduras, El Salvador y Estados Unidos.

Clase	Clasificado y embolsado ^(b)			
	Granel ^(a)	Honduras	El Salvador	Estados Unidos
Rojo de seda	Honduras 17.20	Honduras 38.90	El Salvador 45.00	Estados Unidos 158.00
Retinto	14.00	32.70	36.50	126.00

Fuente: Bueso (2004).

^(a) Precio al por mayor en diciembre del 2003 en Tegucigalpa.

^(b) Precio de frijol embolsado de calidad regular en supermercado.

2.3 FRIJOL ROJO DE SEDA

Es la denominación que se le da al frijol que tiene un color rojo claro brillante y que alcanza los mejores precios (Cuadro 1) en Nicaragua, Honduras, El Salvador, y las personas originarias de estos países radicadas en Estados Unidos.

2.4 CLASES DE GRANO SEGÚN PROPUESTA DE NORMAS DE CALIDAD DE GRANO PARA CENTROAMERICA (CITESGRAN).

La clasificación de grano, según propuesta del Centro Internacional de Tecnología de Semillas y Granos (CITESGRAN), que surgió a partir de una reunión regional de expertos para revisar las normas vigentes y su actualización de acuerdo a los requisitos actuales del mercado en los países de la región centroamericana. La clase de grano, se refiere a las características físicas del grano en cuanto al color y brillo de su cutícula.

Grano rojo común brillante. Es todo grano de frijol que tiene la cutícula de color rojo común brillante en las diferentes variaciones de tonalidad de color, forma y tamaño.

Grano rojo común opaco. Es todo grano de frijol que tiene la cutícula de color rojo común opaco en las diferentes variaciones de tonalidad de color, forma y tamaño.

Grano rojo oscuro brillante. Es todo grano de frijol que tiene la cutícula de color rojo oscuro brillante en las diferentes variaciones de tonalidad de color, forma y tamaño.

Grano rojo oscuro opaco. Es todo grano de frijol que tiene la cutícula de color rojo oscuro opaco en las diferentes variaciones de tonalidad de color, forma y tamaño.

Grano negro brillante. Es todo grano de frijol que tiene la cutícula de color negro brillante en las diferentes variaciones de forma y tamaño.

Grano negro opaco. Es todo grano de frijol que tiene la cutícula de color negro opaco en las diferentes variaciones de forma y tamaño.

Grano contrastante. Es todo grano entero o pedazo de grano que tiene un color diferente al de los granos predominantes en la muestra.

Clase mezclado. Es todo grano entero o pedazo de grano del mismo color pero con diferente forma, brillo o tonalidad del color a los predominantes en la muestra.

2.5 CLASIFICACIÓN DEL FRIJOL ROJO

Melgar (2004), desarrolló una escala para clasificar el frijol rojo centroamericano (Cuadro 4), 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 (de 3 a 9) causa una disminución en el valor comercial del producto.

Cuadro 4. Propuesta de rangos de color en la escala L*a*b* para frijol de grano rojo.

Escala propuesta	Rangos					
	L1*	L2*	a1*	a2*	b1*	b2*
1	21.29	20.05	14.49	12.34	3.82	3.17
2	20.05	19.43	12.33	11.26	3.17	2.85
3	19.43	18.81	11.26	10.18	2.84	2.52
4	18.81	18.20	10.18	9.11	2.52	2.20
5	18.20	17.60	9.11	8.03	2.20	1.87
6	17.60	16.98	8.03	6.96	1.87	1.55
7	16.98	16.36	6.96	5.88	1.55	1.22
8	16.36	15.74	5.88	4.81	1.22	0.90
9	15.74	15.12	4.81	3.73	0.90	0.57

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).

2.6 ALMACENAMIENTO DE 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, presentándose de manera frecuente temperaturas altas y muy fluctuantes (Martínez *et. al.* 2004). Esto causa un problema de oscurecimiento del grano ya que las antocianinas, que proveen el color rojo al frijol, se degradan bajo éstas condiciones.

2.7 TESTA DEL FRIJOL

La testa es la pared celular de la célula del grano de frijol. Contiene gran cantidad de celulosa y minerales. En esta también se encuentran compuestos fenólicos que ayudan a proporcionar color al grano (Salinas 2005).

2.8. ANTOCIANINAS

Las antocianinas son compuestos pertenecientes al grupo de los flavonoides. Estos compuestos brindan coloración roja a los objetos que la contienen (Macz-Pop 2005). Las antocianinas son los compuestos que brindan el color rojo a la testa del frijol. Las principales antocianinas que se encuentran en la testa del frijol rojo son: pelargonidina, cianidina, delfidrina y petunidina (Choung 2003).

2.9. COLORÍMETRO

El colorímetro Colorflex HunterLab es un aparato colorimétrico que tiene una escala de triple estímulo ($L^*a^*b^*$), el eje L^* mide claridad de 0-100 (0 = negro y 100 = blanco), a^* (negativo = verde, positivo = rojo), y b^* (negativo = azul, positivo = amarillo). Cada lectura obtenida da un valor para cada eje, detectando así las diferencias de la muestra respecto a coloración, claridad y color (HunterLab 2000).

La escala $L^*a^*b^*$ ha sido utilizada para medir el cambio de color provocado por la degradación de las antocianinas (Maestre 1997). Sankat (1999) también encontró que existía una disminución en el valor de a^* de 0.98 unidades/día en oscuridad y 2.01 unidades/día con presencia de luz en Pomarác (*Syzygium malaccense*), al mismo tiempo que se reducía la cantidad de antocianinas en la fruta.

2.10. TEMPERATURA

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). Estudios de Kirca (2002) demostraron que en concentrados de naranja la vida media de las antocianinas almacenada a 20 °C fue seis veces mayor que a 37 °C. Maestre (1997), evaluó la degradación de las antocianinas a 5 °C y a 25 °C, encontrando que a los 76 días de almacenamiento a 25 °C se había degradado el 95% de las antocianinas, mientras que a 5 °C sólo se degradó el 50%. Por otro lado, Sankat (2000) indicó que a 5 °C las antocianinas son más estables que a 28 °C. Ochoa (1999) evaluó el efecto de la temperatura en la degradación de antocianinas en fresas encontrando que a temperaturas de refrigeración las antocianinas son cinco veces más estables que a 20 °C.

2.11. 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. Esti (2001) evaluó el efecto de la humedad relativa en la degradación de las antocianinas en cerezas a 95% de HR.

2.12. 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.

El aumento en el tiempo de cocción es uno de los problemas más graves que se presentan durante el almacenamiento del frijol (*Phaseolus vulgaris*). El aumento en el tiempo de cocción trae consigo varias consecuencias como: menor aceptabilidad por el consumidor, mayor gasto de energía y tiempo para su preparación, pérdida de valor nutritivo y disminución o, en casos extremos, pérdida total de su valor comercial (Mora 1989). 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 (Moreno 1989). Los agricultores prefieren que los frijoles se cocinen en una hora. Los productores manifestaron que mientras más rápido se cocine el grano hay mayor ahorro en combustible; sin embargo, ellos aceptan que es poco probable obtener variedades que se puedan cocinar en menos tiempo.

2.13. TEXTURA

La textura se mide para simular la masticación o la resistencia a los dientes, que sensibilizan la textura, a una determinada cantidad de granos en la boca. En investigaciones relacionadas a tiempo de cocción se ha utilizado una cocina Mattson la cual utilizó principios de punción donde se colocó una determinada cantidad de granos de frijol a cocinar en agua en constante ebullición. Se determinó la total cocción cuando el 50% de las muestras han sido atravesadas por las agujas que ejercieron presión en un solo punto del grano (Cuadro 5).

Durante años se ha debatido el método ideal para determinar la textura en frijoles, ya sea por punción o comprensión (Cuadro 5).

Cuadro 5. Opiniones sobre la textura y dureza del grano de frijol por los agricultores de Lavanderos y Tabla Grande.

Textura	Lavanderos (%)	Tabla Grande (%)
Sin gránulos	88.9	100.00
Granulosa	1.1	0.00
Dureza		
Sami-duro	51.9	18.5
Blando	48.1	74.1
Muy blando		7.4

Fuente: Vargas (1999).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano, (LAAZ) de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, ubicada a 32 Km. de Tegucigalpa, Honduras, ubicada a 14° latitud norte y 87° longitud oeste, con una precipitación de 1100 mm por año y una altura de 800 msnm.

3.1 MATERIALES Y EQUIPO

- 8.18 kg. de grano de frijol de cada una de las tres variedades (Seda, Amadeus-77 y Dorado). Los materiales fueron cosechados desde el mes de marzo 2009 y se sometieron bajo condición de acondicionamiento adecuado para su preservación.
- 70 bolsas plásticas de empaque al vacío capacidad de 2 lb.
- Balanza Adventurer TM OHAUS AR2140).
- Balanza FS-15kA.
- Termómetro Pyres.
- Ollas de acero inoxidable.
- Estufa WIRPOOL ACCURATE SYSTEM.
- Colorflex HunterLab Reston VA modelo 45/0
- Medidor de fuerza INSTRON modelo 4444 por Instron Corporation.
- Hidrotermómetro.
- Sellador MULTIVAC A300/16
- Higrotermógrafo Cole Palmer
- Programa estadístico “Statistical Analysis System” (SAS®) v. 9.1

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Experimento

Se realizó en un arreglo bifactorial 3x3 de parcelas divididas, con seis evaluaciones repetidas en el tiempo 0, 7, 15, 30, 45 y 60 días respectivamente de almacenamiento que duró el estudio. Las parcelas principales fueron las concentraciones de oxígeno de almacenamiento 0, 10 y 21 %, empaçado al vacío, atmósfera modificada y bajo condición ambiental respectivamente. Las sub-parcelas fueron las tres variedades de frijol rojo centroamericano: una de color rojo claro (Seda), una de color rojo intermedio (Amadeus-77), y una variedad rojo oscuro (Dorado), con el fin de evaluar el efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el color rojo de las tres variedades de frijol.

Las variables evaluadas fueron el color ($L^*a^*b^*$), el tiempo de cocción en minuto y la textura en kilo newton de las tres variedades de frijol rojo centroamericano (tres repeticiones por unidad experimental).

3.2.2. Muestras

Las muestras fueron tomadas de la cosecha de marzo de 2009 de las parcelas experimentales del PIF en la Escuela Agrícola Panamericana. Fueron cosechadas y secadas uniformemente para evitar variación en el porcentaje de humedad que pudiera afectar el experimento. Luego de alcanzar un grado de humedad adecuado para su almacenamiento (12%), se procedió a empacar y almacenarlas en cada ambiente en envases plásticos para evitar entrada de insectos y luz. El tamaño de cada unidad experimental fue de 380 gramos. la presión de inyección de gas inerte al inicio fue de 895.7 Kpa en la salida del tanque y 199.81 Kpa de inyección en la entrada de la máquina (selladora Multivac A300/16). Las temperaturas y humedades relativas de almacenamiento fueron monitoreadas tres veces al día durante los 60 días de duración del estudio. Las temperaturas y humedad relativa utilizadas para el análisis fueron las temperaturas y humedad relativa promedio diarias.

3.2.3. Metodología de cocción

Se utilizó una estufa (WIRPOOL ACCURATE SYSTEM), tres ollas de acero inoxidable de diferente capacidad: una olla de 6 litros, una de 4 litros y una de 2 litros de agua de capacidad respectivamente, un tubo de ensayo de capacidad de 1 litro como medidor de agua, un termómetro de marca Pyres, una balanza (FS-14kA) tres coladores de acero inoxidable y tres platos también de acero inoxidable. Se encendió la estufa, se reguló la temperatura hasta el nivel 7 de tal manera que cada una de las superficies calientes emitieron la misma cantidad de calor hacia las ollas, luego se colocó las ollas en las superficies calientes con 2 litros de agua de la llave de la planta PAID y una muestra de 150 gramos de frijol en cada una de las ollas. Se monitoreó la temperatura de cocción de las ollas, se anotó que la olla de capacidad de 6 litros se puso a hervir siempre primero debido que su superficie caliente de contacto con la olla es mayor, luego siguió la olla de capacidad de 4 litros y por último la olla de capacidad de 2 litros de agua. El tiempo de cocción se empezó a los 80 y 90 min dependiendo de tamaño de cada olla, a ese momento se emergió cierta cantidad de la muestra de frijol hacia la superficie del agua y se burbujeó el agua para empezar el proceso de ebullición. El tiempo de cocción óptimo se determinó por una metodología empírica del tacto cuando el 70% de los granos analizados se partieron entre la presión de los dedos con facilidad (Página 11). Después se colaron y enfriaron los granos de frijol utilizando los coladores de acero inoxidable y luego de enfriarse se colocó las muestras de frijol cocido en sus respectivas bolsas de muestras Ziproc, se les codificó y se les llevó al laboratorio para su análisis de textura utilizando el INSTRON de modelo 4444.

3.2.4. Análisis sensorial de la textura INSTRON 4444.

Se encendió el INSTRON 4444, se espera 15 minutos para proceder a calibrar el equipo siguiendo las instrucciones del POE de ese aparato. Luego se creó un archivo que se guardó en el software de la computadora, se eligió el implemento adecuado para la muestra que en este caso fue la celda de Kramer. Para la colocación de una muestra estándar se utilizó tres platos Petri volumétrica y morfológicamente igual de 4.1 mm de altura y 7.77 mm de diámetro, un plato para cada medición de la fuerza de compresión realizada. Se tomó los datos y les analizó utilizando el programa estadístico “Statistical Analysis System” (SAS®) v. 9.1.

3.2.5. Análisis colorimétrico Colorflex Hunterlab

Se colocaron las muestras en recipientes plásticos. Se agitó la muestra dentro de su empaque plásticos para que sea representativa, se tomó una sub-muestra con la copa especial transparente del Colorflex, se colocó la sub-muestra en la región de lectura de color del Colorflex, se corrió el software para analizar la muestra en tres repeticiones respectivamente, luego se tomó los datos de $L^* a^* b^*$. Se ordenó los datos en el programa de cálculo Microsoft Office Excel. Se analizó los datos utilizando el programa estadístico “Statistical Analysis System” (SAS®) v. 9.1.

3.2.6. Clasificación del valor comercial de las tres variedades del grano frijol rojo de acuerdo al resultado del primer análisis realizado.

Al iniciar la evaluación se midió el color de las tres variedades de frijol para poder clasificarlas dentro de la escala de clasificación del valor comercial del frijol rojo centroamericano desarrollado por Melgar en 2004. La variedad de frijol rojo claro Seda presentó el mayor grado de claridad, intensidad de color rojo y amarillo luego le siguió la variedad de color rojo intermedio Amadeus-77 y por último la variedad retinta Dorado presentó la más baja intensidad de claridad, color rojo y amarillo.

3.2.7. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) con medidas repetidas en el tiempo usando el programa SAS (Statistical Analysis System) versión 9.1. Se realizó una separación de medias (SNK) y (HSD) con un nivel de significancia ($p < 0.05$) para determinar el efecto de la concentración de oxígeno de almacenamiento sobre el color, el tiempo de cocción y la textura de las tres variedades de frijol rojo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CONDICIÓN ATMOSFÉRICAS AMBIENTALES

La temperatura y la humedad relativa del ambiente de almacenamiento fueron monitoreadas diariamente. La temperatura y la humedad relativa promedio del almacén fueron 26 °C y 70.2%, respectivamente: sin embargo, las bolsas de vacío permitieron un intercambio significativo de humedad con el ambiente (Anexo 1 y 2). Las atmósferas de concentración de oxígeno evaluadas durante los 60 días de almacenamiento del estudio fueron de 0% de oxígeno siendo esto el empacado al vacío, 10% oxígeno ó atmósfera modificada utilizando el nitrógeno como el gas inerte en un 90% y por último 21% oxígeno o bajo condición normal del ambiente. De acuerdo a los resultados de los análisis realizados de las tres variedades y sus respectivas variables de interés de color, las concentraciones de oxígeno atmosférico tuvieron efecto significativo en el tiempo para los análisis entre y dentro de las variables, bajo la condición ambiental de temperatura y humedad relativa mencionada (Anexo 1 y 2).

4.2 EFECTO DEL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO SOBRE LAS VARIEDADES Y ATMOSFERAS DE CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO

La concentración de oxígeno tuvo un efecto significativo general en las variables L*, a* y b* de color de las tres variedades de frijol (Cuadro 6). En los tres ambientes: vacío (0% de oxígeno), atmósfera modificada (10 % de oxígeno) y empacado bajo condición ambiental (21% oxígeno) se observó una tendencia de aumento de la claridad, color rojo y color amarillo que fueron estadísticamente significativos (Pr < 0.01).

Cuadro 6. Efecto de las atmósferas en los valores de claridad (L*), color rojo (a*) y amarillo (b*) del grano de tres variedades de frijol rojo almacenado durante a 26°C y 70.2% HR.

Color	Pr > F		
	Variedad	Atmósferas	Variedad*atmósferas
Claridad (L*)	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Rojo (a*)	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Amarillo (b*)	< 0.01	< 0.01	< 0.01

Se encontró efecto estadísticamente significativo (Pr < 0.01) de las atmósferas de concentración de oxígeno sobre el color rojo (a*) del grano almacenado durante los 60

días (Cuadro 6 y Figura 1), ya que en las tres atmósferas todas las tres variedades tuvieron una tendencia alcista de cambios en sus valores de color rojo.

Se encontró diferencia significativa entre las tres variedades de frijol rojo evaluado en este estudio y esta diferencia se mantuvo hasta los 60 días de duración del estudio. Con base en informaciones encontradas en los estudios de los años pasados, se reportaron que el frijol rojo tendió a oscurecer durante su almacenamiento debido a altas temperaturas. En este estudio ocurrió lo contrario bajo las condiciones de las concentraciones de oxígeno atmosférico, se pudo observar una tendencia de pequeño aumento en el valor de la claridad (L^*), color rojo (a^*) y color amarillo (b^*) de las tres variedades de frijol rojo evaluadas durante los 60 días.

Las tres variedades empezaron con valores de diferentes grados de color rojo (a^*) que se mantuvo durante todo el estudio. La tendencia que se presentó las tres variedades bajo condición ambiental de concentración de oxígeno fue muy similar durante los dos meses de evaluación del estudio (Figura 1).

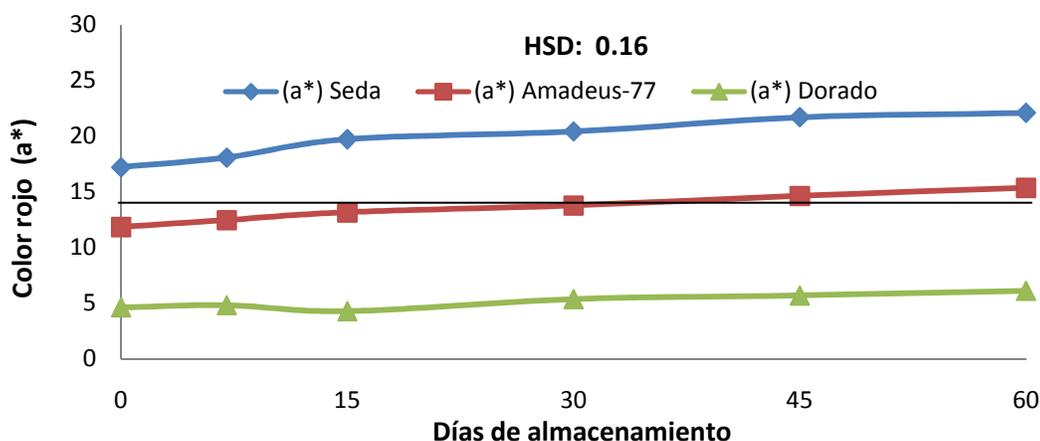


Figura 1. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico en el color rojo del grano de tres variedades de frijol almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

Se encontró diferencias significativas en el color rojo en las tres condiciones atmosféricas de concentración de oxígeno, se puede decir que los compuestos causantes del cambio en claridad, color amarillo y color rojo no fueron estables en las condiciones de almacenamiento de las tres variedades de frijol. Con los resultados obtenidos se pudo inferir estadísticamente que el aumento en el color rojo se debe a la modificación de la estructura de las antocianinas presentes en la testa del frijol que interactúan con otros compuestos e las tres condiciones atmosféricas de almacenamiento.

Algo diferente ha sido comprobado por Garzón (2001) en concentrado de fresa, en donde evaluó la degradación de la 13-pelargonidina, el compuesto que se encuentra en mayor proporción en la testa del frijol rojo. Choung (2003), produciendo polímeros que reducen la coloración original de las antocianinas.

En este estudio, utilizando las concentraciones de oxígeno atmosférico se pudo observar una tendencia de incremento en el valor de la claridad, la tonalidad del color rojo y amarillo de las tres variedades evaluadas en los tres niveles de concentración de oxígeno (Figura 2).

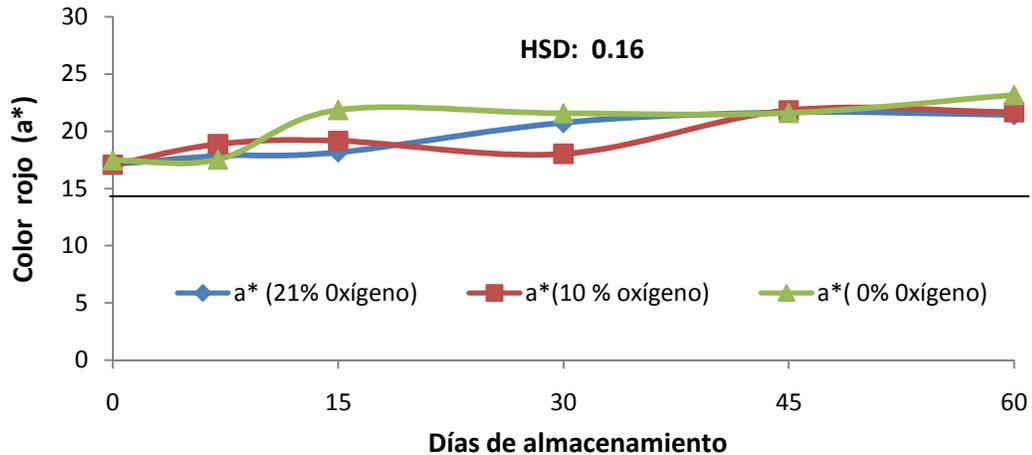


Figura 2. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico en el color rojo del grano de tres variedades de frijol rojo almacenadas durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

Se observó cambios estadísticamente significativos en el valor de la claridad, color rojo y amarillo. Se pudo ver que los compuestos causantes del cambio de la claridad, color rojo y amarillo no fueron estables a las condiciones de almacenamiento del frijol. Con los resultados obtenidos se pudo inferir que la tendencia fluctuante de aumento en la claridad, el color rojo y amarillo se debió a la modificación de la estructura de las antocianinas presentes en la testa del frijol que se interactuaron con otros compuestos de acuerdo a la condición ambiental de temperatura y humedad relativa del medio de almacenamiento (Kirca 2003).

4.3 EFECTO DE LAS VARIEDADES

El análisis de varianza de las tres variedades de frijol rojo centro americano y las concentraciones de oxígeno atmosférico de almacenamiento presentaron efectos estadísticamente significativos en el tiempo (Cuadro 7).

El estudio fue bien desarrollado durante los 60 días de evaluaciones. Las medias del tono claro de las variedades presentaron una tendencia de disminución de 0.45 unidad durante el tiempo 0 hasta el tiempo 15 donde tuvo una reducción mínima de las medias, luego se incrementaron las medias hasta que tuvieron un pico máximo en el tiempo 45, el aumento fue de 3.08 unidades. A partir de ése pico máximo, se disminuyeron las medias de 0.48 unidad hasta el tiempo 60. El análisis de varianza del efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el tono claro de las tres variedades de frijol rojo tuvo una alta correlación durante los 60 días del estudio. La separación de medias de las tres variedades presentó una tendencia creciente basado en la claridad desde el tiempo 0 hasta el tiempo 60 que duró el estudio. Según el análisis de separación de medias HSD, las medias de una misma variedad fueron iguales entre ellas y las medias entre las variedades fueron diferentes en el tiempo (Cuadro 7).

Cuadro 7. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el tono claro de las variedades durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

Claridad	Día (Pr > F)					
	0	7	15	30	45	60
Variedad	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01
Atmósfera	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01
Var*Atmosf.	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01
Media	19.05	18.64	18.60	21.56	21.68	21.20
%CV	0.18	1.22	0.13	0.21	0.19	0.23
R ²	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Desv. (S)	0.03	0.22	0.02	0.04	0.04	0.05
Separación de medias de la tres variedades de frijol rojo (tukey/HSD)						
Seda	22.22 ^a	22.19 ^a	22.66 ^a	26.04 ^a	26.46 ^a	26.12 ^a
Amadeus-77	18.47 ^b	17.56 ^b	17.22 ^b	20.36 ^b	19.97 ^b	20.03 ^b
Dorado	16.47 ^c	16.17 ^c	15.92 ^c	18.27 ^c	18.61 ^c	17.44 ^c
<u>HSD</u>	0.04	0.27	0.03	0.05	0.05	0.06

* Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre medias.

4.3.1. Efecto de la concentración de oxígeno sobre la claridad de las tres variedades de grano de frijol rojo.

Se observaron cambios significativos en la claridad de las variedades (Cuadro 7); estos cambios fueron significativos hasta los días 60 ($Pr < 0.01$). En las tres variedades (Dorado, Amadeus-77 y Seda) se observó una tendencia fluctuante de aumento en su valor de claridad como en el color rojo y una tendencia negativa en el valor de color amarillo, a excepción de la variedad Rojo de Seda que mantuvo su tendencia alcista también para el color amarillo. Entre los días 30 y 45 la variedad Seda presentó mejor claridad, pero durante los días 30 y 60 la variedad Seda tuvo la claridad más estable y prometedora con una pequeña diferencia sobre la atmósfera modificada (Figura 3).

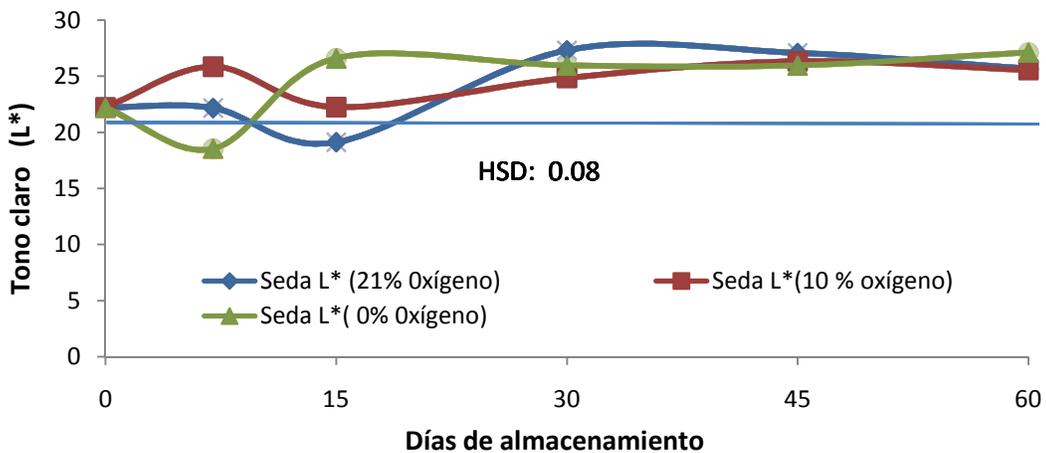


Figura 3. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre la claridad del grano de frijol de la variedad Seda almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

La variedad Amadeus-77 presentó una tendencia similar que la variedad Seda en su valor de claridad ya que en ambas variedades existió una tendencia fluctuante de aumento marcada en su claridad en los tres ambientes de concentración de oxígeno, es decir existieron cambios significativos ($Pr < 0.01$). Se pudo observar que no existió una gran diferencia marcada entre las concentraciones de oxígeno, pero la atmósfera modificada fue más estable desde el día 0 hasta el día 60 del estudio también el empacado bajo condición ambiental y vacío tuvieron el mismo comportamiento, con una pequeña diferencia del vacío sobre el de ambiente (Figura 4).

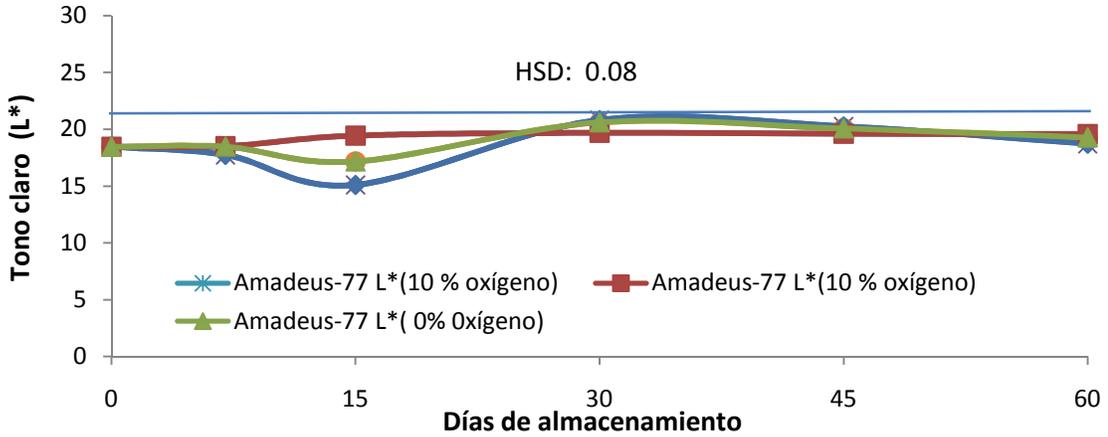


Figura 4. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre la claridad del grano de frijol de la variedad Amadeus-77 almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

La variedad Dorado presentó la misma tendencia de cambio en la claridad del grano que las variedades Seda y Amadeus-77; sin embargo, estos cambios fueron menos fluctuantes en cuanto a amplitud en el ambiente de 10% de oxígeno para las variedades de Amadeus-77 y Dorado ($Pr < 0.01$) (Figura 5).

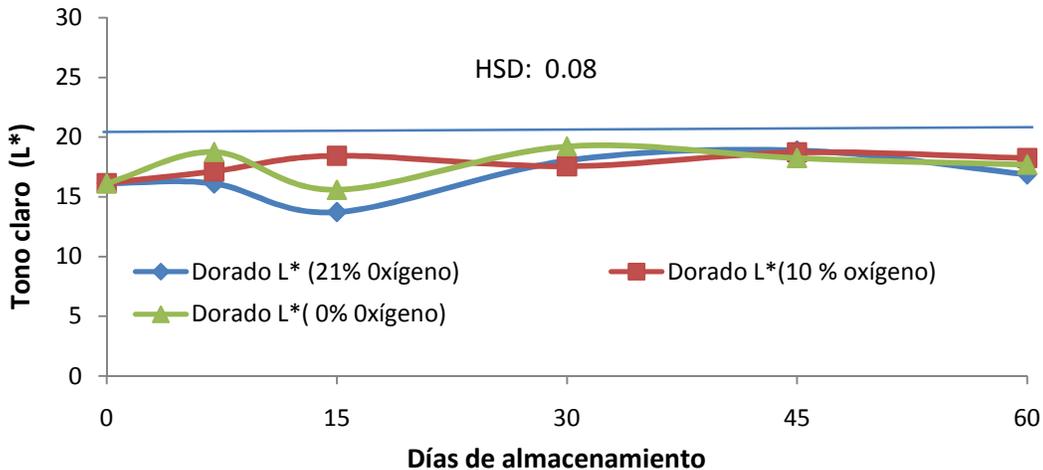


Figura 5. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre la claridad del grano de frijol de la variedad Dorado almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

La variedad Dorado presentó un ligero aumento de claridad a la concentración de 10% de oxígeno; sin embargo, este aumento no fue estable durante los 60 días razón por el cual se encontró diferencia estadística significativa ($Pr < 0.01$) (Figura 5).

La claridad del frijol fue afectada por el tiempo y las atmósferas ya que ocurrieron leves cambios de aumentos y descensos que fueron significativos en las tres variedades de frijoles evaluados (Seda, Amadeus-77 y Dorado). Los cambios que se observaron en la

claridad de las variedades no representaron un cambio en el valor comercial, ya que el valor de claridad influyó poco en el rango evaluado, debido a que la intensidad de claridad de las variedades utilizadas fueron bajas. La evaluación de la claridad puede ser más importante en las variedades que no tengan valores altos de color rojo o amarillo, y que tengan una intensidad de claridad alta que pueda verse afectada por el tiempo o las condiciones ambientales.

4.3.2. Efecto de la concentración de oxígeno sobre el color rojo de las tres variedades del grano de frijol centroamericano

Las fluctuaciones en el color rojo fueron marcadas en la claridad y el color rojo de las variedades. Existió un efecto significativo ($Pr < 0.01$) de la concentración de oxígeno atmosférico en el color rojo las variedades almacenadas 60 días a 26°C y 70.2% HR.

El estudio fue bien manejado durante los 60 días de evaluaciones. Las medias de color rojo de las variedades presentaron una tendencia creciente desde el tiempo 0 hasta el tiempo 60 donde tuvieron la media máxima. Ese incremento en el valor de las medias de las variedades tuvo una alta correlación en el tiempo. Según el análisis de separación de medias HSD, las medias de una misma variedad fueron iguales entre ellas y las medias entre las variedades fueron diferentes en el tiempo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre la intensidad de color rojo de las variedades durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

Color rojo (a*)	Día (Pr > F)					
	0	7	15	30	45	60
Variedad	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01
Atmósfera	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01
Var*Atmosf.	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01
Media	11.21	11.77	12.37	13.17	13.99	14.50
%CV	0.51	3.07	0.38	1.02	0.97	0.72
R ²	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Desv (S)	0.05	0.36	0.04	0.13	0.13	0.10
Separación de medias de la tres variedades de frijol rojo (tukey/HSD)						
Seda	17.20 ^a	18.07 ^a	19.72 ^a	20.42 ^a	21.69 ^a	22.09 ^a
Amadeus-77	11.82 ^b	12.44 ^b	13.15 ^b	13.75 ^b	14.61 ^b	15.34 ^b
Dorado	4.60 ^c	4.76 ^c	4.26 ^c	5.33 ^c	5.67 ^c	6.08 ^c
<u>HSD</u>	0.07	0.43	0.06	0.16	0.16	0.12

* Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre medias.

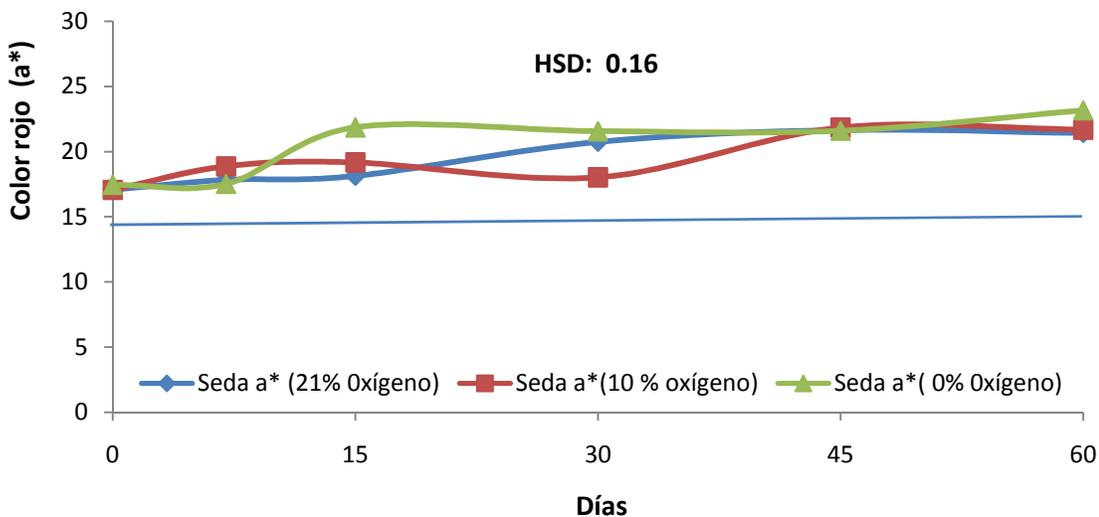


Figura 6. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico en el color rojo en el grano de frijol de la variedad Seda almacenadas 60 días a 26°C y 70.2% HR.

La variedad con un rojo intenso y brillante (Seda) tendió a colorearse un poco más que la variedad retinta o color rojo oscuro (Dorado) en el color rojo. Esto pudo ser la causa de una mayor concentración de antocianinas en las variedades de rojo intenso que ocasionó una reacción más rápida con las atmósferas, mejorando de esta forma su color rojo. Este comportamiento se mantuvo en los tres medios de concentración de oxígeno de manera similar que hizo que la variedad (Seda) tuvo cambio positivo en su valor comercial (Figura 6). Las variedades Amadeus-77 y Dorado presentaron pequeños cambios en su intensidad de color rojo en comparación a la variedad Seda. Pero mantuvieron su valor comercial a los 60 días de almacenamiento. La variedad Seda es la que recibiría mejor apreciación del comprador en países como Honduras, El Salvador y Nicaragua.

La variedad Amadeus-77 sufrió cambios significativos ($Pr < 0.01$) en su clasificación de color debido a que su valor de color rojo fluctuó positivamente: la velocidad de degradación de su color fue mínimo en tiempo. Esto la convirtió en la segunda variedad más estable a cambios en su color rojo. Sin embargo, esta variedad es la que presentaría una mejora en su precio ya que su color inicial de color rojo era inferior.

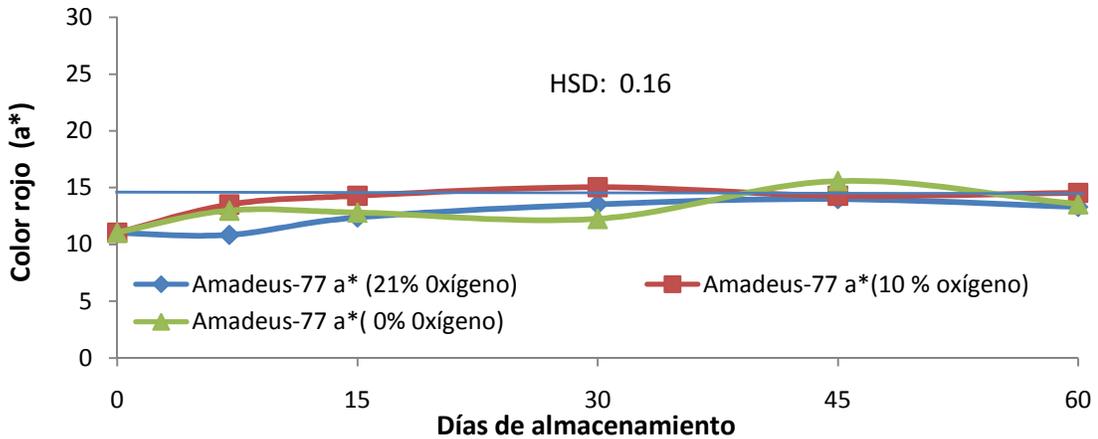


Figura 7. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el color rojo del grano de frijol de la variedad Amadeus-77 almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

La variedad Dorado sufrió cambios significativos ($Pr < 0.01$) en su valor de color rojo debido a la fluctuación a la velocidad de degradación mínima en poco tiempo. Esto la convirtió en la variedad más estable en cuanto a cambios en su color rojo; sin embargo, esta variedad no presentaría mejores precios aunque su color inicial era más oscuro. Hay que mencionar que según las tendencias de compra de frijol rojo en Honduras, El Salvador y Nicaragua no es conveniente para el productor, ya que no hubo una gran mejora en su color rojo para llegar a persuadir a los compradores.

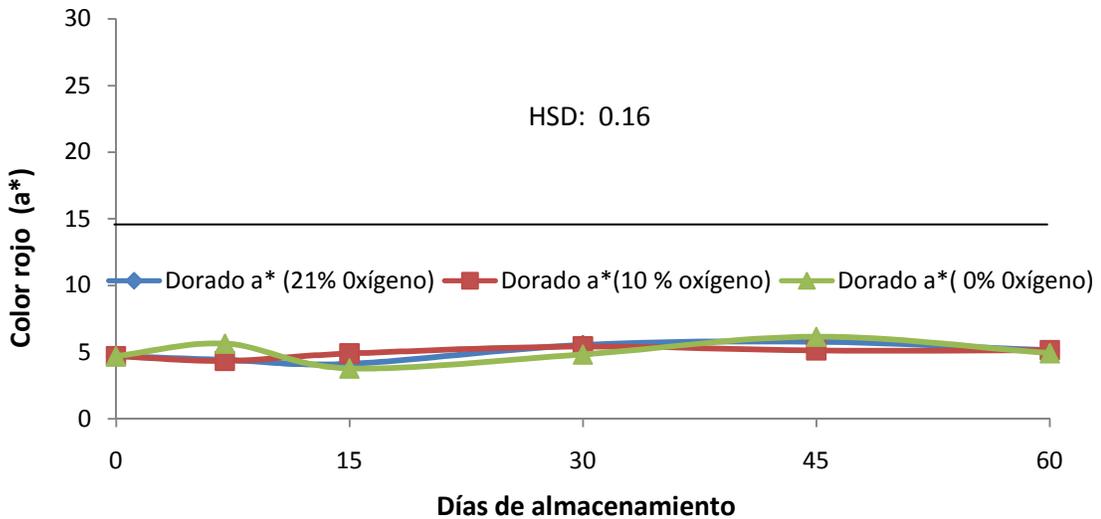


Figura 8. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el color rojo del grano de frijol de la variedad Dorado almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

Se pudo observar que se mantuvo casi estático el valor de color rojo de las tres variedades en las tres atmósferas de almacenamiento.

4.3.3. Efecto de la concentración de oxígeno sobre el color amarillo de las tres variedades del grano de frijol centroamericano

En el color amarillo se observaron tendencias marcadas de disminución en las tres variedades, aún la baja cantidad de color amarillo que presentaron las tres variedades de frijol rojo el efecto en general de cambios fue significativo.

El estudio ha sido bien manejado durante los 60 días de evaluaciones. Las medias del valor de color amarillo de las variedades presentaron una tendencia decreciente desde el tiempo 0 hasta el tiempo 30 donde tuvieron la media mínima y luego se creció el valor de las medias hasta el tiempo 60. Ese comportamiento en el valor de color amarillo de las medias de las variedades tuvo una alta correlación en el tiempo. Según el análisis de separación de medias HSD, las medias de una misma variedad fueron iguales entre ellas y las medias entre las variedades fueron diferentes en el tiempo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre la intensidad de color amarillo de las variedades durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

Color amarillo (b*)	Día (Pr > F)					
	0	7	15	30	45	60
Variedad	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01
Atmósfera	<.01	<.01	<.01	<.01	0.03	<.01
Var*Atmosf.	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01	<.01
Media	4.55	4.50	4.30	3.98	4.18	4.88
%CV	1.60	2.91	1.76	2.55	3.97	3.19
R ²	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Desv. (S)	0.07	0.13	0.07	0.10	0.16	0.15
Separación de medias de la tres variedades de frijol rojo (tukey/HSD)						
Seda	7.14 ^a	7.03 ^a	7.43 ^a	7.10 ^a	7.95 ^a	8.76 ^a
Amadeus-77	4.51 ^b	4.49 ^b	3.93 ^b	3.64 ^b	3.56 ^b	4.40 ^b
Dorado	2.01 ^c	1.99 ^c	1.54 ^c	1.21 ^c	1.04 ^c	1.49 ^c
HSD	0.09	0.16	0.09	0.12	0.20	0.18

* Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre medias.

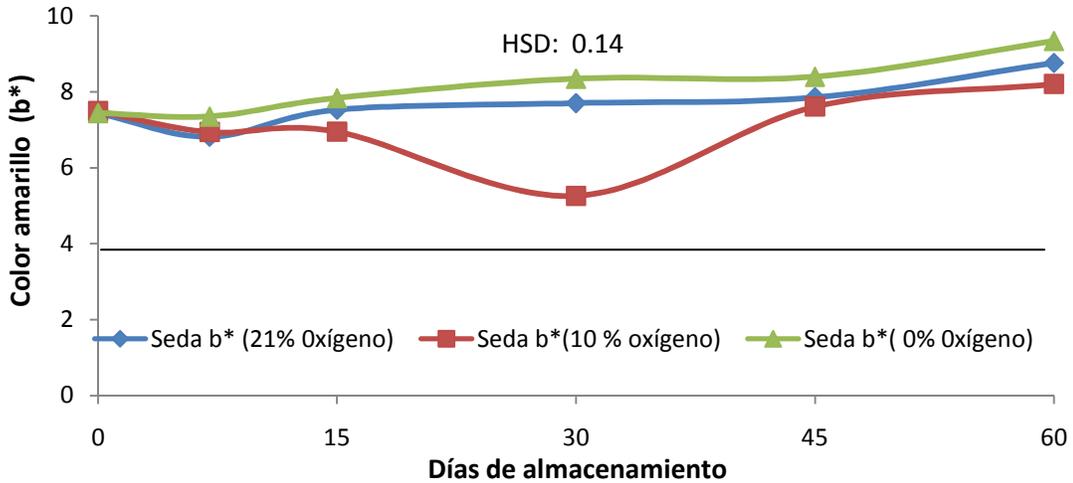


Figura 9. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el color amarillo del grano de frijol de la variedad Seda almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

Se pudo observar un comportamiento creciente idéntico en las variedades de frijol empacado bajo condición ambiental y al vacío, mientras que, en atmósfera modificada la pérdida de color amarillo de la variedad Seda fue muy drástico a los 30 días de evaluación (Figura 9).

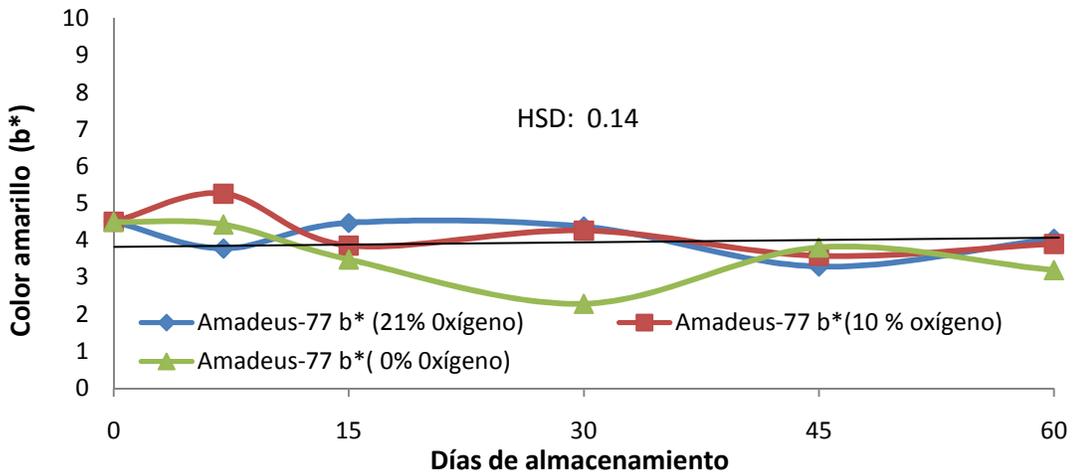


Figura 10. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el color amarillo del grano de frijol de la variedad Amadeus-77 almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

Se observó una tendencia muy fluctuante de disminución de valor de color amarillo en la variedad de frijol Amadeus-77 evaluada durante los 60 días. Bajo la condición de empacado al vacío cayó drásticamente el color amarillo de la variedad Amadeus-77 según el análisis del día 30 (Figura 10).

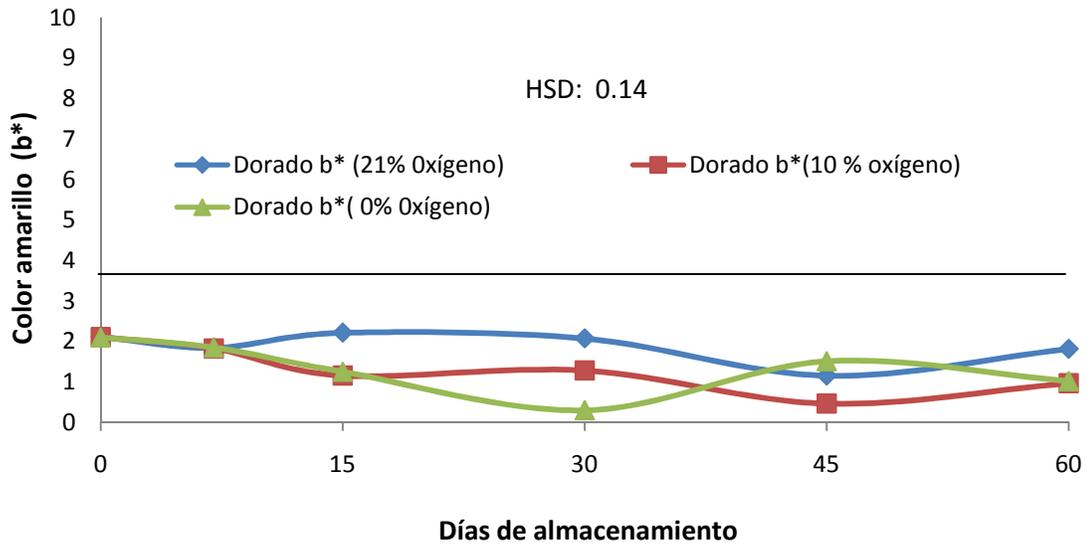


Figura 11. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el color amarillo en el grano de frijol de la variedad Dorado almacenadas 60 días a 26°C y 70.2% HR.

El color amarillo de la variedad Dorado tendió a disminuir en las tres atmósferas evaluadas, con una disminución significativa ($Pr < 0.01$) que fue más estable bajo la condición ambiental (Figura 11). Esta disminución fue significativa al día 60 y también provocó cambios en la clasificación de la escala propuesta de color del frijol.

4.4 EFECTO DE TIEMPO DE COCCIÓN

4.4.1 Efecto de tiempo de cocción de las tres variedades

El análisis de tiempo de cocción tuvo un efecto significativo solamente a los 30 días; se encontró diferencia significativa del efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre las variedades solamente en el tiempo 0. Las atmósferas tuvieron efecto significativo en los días 15 y 30, respectivamente, y hubo interacción de las variedades con las atmósferas de concentración de oxígeno durante los días 30 y 45, respectivamente. El estudio presentó una correlación media durante los días 0 hasta 45 y una correlación baja en el día 60 de las evaluaciones del estudio respectivamente. Las medias del valor de tiempo de cocción de las variedades presentaron una tendencia decreciente desde el tiempo 0 hasta el tiempo 60 con un pico mínima de media en el día 30 y luego se creció el valor de las medias hasta el día 60. Ese comportamiento de tiempo de cocción de las medias de las variedades causó según el análisis de separación de medias HSD, la igualdad de medias de una misma variedad en el tiempo y también entre las diferentes variedades (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el tiempo de cocción de las variedades durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

Tiempo de cocción	Día (Pr > F)					
	0	7	15	30	45	60
Variedad	0.04	0.30	0.12	0.44	0.07	0.31
Atmósfera	0.55	0.05	0.01	0.02	0.35	0.42
Var*Atmosf	0.86	0.38	0.27	0.01	0.04	0.81
Media	73.00	72.44	68.22	70.55	67.77	66.61
%CV	5.34	6.50	4.05	3.373	3.61	6.13
R ²	0.71	0.63	0.72	0.793	0.72	0.40
Desv (S)	3.90	4.71	2.76	2.380	2.44	4.08
Separación de medias de la tres variedades de frijol rojo (tukey/HSD)						
Seda	74.66 ^a	71.50 ^a	67.33 ^a	71.00 ^a	68.33 ^a	66.66 ^a
Amadeus-77	77.00 ^a	70.83 ^a	67.00 ^a	69.50 ^a	65.66 ^a	64.66 ^a
Dorado	67.33 ^b	75.00 ^a	70.33 ^a	71.16 ^a	69.33 ^a	68.50 ^a
HSD	6.29	7.59	4.46	3.83	3.94	6.59

* Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre medias.

A la excepción del análisis de tiempo 0, no se encontró diferencias significativas en las variedades para los análisis de tiempo de cocción y eso nos indicó que no hubo efectos significativos de las atmósferas de concentraciones de oxígeno sobre el tiempo de cocción de las variedades durante los 60 días del estudio.

Basado en el resultado de la separación de medias HSD de tiempo de cocción de las variedades de frijol rojo centro americano, se pudo observar que los tiempos de cocción fueron iguales en el tiempo.

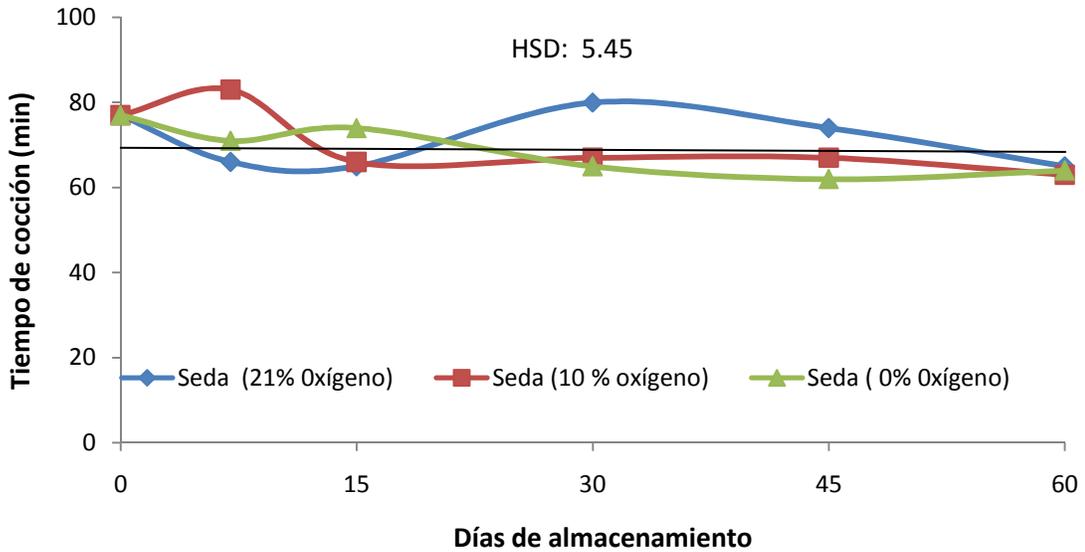


Figura 12. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el tiempo de cocción del grano de frijol de la variedad Seda almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

En el tiempo de cocción se observaron tendencias leves a una disminución marcada, en las tres variedades de frijol rojo evaluado, el cambio no fue significativo en el tiempo. (Figuras 12, 13 y 14 y Cuadro 10).

La atmósfera modificada tuvo la tendencia más estable de reducción deseada por consumidor en cuanto al tiempo de cocción, luego lo siguió la condición de empaque al vacío y por último el empaquete bajo la condición ambiental (Figura 13).

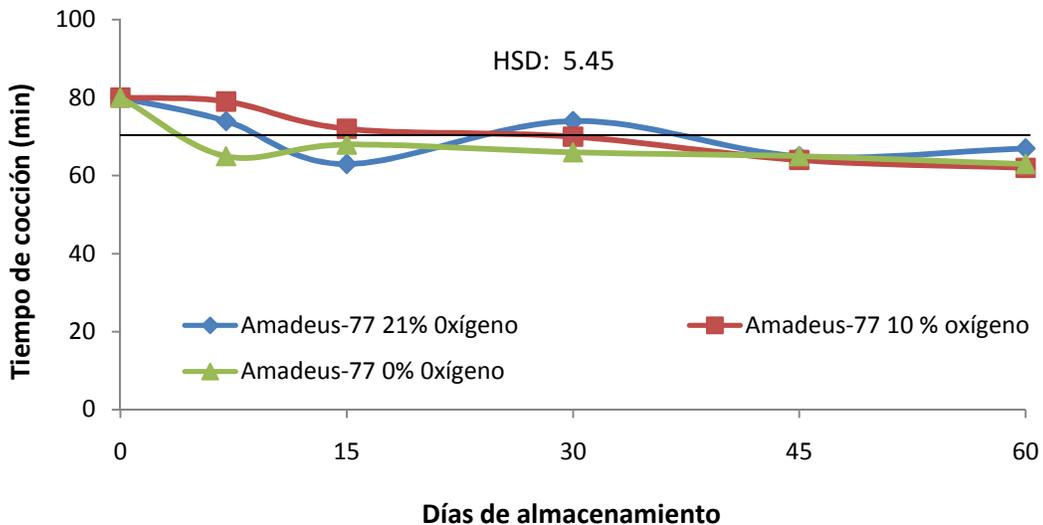


Figura 13. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el tiempo de cocción del grano de frijol de la variedad Amadeus-77 almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

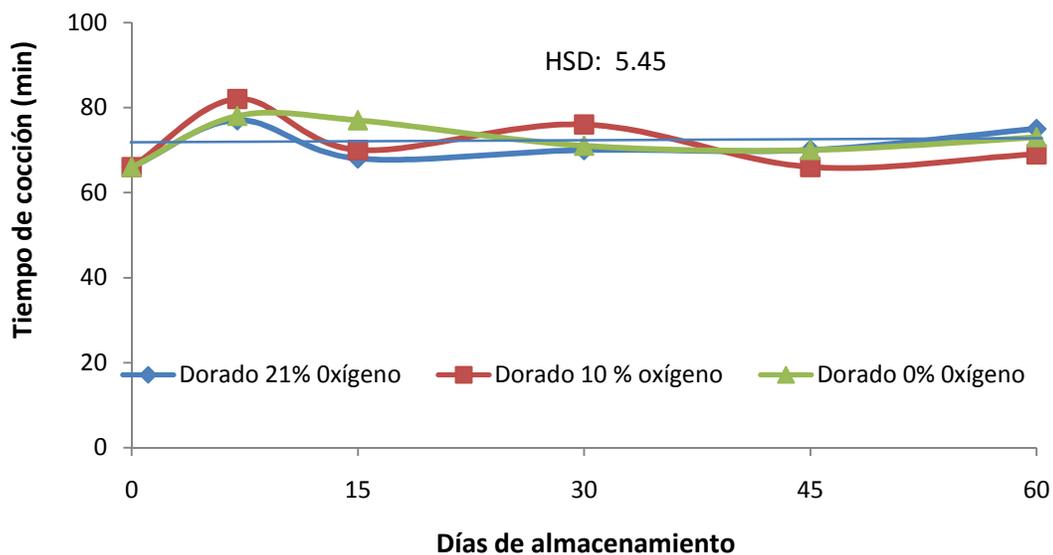


Figura 14. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre el tiempo de cocción del grano de frijol de la variedad Dorado almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

4.5 EFECTO DE TEXTURA

4.5.1 Efecto de textura de las tres variedades

Se encontró efecto significativo de las atmósferas de concentración de oxígeno sobre la textura de las variedades de frijol rojo en el tiempo 0, 15 y 30. También el análisis de varianza indicó que en los tiempos 7, 45 y 60 el efecto de las atmósferas de concentración de oxígeno fue igual sobre el tiempo de cocción de las variedades de frijol.

El estudio presentó diferentes niveles de correlaciones alta, media y baja. Las medias del valor del análisis de varianza de la textura de las variedades presentaron una tendencia creciente desde el tiempo 0 hasta el tiempo 60. Ese comportamiento en el valor de las medias de las variedades fue según el análisis de separación de medias HSD, igualdades y desigualdades de medias entre una misma variedad como en las diferentes variedades en el tiempo (Cuadro 11).

Cuadro 11. Efecto de la concentración de oxígeno atmosférico sobre la textura de las variedades durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

Textura (KN)	Día (Pr > F)					
	0	7	15	30	45	60
Variedad	<.01	0.02	0.04	0.04	0.07	<.01
Atmósfera	<.01	0.09	<.01	<.01	0.23	0.19
Var*Atmosfera	<.01	0.04	<.01	<.01	0.01	0.03
Media	1.11	1.22	1.27	1.28	1.30	1.27
%CV	2.63	9.32	2.93	3.38	6.65	3.89
R ²	0.94	0.75	0.94	0.92	0.58	0.87
Desv. (S)	0.02	0.11	0.03	0.04	0.08	0.04
Separación de medias de la tres variedades de frijol rojo (tukey/HSD)						
Seda	1.03 ^b	1.27 ^a	1.31 ^a	1.36 ^a	1.26 ^a	1.22 ^b
Amadeus-77	1.152 ^a	1.30 ^a	1.23 ^b	1.14 ^b	1.28 ^a	1.20 ^b
Dorado	1.155 ^a	1.09 ^b	1.27 ^a	1.33 ^a	1.36 ^a	1.40 ^a
HSD	0.03	0.13	0.04	0.05	0.10	0.05

* Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre medias.

Se pudo observar cierta similitud entre la dureza entre el empacado de la variedad Seda bajo la condición de vacío y atmósfera modificada, y el empacado bajo la condición ambiental de concentración de oxígeno tuvo la mejor textura en cuanto a la suavidad. También hubo efecto significativo generalmente marcada entre las variedades y atmósferas de almacenamiento (Cuadro 11).

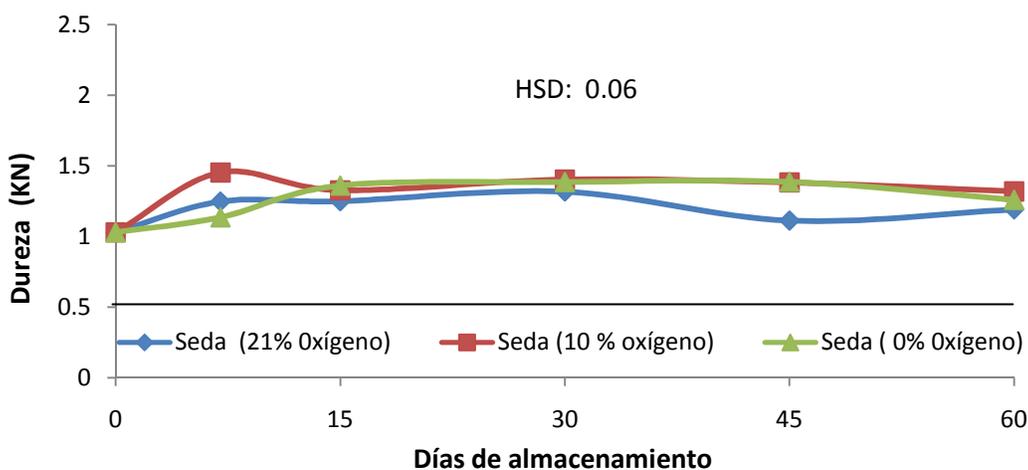


Figura 15. Efecto de la concentración de oxígeno sobre la textura del grano de frijol de la variedad Seda almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

La textura de la variedad Seda presentó cambios significativos ($Pr > 0.007$) en el tiempo en todas las atmósferas de concentración de oxígeno. Hubo una clara tendencia de similitud entre la atmósfera modificada y el vacío, ya que el grado de suavidad fue mejor bajo la condición ambiental de concentración de oxígeno.

Se observó un comportamiento muy similar de la dureza de la variedad de frijol rojo Amadeus-77. Esa tendencia presentó efecto significativo en algunos momentos bajo las atmósferas de concentración de oxígeno durante los 60 días.

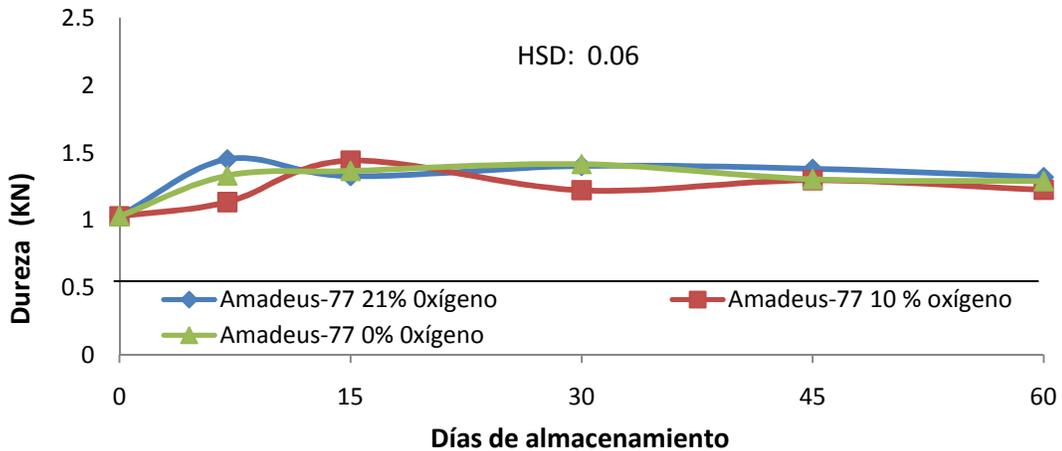


Figura 16. Efecto de la concentración de oxígeno sobre la textura del grano de frijol de la variedad Amadeus-77 almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

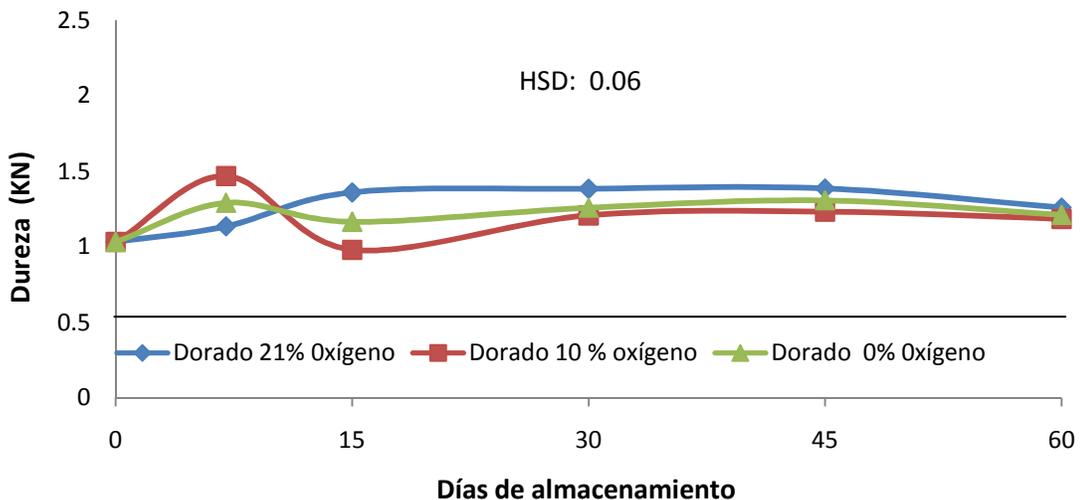


Figura 17. Efecto de la concentración de oxígeno sobre la textura del grano de frijol de la variedad Dorado almacenado durante 60 días a 26°C y 70.2% HR.

Se presentó una tendencia alcista en la textura de la variedad de frijol rojo Amadeus-77. Ese comportamiento presentó efecto significativo en cierto momento durante el

almacenamiento de las variedades en las atmósferas de concentración de oxígeno durante los 60 días.

Las tres variedades cumplieron con las satisfacción de compradores que recomiendan tiempo cocción en promedio de 70 min.

4.6 EVALUACIÓN DE COLOR ROJO DE LAS VARIEDADES DE FRIJOL

4.6.1 Evaluación de la clasificación de color rojo de las tres variedades de frijol en la escala de Melgar.

Los Cuadros 12, 13 y 14 contienen los respectivos valores de las medias de las tres variedades de frijol rojo centroamericano que nos permiten clasificar el valor comercial de cada variedad una de las tres variedades durante 60 días de almacenamiento.

Cuadro 12. Efecto de las atmósferas sobre el color de la variedad de Seda.

Color	Día (Variedad Seda)					
	0	7	15	30	45	60
L*	22.22 ^a	22.19 ^a	22.66 ^a	26.04 ^a	26.46 ^a	26.12 ^a
a*	17.20 ^b	18.07 ^v	19.72 ^b	20.42 ^b	21.69 ^b	22.09 ^b
b*	7.14 ^c	7.03 ^c	7.43 ^c	7.10 ^c	7.95 ^c	8.76 ^c

* Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre medias.

La variedad Seda superó al grado 1 de la claridad, intensidad de color rojo y color amarillo óptimo deseado de la escala propuesta por Melgar, desde el primer análisis de color realizado del estudio.

Se debe de ampliar la escala propuesta por Melgar para poder analizar variedades de frijol rojo que presentan una intensidad de claridad, color rojo y amarillo más alto que los considerados en la escala actual.

Cuadro 13. Efecto de las atmósferas sobre el color de la variedad Amadeus-77.

Color	Día (Variedad Amadeus-77)					
	0	7	15	30	45	60
L*	18.47 ^a	17.56 ^a	17.22 ^a	20.36 ^a	19.9 ^a	20.03 ^a
A*	11.82 ^b	12.44 ^b	13.15 ^b	13.75 ^b	14.61 ^b	15.34 ^b
b*	4.51 ^c	4.49 ^c	3.93 ^c	3.64 ^c	3.56 ^c	4.40 ^c

* Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre medias.

La intensidad del tono claro de la variedad Amadeus-77 se encontró en el grado 4 de la escala propuesta por Melgar, y a los 60 días disminuyó al grado 1 por el efecto de incremento de la claridad de esta variedad durante el almacenamiento bajo condiciones de las atmósferas de concentraciones de oxígeno.

En cuanto al análisis de color rojo de la variedad Amadeus-77, se encontró en el grado 2 de la escala propuesta al iniciar el ensayo. A los 60 días, el valor de color rojo (a*) de esta variedad se incrementó hasta superar el grado 1 de color rojo (a*) de la escala propuesta por Melgar.

Para el valor del color amarillo, la variedad Amadeus-77 se superó la escala propuesta por Melgar desde el tiempo 0 del estudio hasta a los 60 días, aún con tendencia de disminución en color amarillo que se presentó esta variedad.

Cuadro 14. Efecto de las atmósferas sobre el color de la variedad Dorado.

Color	Día (Variedad Dorado)					
	0	7	15	30	45	60
L*	16.47 ^a	16.17 ^a	15.92 ^a	18.27 ^a	18.61 ^a	17.44 ^a
a*	4.60 ^b	4.79	4.26 ^b	5.33 ^b	5.67 ^b	6.08 ^b
b*	2.01 ^c	1.99 ^c	1.54 ^c	1.21 ^c	1.04 ^c	1.49 ^c

* Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre medias.

La variedad de frijol color retinto Dorado presentó una intensidad de claridad que se encontró en el grado 7 de la escala propuesta. A los 60 días bajó al grado 6 de la escala propuesta, por el efecto de incremento de la claridad durante el almacenamiento bajo condiciones de las atmósferas de concentraciones de oxígeno.

El valor de color rojo de la variedad Dorado al inicio se encontró dentro del grado 9 de la escala propuesta. A los 60 días, el valor de color rojo (a^*) de esta variedad bajó al grado 8 de la escala por efecto de incremento del color rojo durante el almacenamiento bajo condición de las atmósferas de concentración de oxígeno.

Para el análisis de color amarillo la variedad Dorado se ubicó en el grado 5 de la escala propuesta al inicio del estudio. A los 60 días, se redujo este valor al grado 7 de la escala debido al efecto significativo de las atmósferas de concentración de oxígeno, de almacenamiento.

En la variedad Dorado varió el valor de la variable de color rojo (a^*) en las tres atmósferas evaluadas. Presentó un aumento de 2 grados en la escala propuesta por Melgar que fue estadísticamente significativa.

Las tres variedades de frijol rojo centroamericano mejoraron su valor comercial en el almacenamiento de bajo condición de concentración de oxígeno.

La textura y el tiempo de cocción de las tres variedades de frijol rojo centroamericano fueron similares durante los dos meses de duración del estudio.

5. CONCLUSIONES

- El valor comercial de las tres variedades de frijol rojo centroamericano evaluado se mantuvo en almacén bajo las tres condiciones de las concentraciones de oxígeno atmosférico a 26°C y 70.2% HR.
- La textura y el tiempo de cocción de las tres variedades de frijol rojo evaluadas fueron similares bajo las concentraciones de oxígeno atmosférico de almacenamiento durante 60 días.
- Las tres concentraciones de oxígeno atmosférico de almacenamiento evaluado fueron muy buenas alternativas para evitar el problema de oscurecimiento de frijol rojo almacenado durante 60 días.

6. RECOMENDACIONES

- Evaluar color, la textura y el tiempo de cocción durante por lo menos seis meses de almacenamiento.
- Evaluar interacción de temperatura, humedad relativa, concentración de oxígeno y luminosidad, del grano de las tres variedades, incluyendo las características sensoriales y sus respectivos contenidos de antocianinas.
- Repetir este estudio y evaluar el cambio de color de otras variedades claras para relacionar la cantidad de color rojo presente con la velocidad de cambio del mismo.
- Revisar la escala propuesta de la clasificación de frijol rojo de Melgar para poder caracterizar y evaluar el valor comercial de más variedades de frijol rojo claro.

7. LITERATURA CITADA

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. 12p.

Carabante, K. 2008. Efecto de las condiciones de almacenamiento en el contenido de antocianinas del fríjol rojo centroamericano (*Phaseolus vulgaris L.*). Proyecto de graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria, Zamorano. 64 p.

Cheftel, J. Cheftel, H.; Besancon, P. 1983. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. 2 ed. Trad. Francisco López Capont. Edit. Acribia. Zaragoza. España. 404 p.

Choung, C. 2003. Anthocyanins profiles of Korean kidneys beans (*Phaseolus vulgaris L.*). Journal Agriculture of Food Chemistry 24:740-743

Esti, M. 2001. The change of total anthocyanin in blueberries and their antioxidant effect after drying and freezing. Journal of Biomedical Biotechnology 5: 248-252.

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

Kirca, A. 2003. Degradation kinetics of anthocyanins in blood orange juice and concentrate. Journal of Food Chemistry 81: 583-587.

Lizarraga, G. 2004. Evaluación cuantitativa y sensorial de la calidad culinaria de siete variedades comerciales de frijol rojo (*Phaseolus vulgaris*) y de seis líneas mejoradas experimentales. Proyecto Especial de Graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria. Zamorano, Honduras. 22p.

Macz-Pop, G. 2005. Natural occurrence of free anthocyanin aglycones in beans (*Phaseolus vulgaris L.*). Journal of Food Chemistry 94:448-456.

Maestre, J. 1997. Elaboration of pomegranate jellies. Consejería de Medio Ambiente, Agricultura y Agua de la Región de Murcia, Plaza. Juan XXIII n/s, 30008 Murcia, España. CIHEAM 219 p.

MAG-DGEA, El Salvador (2005). Informe de Coyuntura. Enero – junio, 2003. Oficina de Políticas y Estrategias del Ministerio de Agricultura y Ganadería. 79 p.

Martínez, L., Bernsten, R. y Zamora, M. 2004. Estrategias de mercado para el frijol centroamericano. *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.

Moreno, 1989. Composición de antocianinas en variedades de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en México. *AGROCIENCIA*. 39: 385-394.

Ochoa, M. 1999. Physical and chemical characteristics of raspberry pulp: storage effect on composition and color. *Lebens Wissenschaften Technology* 32:149-153.

Peguero, F. 2007 Perfil de antocianinas de tres variedades de frijol rojo (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en Honduras. Proyecto de graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria, Zamorano. 51 p.

Rivas, G; Mack, P. 2004. Natural occurrence of free anthocyanin aglycones in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) *Journal of Food Chemistry* Salamanca. 448-456.

Rosas J.C. 2003. Aplicación de metodologías participativas para el mejoramiento genético de frijol en Honduras. *Agronomía. Mesoamericana*. 12(2): 219-228.

Rosas, 2003. Niveles de aceptación de germoplasma mejorado de frijol evaluado por pequeños agricultores mediante metodologías participativas en la región de Yeguaré, Honduras: en línea.

Salinas, M. 2005. Stability of anthocyanins of blue maize (*Zea mays* L.) after nixtamalization of separated pericarp-germ tip cap and endosperm fractions. *Journal of Cereal Science* 12:1–6.

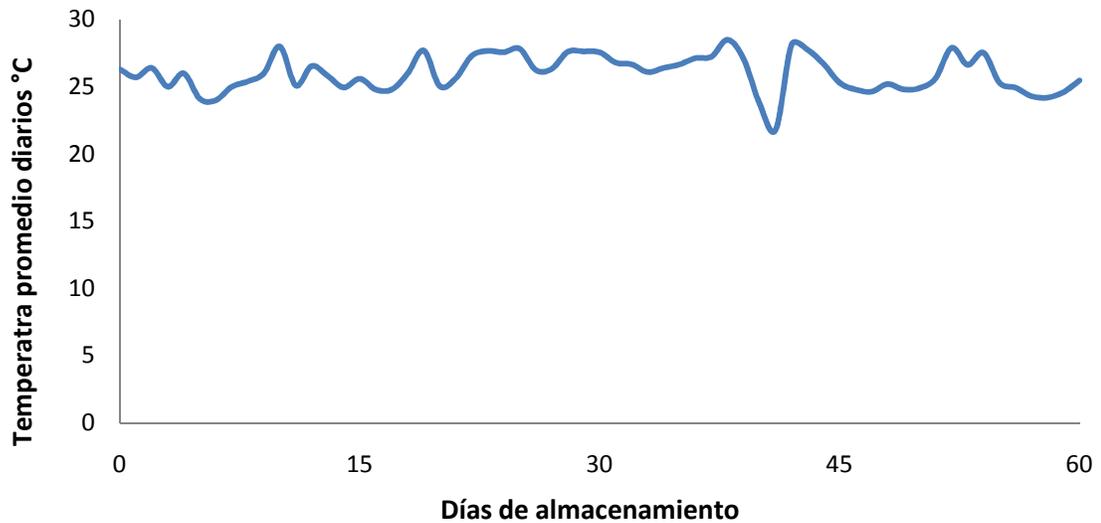
Sankat, C. 1999. Light mediated red colour degradation of the pomarac (*Syzygium malaccense*) in refrigerated storage. *Journal of Postharvest Biology and Technology* 18:253-257.

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

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.

8. ANEXOS

Anexo 1. Fluctuaciones promedio diarias de la temperatura del ambiente de almacenamiento durante 60 días.



Anexo 2. Fluctuaciones promedio diarias de la humedad relativa del ambiente de almacenamiento durante 60 días.

