

Efecto de la temperatura de almacenamiento en la estabilidad del color del grano de frijol rojo

Víctor Manuel Taleón Alban

Honduras
Diciembre, 2005

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA

Efecto de la temperatura de almacenamiento en la estabilidad del color del grano de frijol rojo

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

Presentado por:

Víctor Manuel Taleón Alban

Honduras
Diciembre, 2005

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.

Víctor Manuel Taleón Alban

Honduras
Diciembre, 2005

**Efecto de la temperatura de almacenamiento en la estabilidad del color
del grano de frijol rojo**

Presentado por:

Víctor Manuel Taleón Alban

Aprobado:

Francisco J. Bueso, Ph.D.
Asesor Principal

Raúl Espinal, Ph.D.
Director
Carrera de Agroindustria

Juan Carlos Rosas, Ph.D.
Asesor

George Pilz, Ph.D.
Decano Académico

Kenneth Hoadley, D.B.A.
Rector

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el apoyo y esfuerzo que han realizado todos estos años.

A los doctores, Javier Bueso y Juan Carlos Rosas por su asesoría y dedicación.

AGRADECIMIENTO A PATROCINADORES

A la fundación Nipón por el apoyo financiero brindado.

RESUMEN

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.

El mercado 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 grano rojo claro tienden a perder esta tonalidad en el almacenamiento, sobre todo si las condiciones son de altas temperaturas. Las antocianinas, los compuestos que dan el color rojo al grano, se degradan a mayor temperatura. Se evaluaron los cambios de color del grano de frijol rojo en dos variedades de color rojo claro: (Seda y Paraisito), dos de color rojo intermedio (Amadeus-77 y Desarrural) y una variedad rojo oscuro (Dorado), a tres temperaturas de almacenamiento (4 °C, 26 °C y 28 °C) durante siete meses. Se utilizó el instrumento colorimétrico ColorFlex HunterLab para medir la claridad, la intensidad de rojo y la intensidad de amarillo usando la escala $L^* a^* b^*$. Se observó una mayor degradación del color rojo a 26 °C y 28 °C ($P < 0.01$). 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.

Palabras clave: Antocianinas, frijol seda, $L^*a^*b^*$.

Francisco J. Bueso, Ph.D.

CONTENIDO

Portadilla.....	i
Autoría	ii
Página de firmas.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos	v
Agradecimiento a patrocinadores	vi
Resumen.....	vii
Contenido.....	viii
Índice de cuadros	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	2
1.4. LÍMITES DEL ESTUDIO.....	2
1.5. OBJETIVOS	3
1.5.1. Objetivo General.....	3
1.5.2. Objetivos Específicos.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. COLOR.....	4
2.2. IMPORTANCIA DEL FRIJOL ROJO EN CENTROAMÉRICA	4
2.3. FRIJOL ROJO DE SEDA.....	5
2.4. CLASIFICACIÓN DEL FRIJOL ROJO	5
2.5. ALMACENAMIENTO DE FRIJOL	5
2.6. TESTA DEL FRIJOL	6
2.7. ANTOCIANINAS	6
2.8. COLORÍMETRO.....	6
2.9. TEMPERATURA.....	6
2.10. HUMEDAD RELATIVA	7
3. MATERIALES Y MÉTODOS.	8
3.1. MATERIALES Y EQUIPO.....	8
3.2. MÉTODOS	8
3.2.1. Experimento.....	8

3.2.2.	Muestras	9
3.2.3.	Análisis colorimétrico Colorflex Hunterlab.....	9
3.2.4.	Clasificación del valor comercial de las variedades	9
3.2.5.	Análisis estadístico.....	10
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
4.1.	TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO	11
4.2.	EFFECTO DE LAS TEMPERATURAS	11
4.3.	EFFECTO DE LAS VARIEDADES	13
4.3.1.	Efecto de las variedades en los cambios de claridad del grano	13
4.3.2.	Efecto de las variedades en los cambios de color amarillo del grano...	16
4.3.3.	Efecto de las variedades en los cambios de color rojo del grano.....	19
5.	CONCLUSIONES	25
6.	RECOMENDACIONES	26
7.	BIBLIOGRAFIA	27
8.	ANEXOS	29

ÍNDICE DE CUADROS

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 Centroamérica en el año 2004.	4
3.	Rangos de color en la escala $L^*a^*b^*$ para frijol de grano rojo.	5
4.	Valores iniciales de claridad L^* , rojo a^* y amarillo b^* y clasificación del valor comercial de las variedades evaluadas.	10
5.	Análisis de varianza del efecto de la temperatura en los valores de claridad, color rojo y amarillo del grano de cinco variedades de frijol rojo almacenado.	11
6.	Efecto de la temperatura en el color rojo del grano de cinco variedades de frijol almacenado durante 210 días.	12
7.	Análisis de varianza del efecto de las variedades y temperaturas en el tiempo.	13
8.	Días de almacenamiento del grano de frijol para disminuir su clasificación en la escala colorimétrica $L^*a^*b^*$	20
9.	Velocidad de degradación en almacenamiento del color rojo de cinco variedades de frijol rojo.	23
10.	Contrastes de la velocidad de la pérdida de color variedades claras y oscuras.	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1.	Efecto de la temperatura de almacenamiento en la pérdida del color rojo en el grano de cinco variedades de frijol.	12
2.	Efecto de la temperatura de almacenamiento en la claridad del grano de frijol de la variedad Desarrural.	14
3.	Efecto de la temperatura de almacenamiento en la claridad del grano de frijol de la variedad Dorado.	14
4.	Efecto de la temperatura de almacenamiento en la claridad del grano de frijol de la variedad Paraisito.	15
5.	Efecto de la temperatura de almacenamiento en la claridad del grano de frijol de la variedad Seda.....	15
6.	Efecto de la temperatura de almacenamiento en la claridad del grano de frijol de la variedad Amadeus-77.....	16
7.	Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color amarillo del grano de frijol de la variedad Desarrural.	17
8.	Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color amarillo del grano de frijol de la variedad Dorado.	17
9.	Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color amarillo del grano de frijol de la variedad Paraisito.	18
10.	Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color amarillo del grano de frijol de la variedad Seda.	18
11.	Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color amarillo del grano de frijol de la variedad Amadeus-77.....	19
12.	Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color rojo del grano de frijol de la variedad Amadeus-77.....	20

13.	Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color rojo del grano de frijol de la variedad Dorado.	21
14.	Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color rojo del grano de frijol de la variedad Paraisito.	21
15.	Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color rojo del grano de frijol de la variedad Seda.	22
16.	Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color rojo del grano de frijol de la variedad Desarrural.	22
17.	Velocidad de pérdida de color rojo en función del valor inicial del color rojo (a), a 26 °C.	24
18.	Comportamiento de la velocidad de pérdida de color rojo en función del valor inicial del color rojo (a), a 28 °C.	24

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo

1.	Cartilla para evaluación del color del frijol rojo.....	30
2.	Temperaturas promedio diarias durante en los ambientes evaluados. ..	31
3.	Fluctuaciones promedio diarias de temperatura en los ambientes evaluados.	32

1. INTRODUCCIÓN

La apertura de nuevos mercados ha provocado que los parámetros de comercialización de los productos sean más exigentes y exactos para. Por esta razón es necesario desarrollar parámetros que definan claramente los estándares de calidad exigidos por los mercados para el frijol rojo, ya que éste es uno de los principales productos alimenticios comercializados en la región por su bajo costo y alto valor nutricional (Martínez, 2004).

El color es una de las principales características que el consumidor toma en cuenta al momento de comprar un producto; esto lo convierte en un factor importante al establecerse los precios de venta (Garzón, 2001).

Melgar (2004) desarrolló una cartilla para evaluar el color del grano de frijol rojo, basado en una escala de triple estímulo $L^*a^*b^*$ (Anexo 1), con el objetivo de determinar cuantitativamente el color de las líneas mejoradas de frijol y clasificarlas según los gustos del consumidor.

Muchos factores afectan la estabilidad de las antocianinas, las cuales proporcionan el color rojo a la testa del grano de frijol, incluyendo la temperatura, el pH, la concentración de antocianinas, el oxígeno, las enzimas, y la presencia de copigmentos, iones metálicos y azúcares, (Garzón, 2001).

1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las variedades comerciales de frijol que tienen un color rojo claro (conocidas como tipo “Rojo de Seda”) son las que alcanzan mejores precios en los mercados de El Salvador, Nicaragua, Honduras y entre la población de estos países residentes en Estados Unidos (Cuadro 1). Estas variedades tienden a perder el color rojo claro durante el almacenamiento provocando una pérdida del valor comercial del producto. No se sabe cuánto se degrada el color durante su almacenamiento lo que causa que los productores no conozcan el tiempo, la variedad ni la temperatura adecuada, a las que deben almacenar su producto sin que pueda verse afectado su precio.

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

Tipo de frijol	Procedencia	Precio en US \$/TM	
		Transportista	Mayorista
Rojo de seda	Nacional	946	990
Rojo corriente	Nacional	770	814
Rojo de seda	Importado	946	990
Rojo corriente	Importado	770	814

Fuente: 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.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Es necesario definir el tiempo de almacenamiento del frijol rojo claro (tipo Rojo de Seda) sin que pierda la coloración deseable bajo condiciones normales de almacenamiento, ya que esto provoca una reducción en los precios afectando a los almacenadores de grano.

1.4. LÍMITES DEL ESTUDIO

El tiempo de evaluación del estudio se limitó a siete meses.

Sólo se pudieron evaluar tres temperaturas de almacenamiento.

No fue posible determinar las cantidades de antocianinas presentes en la testa.

Sólo se pudieron evaluar cinco variedades de frijol.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

- Determinar el efecto de la temperatura de almacenamiento en el color del grano del frijol rojo durante siete meses de almacenamiento.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de la temperatura en el color del frijol rojo.
- Determinar si los cambios en el color del grano de frijol rojo durante el almacenamiento provocan variación en su clasificación en la escala de color de Melgar (2004).
- Determinar el tiempo máximo de almacenamiento de frijol rojo en el cual el color del grano no cambia significativamente.
- Identificar la variedad de frijol rojo que es menos sensible a cambios del color del grano en su almacenamiento.

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 color negro, mientras que en Nicaragua, Honduras y El Salvador prefieren frijoles de color rojo brillante (Martínez, 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 C.A. en el año 2004.

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

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

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. CLASIFICACIÓN DEL FRIJOL ROJO

Melgar (2004), desarrolló una escala para clasificar el frijol rojo centroamericano (Cuadro 3), 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 2 a 9) causa una disminución en el valor comercial del producto.

Cuadro3. 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).

2.5. 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, 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.

2.6. 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).

2.7. 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).

2.8. COLORÍMETRO

El colorímetro Colorflex Hunter Lab 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.

2.9. 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, Sarkat (1999) indica 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.

2.10. 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.

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

El estudio se realizó en el Centro de Evaluación de Alimentos de Zamorano, a 30 Km. de Tegucigalpa, Honduras, ubicado a 14 grados latitud norte y 87 grados longitud oeste, con una precipitación de 1100 mm por año y una altura de 800 msnm.

3.1. MATERIALES Y EQUIPO

- 1.8 kg de grano de frijol de las variedades Seda, Paraisito, Amadeus 77, Dorado y Desarrural
- Recipientes de plástico para guardar muestras
- Colorímetro Colorflex HunterLab Reston, VA
- Programa estadístico “Statistical Analysis System” (SAS®) v. 8.2
- Cuarto frío a 4 ° C
- Invernadero a una temperatura promedio de 26 °C
- Almacén a una temperatura promedio de 28 °C
- Higrotermógrafo Cole Palmer
- Termómetro Cole Palmer

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Experimento

Se realizó un experimento bifactorial 3x5. El primer factor fue la temperatura de almacenamiento (4° C, 26 °C y 28 °C) en un refrigerador, almacén acondicionado y un silo para granos respectivamente. El segundo factor fue la variedad; se seleccionaron dos variedades de color rojo claro (Seda y Paraisito), dos de color rojo intermedio (Amadeus 77 y Desarrural), y una variedad rojo oscuro (Dorado), con el fin de estudiar el efecto de la concentración de color rojo en la degradación del mismo. Se utilizaron parcelas divididas, donde las parcelas fueron las temperaturas de almacenamiento y las sub-parcelas las variedades. Se tomaron las primeras cinco mediciones en intervalos de una semana y luego se tomaron otras seis con intervalos de un mes.

3.2.2. Muestras

Las muestras fueron tomadas de la cosecha de diciembre del 2004 de las parcelas experimentales del Programa de Investigaciones en Frijol de 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 almacenarlas en cada ambiente en envases plásticos para evitar entrada de insectos y luz. El tamaño de cada unidad experimental fue de 200 g.

Las temperaturas y humedades relativas fueron monitoreadas permanentemente con una frecuencia de toma de datos de dos horas en el invernadero a 26 °C y el almacén a 28 °C, para poder ver las fluctuaciones y las temperaturas máximas y mínimas diarias. Para el cuarto frío a 4 °C, se monitoreó la humedad relativa y la temperatura mensualmente ya que éstas no fluctuaban mucho. Las temperaturas utilizadas para el análisis fueron las temperaturas promedio diarias.

3.2.3. Análisis colorimétrico Colorflex Hunterlab

- Se colocaron las muestras en recipientes plásticos.
- Se tomó una sub-muestra con la copa especial transparente del Colorflex.
- Se colocó la copa con la sub-muestra en la región de lectura de color del Colorflex.
- Se corrió el software, para el análisis de la muestra.
- Se tomaron los datos de L^* a^* b^* .
- Se ordenan los datos en el Programa de cálculo Microsoft Office Excel.
- Se analizaron los datos utilizando el programa estadístico “Statistical Analysis System” (SAS®) v. 8.2.

3.2.4. Clasificación del valor comercial de las variedades

Al inicial la evaluación se midió el color de todas las variedades para poder clasificarlas dentro de la escala de clasificación del valor comercial del frijol rojo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valores iniciales de claridad L*, rojo a* y amarillo b* y clasificación del valor comercial de las variedades evaluadas.

Variedad	Valor de los ejes			Clasificación
	L	a	b	
Amadeus-77	16.91	8.53	2.00	1
Desarrural	16.76	9.66	2.46	1
Dorado	14.92	2.72	0.71	4
Paraisito	19.38	14.04	3.55	5
Seda	18.87	13.16	3.29	9

3.2.5. Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza con medidas repetidas en el tiempo usando el programa SAS versión 8.2. Para las variedades en donde se encontraron diferencias estadísticas se realizó una prueba de separación de medias utilizando la diferencia mínima de cuadrados. Se usaron las diferencias mínimas significativas de la escala propuesta por Melgar (2004) para L* a* y b* (0.6181 1.0756 y 0.3244 respectivamente), para determinar si el cambio de color del grano tuvo efectos en su clasificación en la escala.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. TEMPERATURAS DE ALMACENAMIENTO

Las temperaturas del cuarto frío se mantuvieron en 4 °C, mientras que las del almacén y el invernadero sufrieron fluctuaciones durante el experimento. La temperatura promedio del almacén fue 28 °C y la del invernadero fue 26 °C, sin embargo, las temperaturas diarias fueron menos variables para el almacén que presentó temperaturas mínimas promedio de 24 °C y máximas promedio de 32 °C; mientras que, las del invernadero fueron de 18 °C y 34 °C, respectivamente (Anexo 2 y 3).

La humedad relativa del ambiente también fue monitoreada, reportándose para el cuarto frío una humedad relativa de 80%, para el almacén 60% y para el invernadero de 61%. Sin embargo, no fue posible realizar un análisis del efecto de la humedad relativa ya que a pesar de la alta variación durante el día, el envase permeable no permitía un intercambio significativo de humedad con el ambiente.

4.2. EFECTO DE LAS TEMPERATURAS

La temperatura no tuvo un efecto general en el cambio de la claridad en las cinco variedades (Cuadro 5). En los tres ambientes evaluados: cuarto frío (4 °C), almacén de granos (28 °C) e invernadero (26 °C) se observó un ligero aumento de la claridad (0.12, 0.35 y 0.21 unidades, respectivamente); sin embargo, éste no fue significativo ($Pr = 0.53$).

Cuadro 5. Análisis de varianza del efecto de la temperatura en los valores de claridad (L), color rojo (a) y amarillo (b) del grano de cinco variedades de frijol rojo almacenado.

Color	Pr > F		
	Variedad	Temperatura	Variedad*temperatura
Claridad (L)	0.13	0.53	0.29
Rojo (a)	<.01	<.01	0.07
Amarillo (b)	0.38	0.08	0.10

No existió un efecto significativo ($Pr = 0.08$) de la temperatura en el color amarillo del grano almacenado durante los siete meses (Cuadro 5).

Los mayores efectos de la temperatura se notaron en el color rojo (a), encontrándose diferencias significativas ($Pr < 0.01$) (Figura 1), ya que a 4 °C ninguna variedad tuvo cambios, pero a 26 °C y 28 °C todas las variedades redujeron su color rojo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto de la temperatura en el color rojo del grano de cinco variedades de frijol almacenado durante 210 días.

Temperatura	Color rojo (a)*
4 °C	0.00 ^a
28 °C	1.26 ^b
26 °C	1.60 ^b

*Las medias con distinta letra son estadísticamente diferentes ($Pr < 0.05$)

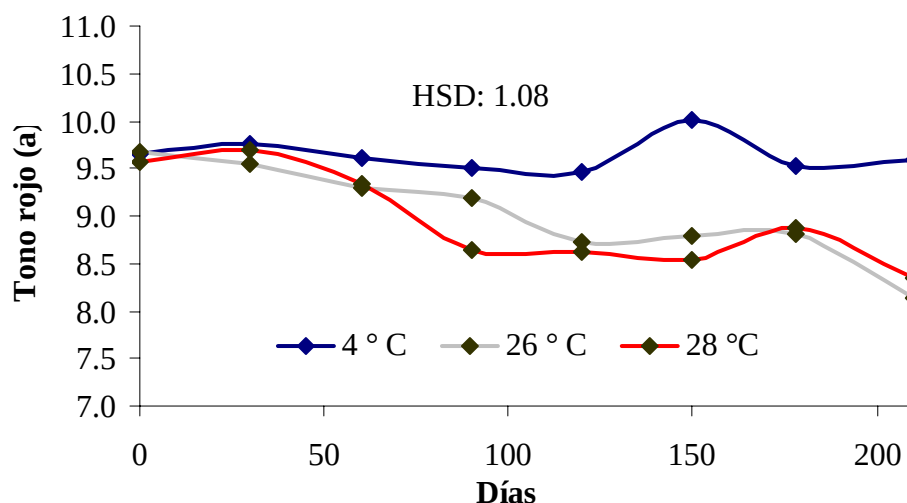


Figura 1. Efecto de la temperatura de almacenamiento en la pérdida del color rojo en el grano de cinco variedades de frijol.

Como no se encontraron diferencias en el valor de la claridad y color amarillo, y sí en el color rojo a mayores temperaturas, se puede decir que los compuestos causantes del cambio en claridad y color amarillo fueron estables a las condiciones de almacenamiento del frijol.

Con los resultados obtenidos se puede inferir que la reducción 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 a temperaturas altas. Esto también ha sido comprobado por Garzón (2001) en concentrado de fresa, en donde evaluó la degradación de la

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.

4.3. EFECTO DE LAS VARIEDADES

En la evaluación de cada variedad en las tres temperaturas de almacenamiento se pudieron observar cambios en la claridad, color rojo y color amarillo (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis de varianza del efecto de las variedades y temperaturas en el tiempo.

Color	Pr > F		
	Tiempo	Tiempo*variedad	Tiempo*temperatura
Claridad (L)	<.01	<.01	0.19
Rojo (a)	<.01	0.02	<.01
Amarillo (b)	<.01	0.36	<.01

4.3.1. Efecto de las variedades en los cambios de claridad del grano

Se observaron cambios significativos en la claridad de las variedades (Cuadro 7); este cambio fue significativo hasta el día 210 ($Pr < 0.05$). La variedad Paraisito fue la única que redujo su claridad (0.38 unidades), mientras que las otras cuatro variedades (Desarrural, Dorado, Amadeus-77 y Seda) aumentaron su claridad en 0.23, 0.30, 0.36 y 0.63 unidades respectivamente.

La claridad de la variedad Desarrural no presentó cambios significativos en el tiempo en ninguno de los tres ambientes ($Pr > 0.05$); no hubo una clara tendencia ya que en ciertas mediciones aumentaba y en otras reducía su valor de color amarillo, sin llegar a tener un patrón de cambio (Figura 2).

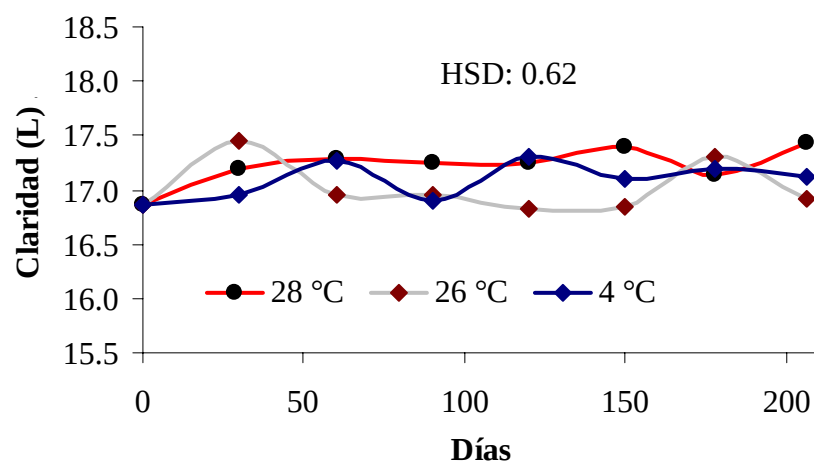


Figura 2. Efecto de la temperatura de almacenamiento en la claridad del grano de frijol de la variedad Desarrural.

La variedad Dorado presentó la misma tendencia que la variedad Desarrural en su valor de claridad ya que no existió un aumento o disminución marcada en su claridad en ninguno de los tres ambientes, es decir no existieron cambios significativos ($Pr > 0.05$) (Figura 3).

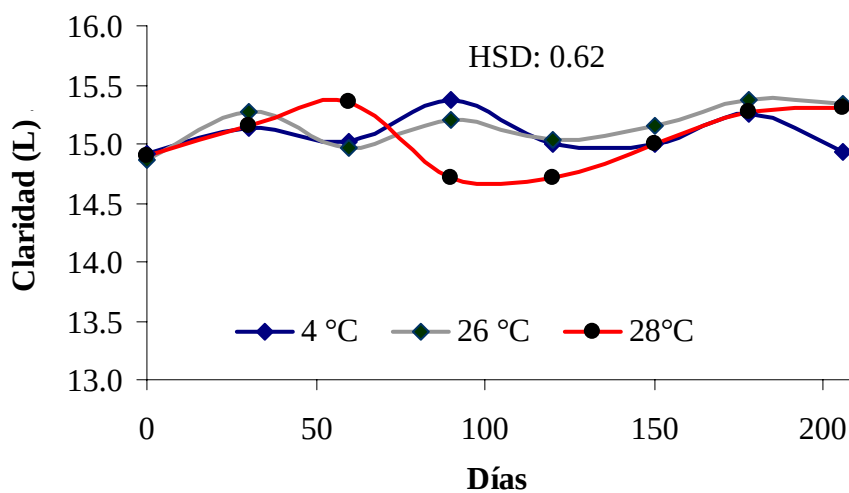


Figura 3. Efecto de la temperatura de almacenamiento en la claridad del grano de frijol de la variedad Dorado.

La variedad Paraisito fue la que presentó mayores cambios en la claridad del grano en el tiempo; sin embargo, estos cambios no fueron significativos en ninguno de los tres ambientes ($Pr > 0.05$) (Figura 4).

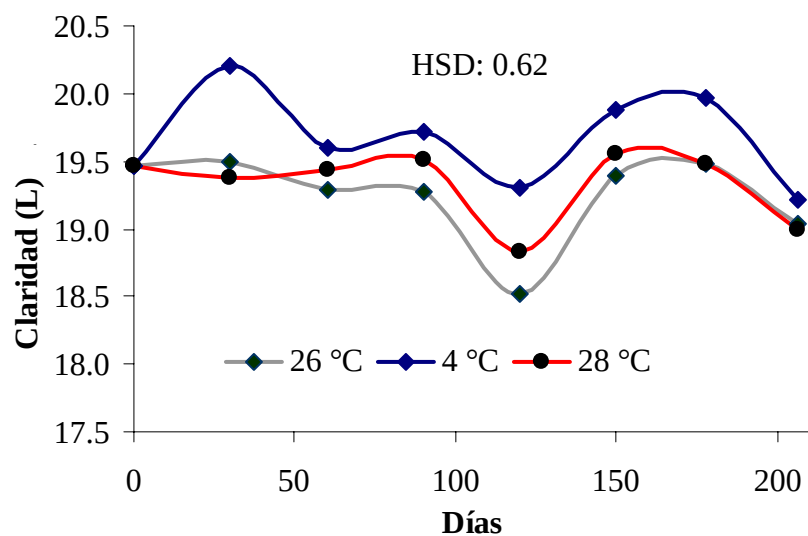


Figura 4. Efecto de la temperatura de almacenamiento en la claridad del grano de frijol de la variedad Paraisito.

La variedad Seda presentó un ligero aumento de claridad a 26 °C al primer mes; sin embargo, este aumento no fue estable en los siguientes meses, volviéndose a ver un marcado aumento al día 210 en donde se encontró diferencia estadística significativa ($Pr < 0.05$), pero no provocó cambios en la clasificación del color del frijol. En los otros dos ambientes los cambios no fueron significativos ($Pr > 0.05$) (Figura 5).

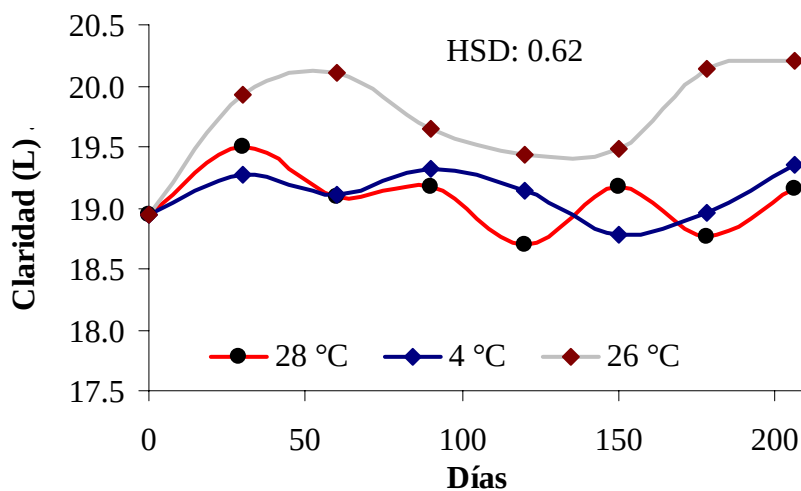


Figura 5. Efecto de la temperatura de almacenamiento en la claridad del grano de frijol de la variedad Seda.

La variedad Amadeus-77 no presentó cambios en ninguno de los tres ambientes ($Pr > 0.05$). (Figura 6).

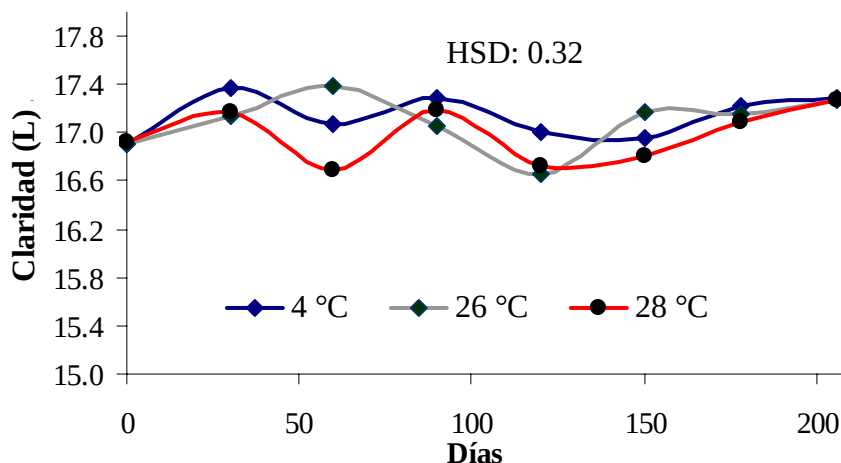


Figura 6. Efecto de la temperatura de almacenamiento en la claridad del grano de frijol de la variedad Amadeus-77.

La claridad del frijol no fue afectada por el tiempo ya que ocurrieron leves aumentos y descensos que no fueron significativos, salvo en el caso de la variedad Seda en donde la claridad aumentó. 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 con un rango de claridad inicial entre 14.85 y 19.61 unidades. La evaluación de claridad puede ser más importante en 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 las variedades en los cambios de color amarillo del grano

En el color amarillo se observaron tendencias a disminuir más marcadas que en la claridad, aunque por la baja cantidad de color amarillo que presentaron las variedades el efecto general no fue significativo.

El color amarillo de la variedad Desarrural tuvo una tendencia a disminuir en los tres ambientes, siendo a 26 °C en donde existió una disminución significativa ($Pr < 0.05$). (Figura 7). Esta disminución fue significativa al día 180 pero no provocó cambios en la clasificación del color del frijol.

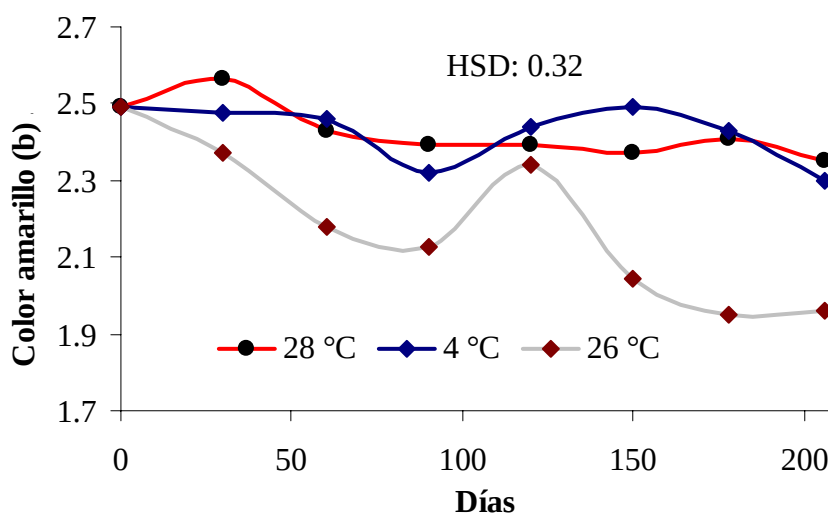


Figura 7. Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color amarillo del grano de frijol de la variedad Desarrural.

La variedad Dorado tuvo una disminución constante del color amarillo salvo en el último mes en donde ocurrió un aumento en el color amarillo (Figura 8). Los cambios en ningún momento fueron significativos en ninguno de los tres ambientes ($Pr > 0.05$).

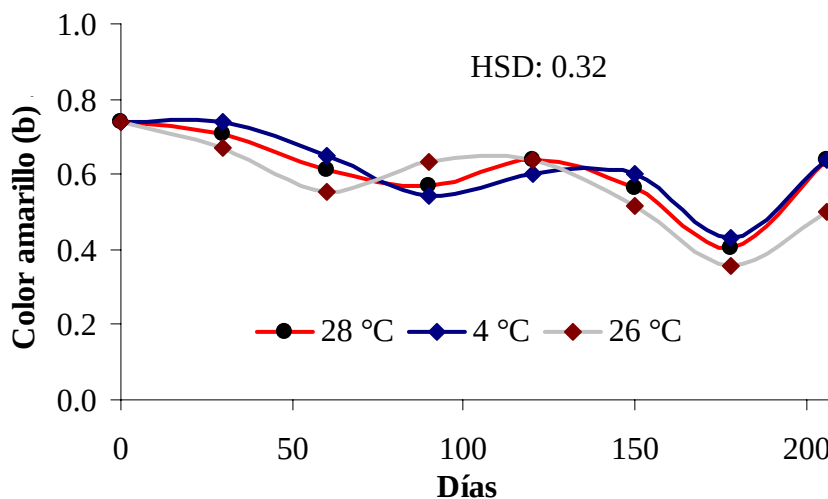


Figura 8. Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color amarillo del grano de frijol de la variedad Dorado.

En las tres temperaturas las variedades almacenadas no presentaron cambios significativos durante los 210 de evaluación ($Pr > 0.05$). (Figura 9).

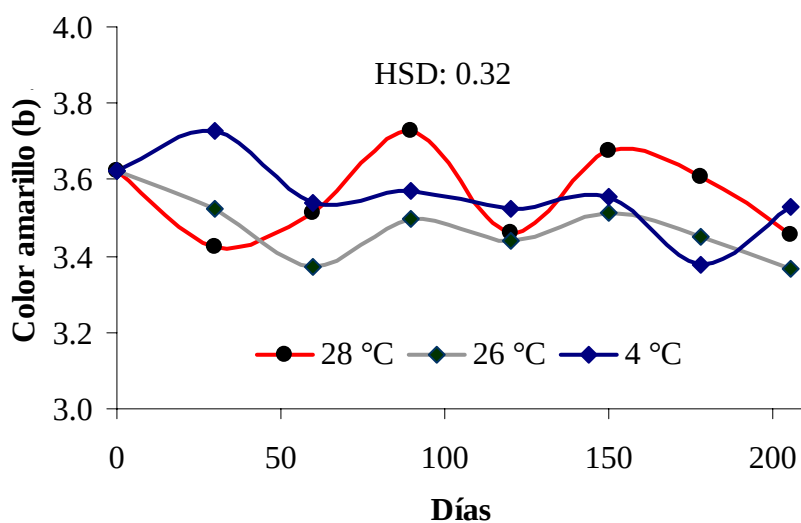


Figura 9. Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color amarillo del grano de frijol de la variedad Paraisito.

El comportamiento del color amarillo durante los 210 días de la variedad Seda no presentó cambios significativos ($Pr > 0.05$) (Figura 10).

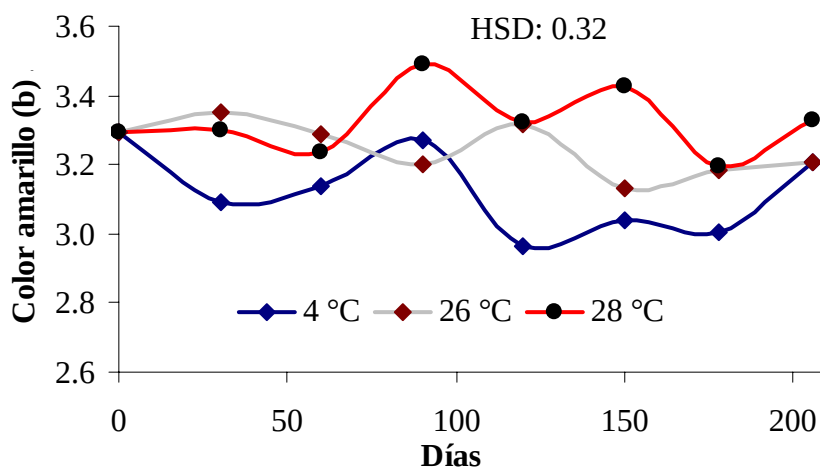


Figura 10. Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color amarillo del grano de frijol de la variedad Seda.

La degradación del color amarillo de la variedad Amadeus-77 fue similar al de la variedad Dorado (Figura 11), no se presentaron cambios significativos ($Pr > 0.05$) para modificar el valor comercial del grano.

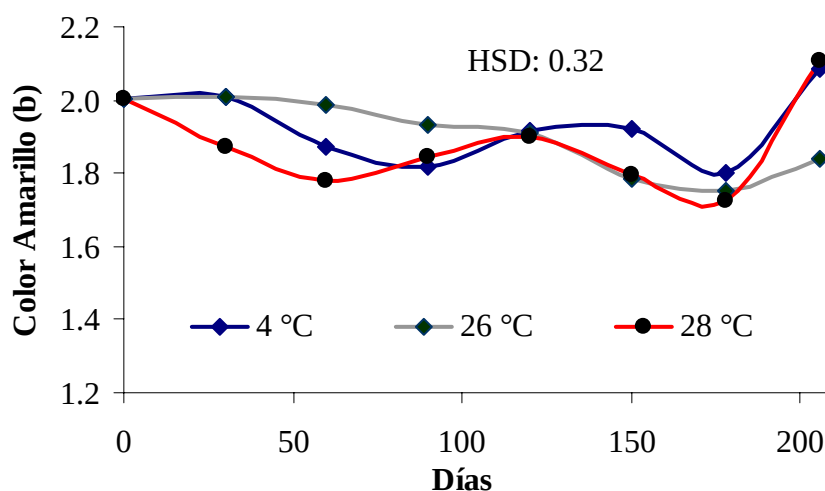


Figura 11. Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color amarillo del grano de frijol de la variedad Amadeus-77.

A pesar de haberse encontrado diferencias en el color amarillo en la variedad Desarrural almacenada en el invernadero, se puede observar que la disminución del color amarillo en las cinco variedades evaluadas no fue suficiente ($Pr > 0.05$) para poder modificar la clasificación del valor comercial de éstas.

4.3.3. Efecto de las variedades en los cambios de color rojo del grano

Los cambios del color rojo fueron más marcados que los cambios en claridad y color amarillo. Existió un efecto significativo ($Pr < 0.05$) de la temperatura y el tiempo en todas las variedades.

Las variedades con un rojo intenso y brillante (Paraisito y Seda) tendieron a decolorarse más que la variedad retinta (Dorado) en el color rojo. Esto pudo ser a causa de una mayor concentración de antocianinas en las variedades de rojo intenso que ocasionó una reacción más rápida con el medio, perdiendo de esta forma su color rojo (Nielsen, 1993). Este comportamiento se mantuvo en las temperaturas altas causando que tres variedades (Paraisito, Seda y Desarrural) presentaran cambios en su valor comercial (Figura 12, 13 y 14). Las variedades Amadeus-77 y Dorado a pesar de tener una reducción en su intensidad de rojo, no redujeron su valor comercial a los 6 meses de almacenamiento (Cuadro 8).

Cuadro 8. Días de almacenamiento del grano de frijol para disminuir su clasificación en la escala colorimétrica $L^*a^*b^*$.

Variedad	Días de almacenamiento		
	4°C	26°C	28 °C
Seda	> 210	120	90
Paraisito	> 210	120	120
Desarrural	> 210	180	150
Amadeus-77	> 210	> 210	> 210
Dorado	> 210	> 210	> 210

Las variedades Amadeus-77 y Dorado no sufrieron cambios significativos ($Pr > 0.05$) en su clasificación de color debido a que la poca cantidad de color rojo hizo que la velocidad de degradación fuese baja. Esto las convierte en las variedades más estables a cambios en su color rojo; sin embargo, estas variedades no son las que presentan mejores precios ya que su color inicial de color rojo es inferior.

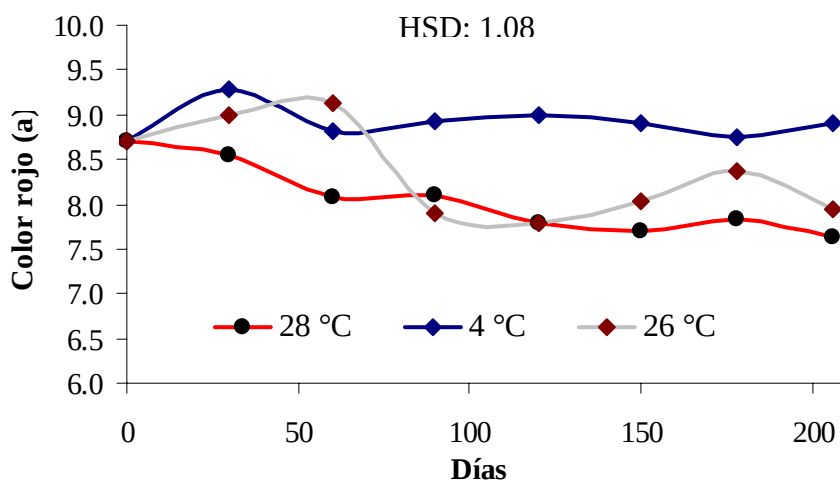


Figura 12. Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color rojo del grano de frijol de la variedad Amadeus-77.

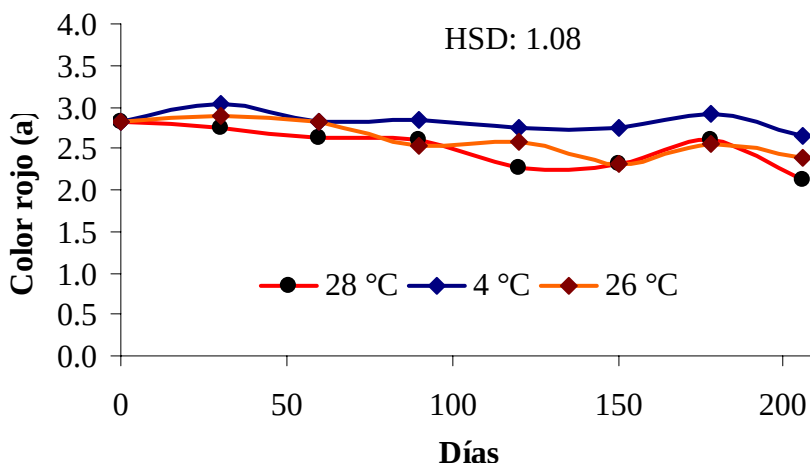


Figura 13. Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color rojo del grano de frijol de la variedad Dorado.

La variedad Paraisito fue la que tuvo mayores cambios en el color rojo, posiblemente por tener el color rojo de mayor intensidad entre las variedades evaluadas (Figura 14). Su comportamiento fue afectado por la temperatura ya que a 4 °C no tuvo cambios, pero a 26 °C y 28 °C bajó su clasificación en la escala a los 120 días ($Pr < 0.05$).

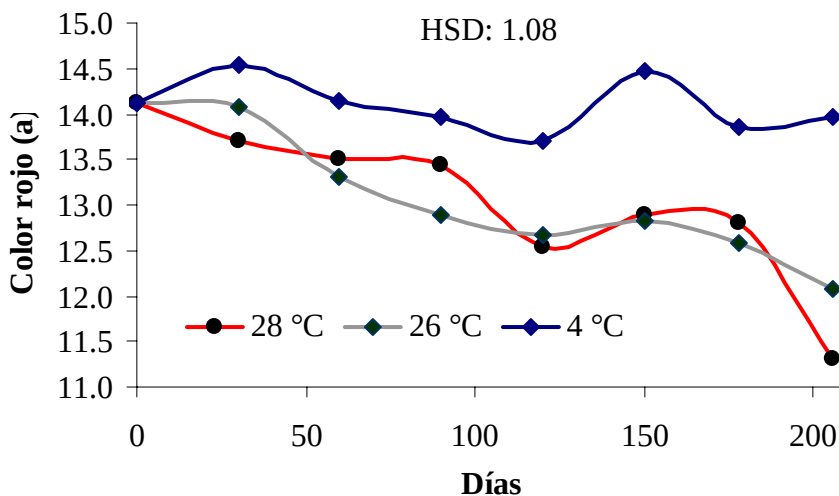


Figura 14. Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color rojo del grano de frijol de la variedad Paraisito.

La variedad Seda presentó un comportamiento similar al de la variedad Paraisito, ya que a 4 °C no presentó cambios durante 6 meses de almacenaje ($Pr > 0.05$), y a 26 °C bajó de clasificación del nivel uno al dos a los 120 días ($Pr < 0.05$); sin embargo, a 28 °C tuvo un cambio más acelerado bajando de clasificación a los 90 días ($Pr < 0.05$) (Figura 15).

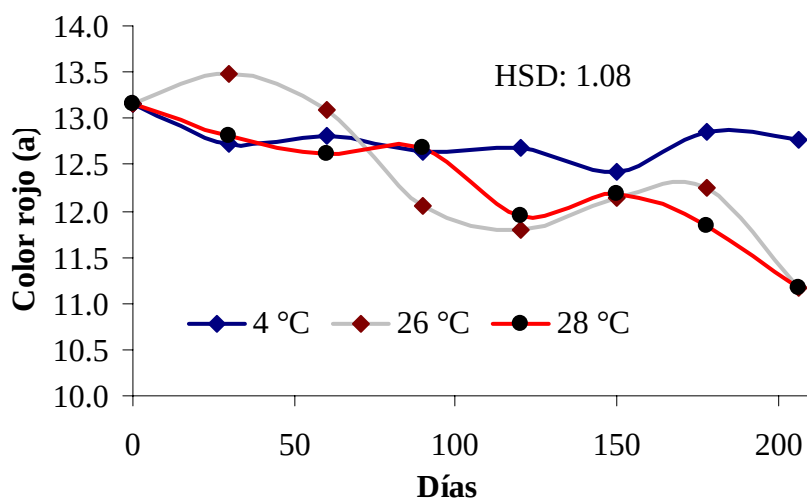


Figura 15. Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color rojo del grano de frijol de la variedad Seda.

De las variedades que perdieron valor comercial, Desarrural fue la única que tardó más tiempo en cambiar a 28°C que a 26 °C, cambiando a los 180 y 150 días, respectivamente ($Pr < 0.05$) (Figura 16).

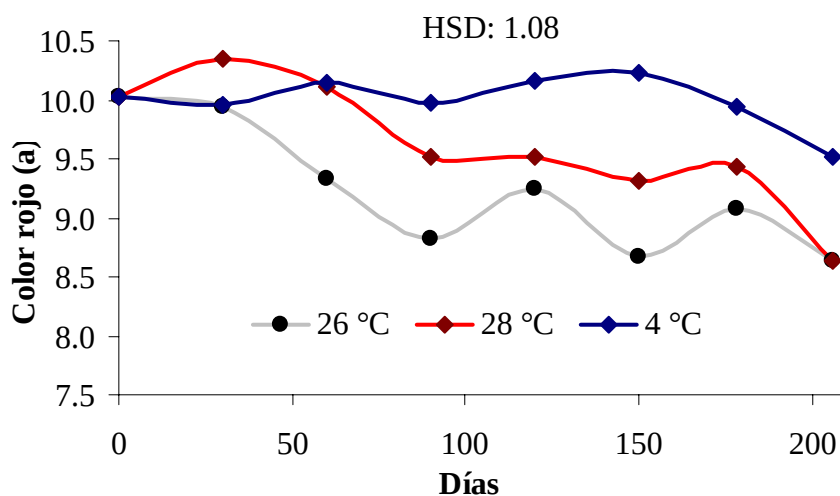


Figura 16. Efecto de la temperatura de almacenamiento en el color rojo del grano de frijol de la variedad Desarrural.

Las tendencias en la velocidad de degradación del color (Cuadro 9), fueron estudiadas obteniendo dos ecuaciones de regresión exponencial que explican la velocidad de degradación del color rojo del grano de frijol en relación a la intensidad de color rojo inicial.

Cuadro 9. Velocidad de degradación en almacenamiento del color rojo de cinco variedades de frijol rojo.

Variedad	26 °C		28 °C	
	Valor inicial en a*	Cambio diario en a*	Valor inicial en a*	Cambio diario en a*
Paraisito	14.12	0.0134	14.08	0.0097
Seda	13.13	0.0095	12.78	0.0079
Desarrural	9.62	0.0067	10.03	0.0066
Amadeus-77	8.69	0.0050	8.34	0.0036
Dorado	2.83	0.0034	2.63	0.0022

La ecuación para 26 °C es: $y = 2.2132e^{0.1159x}$ (1) y la ecuación para 28 °C es: $y = 1.4724e^{0.1315x}$ (2), éstas indican que por cada aumento en el valor de color rojo (a) de una muestra de frijol antes de almacenar, la velocidad de degradación del color rojo será mayor. El coeficiente de determinación (R^2) para la ecuación 1 fue 0.93, que indica que el 93% de los datos se ajustan al modelo y para la ecuación 2 el coeficiente de determinación fue 0.92. Las gráficas de las dos ecuaciones se representan en las figuras 17 y 18.

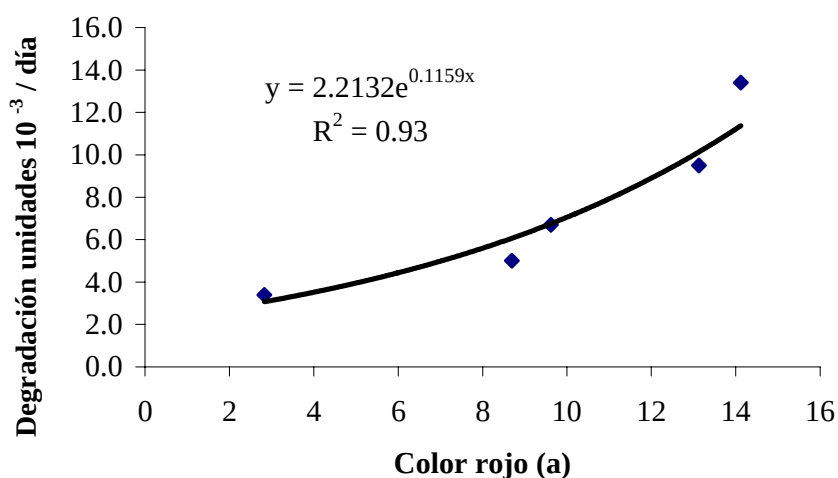


Figura 17. Velocidad de pérdida de color rojo en función del valor inicial del color rojo (a), a 26 °C.

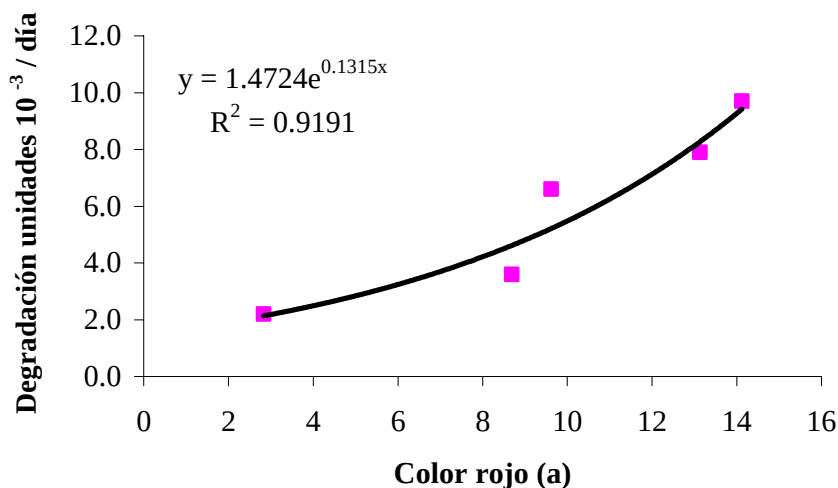


Figura 18. Comportamiento de la velocidad de pérdida de color rojo en función del valor inicial del color rojo (a), a 28 °C.

Con la ecuación (1) se podrá calcular el tiempo máximo que una variedad tipo Rojo de Seda (Clasificada 1) puede permanecer almacenada bajo condiciones normales de almacenamiento en una bodega para granos a 28 °C, sin perder su valor comercial.

Es claro que mientras más bajo es el color rojo inicial, más lenta será la degradación del mismo; sin embargo, esto no significa que un frijol Rojo de Seda no pueda mantener sus características de color por más tiempo puesto que a condiciones controladas de luminosidad, humedad relativa y temperatura el producto puede perder poco color.

Cuadro 10. Contrastes de la velocidad de la pérdida de color variedades claras y oscuras.

Contraste			Pr > F	
			26 °C	28 °C
Paraisito + Seda	versus	Dorado	0.01	0.01
Paraisito + Seda	versus	Amadeus	0.09	0.32

En el cuadro 10 se puede observar que las variedades claras Paraisito y Seda degradaron su color rojo a una tasa significativamente más alta que la variedad Dorado. La tasa de degradación del color rojo Paraisito y Seda fue similar a la de Amadeus-77.

5. CONCLUSIONES

- Ocurrieron pérdidas significativas ($P_r < 0.05$) del color rojo en las temperaturas más altas de almacenamiento de frijol (26 °C y 28 °C). A 4 °C no ocurrieron variaciones en color.
- Las variedades de color rojo claro sufrieron una pérdida más rápida del color rojo comparado con las variedades menos claras (intermedias y oscura).
- La reducción de la intensidad del color rojo de las variedades Paraisito, Seda y Desarrural fue significativa, reduciéndose su valor comercial a los 90, 120 y 150 días, respectivamente.
- Las variedades menos susceptibles a cambios de color fueron las variedades de color rojo intermedio (Amadeus-77) y oscuro (Dorado).

6. RECOMENDACIONES

- Continuar el estudio para evaluar el cambio de color durante un año de almacenamiento.
- Realizar un estudio similar, controlando otros factores como humedad relativa, luminosidad y humedad del grano, y evaluando las características sensoriales.
- Evaluar el cambio de color de otras variedades claras para relacionar la cantidad de color rojo presente con la velocidad de pérdida del mismo.
- Evaluar el cambio en contenido de antocianinas en relación al cambio de color del frijol rojo.
- Evaluar temperaturas de almacenamiento mayores a 30 °C para encontrar una relación entre temperatura y degradación del color rojo, en un amplio rango de temperaturas.

7. BIBLIOGRAFIA

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.

Garzón, G. 2001. The stability of pelargonidin-based anthocyanins at varying water activity. Journal of Food Chemistry 75:185-196.

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

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

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.

Nielsen, S., Marcy, J., & Sadler, G. 1993. Chemistry of aseptically processed foods. In J. V. Chambers, & P. E. Nelson (Eds.), Principles of aseptic processing and packaging. Washington DC: Food Processors Institute. 111 p.

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

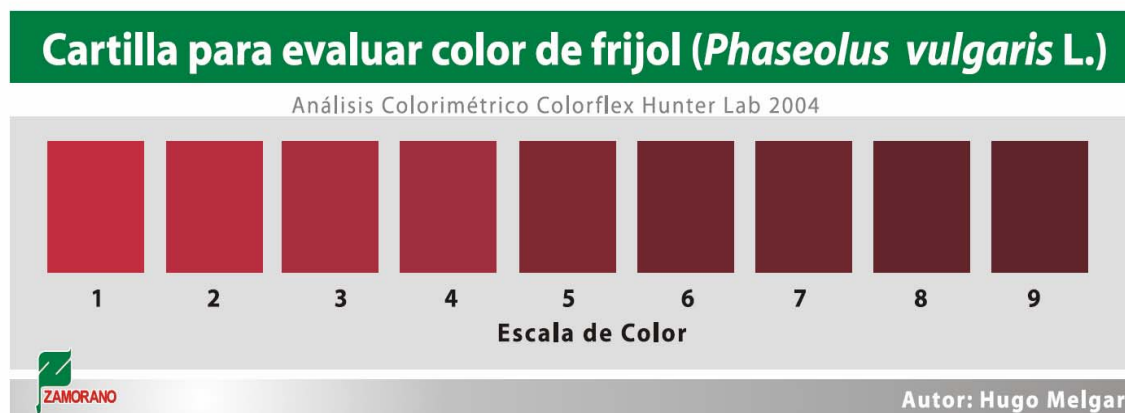
Salinas, M. 2005. Stability of anthocyanins of blue maize (*Zea mays* L.) after nixtamalization of separated pericarp-germ tip cap and endosperm fractions. *Journal of Cereal Science* 12:1-6.

Sankat, C. 2000. Light mediated red colour degradation of the pomarac (*Syzygium malaccense*) in refrigerated storage. *Journal of Postharvest Biology and Technology* 18:253-257.

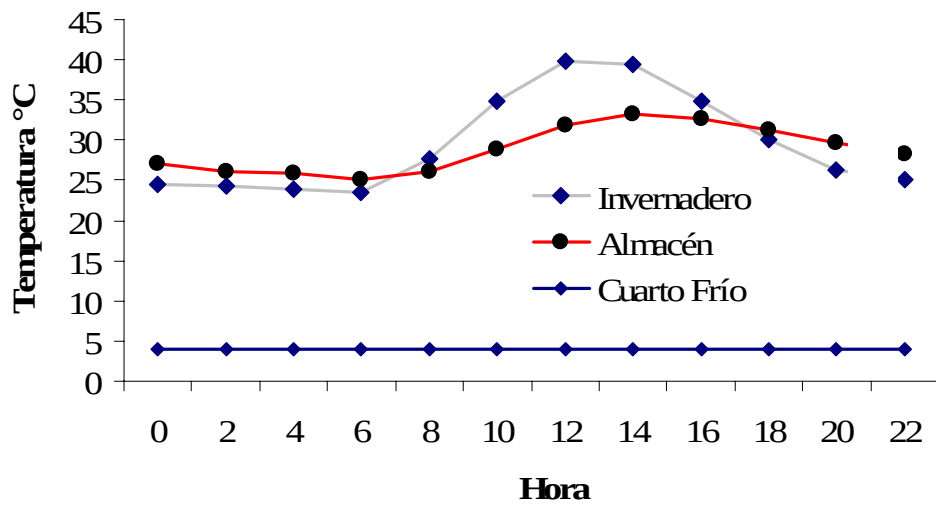
Shin, C. 2002. Effects of pH, sulfur dioxide, storage time, and temperature on the color and stability of red muscadine grape wine. *AJEV* 35(1):35-39.

8. ANEXOS

Anexo 1. Cartilla para evaluación del color del frijol rojo.



Anexo 2. Temperaturas promedio diarias durante en los ambientes evaluados.



Anexo 3. Fluctuaciones promedio diarias de temperatura en los ambientes evaluados.

