

Cambios poscosecha en frijol durante el almacenamiento prolongado en contraste con el envejecimiento acelerado*

Postharvest changes in beans during prolonged storage in contrast to accelerated aging

Carmen Jacinto-Hernández^{1§}, Irma Bernal-Lugo², Ramón Garza-García¹ y Dagoberto Garza García¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-Campo Experimental Valle de México. Chapingo, Estado México, México. AP. 10. CP. 56230. Tel. 01(800) 0882222, ext. 85319. (garza.ramon@inifap.gob.mx; garza.dagoberto@inifap.gob.mx). ²Universidad Nacional Autónoma de México-Facultad de Química. Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México. CP. 04510. [§]Autora para correspondencia: jacinto.carmen@inifap.gob.mx.

Resumen

La disminución del valor comercial del frijol por almacenamiento, se debe a la disminución de la calidad culinaria y al oscurecimiento de la testa. El objetivo de este trabajo fue estudiar los cambios en el color de la testa y en la calidad culinaria promovidos por el almacenamiento prolongado en dos períodos de tiempo, en contraste con el cambio bajo envejecimiento acelerado en cinco variedades de frijol. El color del grano se cuantificó por espectrofotometría de reflectancia y la calidad culinaria por el tiempo y los sólidos en el caldo de cocción. El envejecimiento acelerado propició “dureza a la cocción”, pero no testa dura, por el contrario el almacenamiento prolongado a temperatura ambiente, si bien no promovió dureza a la cocción, una de las cinco variedades mostró testa dura. El oscurecimiento de la testa mostró una correlación positiva entre todas las condiciones de almacenamiento. La correlación para L^* entre el envejecimiento acelerado y el almacenado por cuatro años fue de $r=0.84^{**}$, en tanto que la relación del primero, con dos años de almacenamiento fue de $r=0.65^*$. Estos resultados indican que el envejecimiento acelerado del frijol, es un método adecuado para seleccionar

Abstract

The decrease in the commercial value of beans for storage is due to the decrease in culinary quality and the darkening of the seed coat. The objective of this work was to study the changes in the color of the testa and in the culinary quality promoted by the prolonged storage in two periods of time, in contrast to the change under accelerated aging in five varieties of beans. The color of the grain was quantified by reflectance spectrophotometry and the culinary quality by time and solids in the cooking broth. The accelerated aging caused “hardness to the baking”, but not hard test, on the contrary the prolonged storage at room temperature, although it did not promote hardness to the cooking, one of the five varieties showed hard testa. The darkening of the testa showed a positive correlation between all storage conditions. The correlation for L^* between accelerated aging and that stored for four years was $r=0.84^{**}$, while the ratio of the first, with two years of storage, was $r=0.65^*$. These results indicate that the accelerated aging of the beans is an adequate method to select materials with less propensity to aging because it allows to anticipate the color change that could occur during prolonged storage.

* Recibido: octubre de 2017
Aceptado: noviembre de 2017

materiales con menor propensión al envejecimiento porque permite anticipar el cambio de color que podría ocurrir durante el almacenamiento prolongado.

Palabras claves: *Phaseolus vulgaris* L., color de grano, envejecimiento acelerado y prolongado, tiempo de cocción.

Introducción

El frijol es un alimento básico en la dieta de los mexicanos, en el 2016 el consumo per capita era de 8.4 kg (FIRA, 2016). En México el frijol se siembra bajo condiciones de temporal y riego 76% y 24% respectivamente (SIAP 2017). La cosecha de la siembra de temporal se realiza en el periodo de octubre a noviembre, mientras que la de riego de febrero a marzo. Gran parte de la producción se almacena para poder satisfacer la demanda durante el año.

Las condiciones ambientales en el almacén, como la humedad, la temperatura y la luz, influyen en la reactividad de los compuestos químicos del grano. Los cambios que se suscitan pueden pasar desapercibidos y por lo tanto, ser difíciles de evaluar (Bressani, 1989); sin embargo, conforme el periodo de almacenamiento se incrementa es posible identificar dichos cambios. El almacenamiento prolongado, durante meses o años, o bien por periodos cortos (menos de seis meses) bajo condiciones inadecuadas provoca el deterioro de la calidad del grano, disminuyendo su valor comercial. El principal cambio que se observa es el oscurecimiento de la testa y el decremento de la calidad culinaria del grano (Martin-Cabrejas *et al.*, 1997).

Las diferencias en el color de la semilla han sido asociadas con diferencias en la composición química de su testa. En las especies de leguminosas, los compuestos químicos encontrados en esta estructura morfológica incluyen taninos, lignina y compuestos polifenólicos no derivados de taninos (Asiedu *et al.*, 2000). La concentración de estos compuestos puede diferir dependiendo del nivel de pigmentación de la testa (Carmona, 1991) y se han observado mayores cantidades de taninos en frijol de testa negra (2.48 equivalentes de ácido tánico, que en una variedad de testa blanca (0.54).

La imbibición es un primer paso hacia la hidratación de la semilla y permite la iniciación de los cambios bioquímicos que conducen a la germinación (Kikuchi *et al.*, 2006);

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., accelerated and prolonged aging, cooking time, grain color.

Introduction

The beans are a basic food in the diet of Mexicans; in 2016, *per capita* consumption was 8.4 kg (FIRA, 2016). In Mexico, beans are planted under seasonal and irrigation conditions 76% and 24% respectively (SIAP 2017). The harvest of rainfed seeding is carried out in the period from October to November, while the irrigation season is from February to March. Much of the production is stored to meet the demand during the year.

The environmental conditions in the store, such as humidity, temperature and light, influence the reactivity of the chemical compounds in the grain. The changes that may arise can go unnoticed and, therefore, be difficult to evaluate (Bressani, 1989); however, as the storage period increases, it is possible to identify those changes. The prolonged storage, during months or years, or for short periods (less than six months) under inadequate conditions causes the deterioration of the quality of the grain, diminishing its commercial value. The main change observed is the darkening of the testa and the decrease in the culinary quality of the grain (Martin-Cabrejas *et al.*, 1997).

The differences in the color of the seed have been associated with differences in the chemical composition of its seed coat. In legume species, the chemical compounds found in this morphological structure include tannins, lignin and polyphenolic compounds not derived from tannins (Asiedu *et al.*, 2000). The concentration of these compounds can differ depending on the level of pigmentation of the testa (Carmona, 1991) and higher amounts of tannins have been observed in black bean (2.48 equivalents of tannic acid, than in a variety of white testa (0.54).

The imbibition is a first step towards the hydration of the seed and allows the initiation of the biochemical changes that lead to germination (Kikuchi *et al.*, 2006); It is also an indicator of the ease with which the grain will soften during cooking, so the ability of the grain to absorb water (CAA) is a routine test in genetic improvement programs for the quality of this legume. Two types of defects in bean grain are known that can cause slow or poor cooking. The “hard testa”, which describes a physical state in which the seeds

asimismo, es un indicador de la facilidad que tendrá el grano para suavizarse durante la cocción, por lo que la capacidad del grano para absorber agua (CAA), es una prueba de rutina en programas de mejora genética de la calidad de esta leguminosa. Se conocen dos tipos de defectos en el grano de frijol que pueden causar una cocción lenta o deficiente. La “testa dura”, que describe un estado físico en el cual las semillas presentan capacidad limitada para embeber suficiente agua, y la “dureza a la cocción” que se refiere a un defecto de textura, que motiva que las semillas requieran más tiempo de cocción para alcanzar la suavidad apropiada durante la cocción (Liu, 1995).

El presente estudio tuvo como objetivo comparar la propensión a envejecerse de cinco de las principales variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), que se recomiendan para los Valles Altos de la Mesa Central, bajo dos condiciones: a) ensayo de envejecimiento acelerado; y b) almacenamiento prolongado en una bodega.

Materiales y métodos

Materiales

El grano de cinco variedades de frijol, dos tipo Flor de Mayo, dos bayo y un cacahuate, todas liberadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). La multiplicación de los genotipos se realizó en Santa Lucía de Prías, Texcoco, México, entre junio y septiembre de 2015. Las variedades fueron: Flor de Mayo M-38 y Flor de Durazno, ambas del tipo Flor de Mayo; Bayo Mecentral, y Bayomex, del tipo Bayo, Cacahuate-72 del tipo cacahuate, todos ellos *Phaseolus vulgaris* L.

Métodos

Determinación del contenido de humedad. Se empleó el equipo Steinlite, utilizando muestras de 100 g de frijol. La humedad de las muestras fue de 12% al inicio del experimento.

Prueba de envejecimiento acelerado. Muestras de 100 gramos de semilla se colocaron en recipientes a 75% HR, conteniendo una solución saturada de cloruro de sodio (NaCl). Los recipientes se alojaron en una incubadora a 40 °C. Después de 28 días las muestras se retiraron y se

have a limited capacity to imbibe enough water, and the “hardness to cooking” that refers to a texture defect, which causes the seeds to require more time to cooking to achieve the appropriate smoothness during cooking (Liu, 1995).

The objective of the present study was to compare the propensity to age of five of the main varieties of beans (*Phaseolus vulgaris* L.), which are recommended for the High Valleys of the Central Table, under two conditions: a) accelerated aging test; and b) prolonged storage in a warehouse.

Materials and methods

Materials

The grain of five varieties of beans, two types Flor of Mayo, two bayo and one peanut, all released by the National Institute of Agricultural and Livestock Forestry Research (INIFAP). The multiplication of the genotypes was carried out in Santa Lucia of Prias, Texcoco, Mexico, between June and September 2015. The varieties were: Flor of Mayo M-38 and Flor of Durazno, both of the Flor of Mayo type; Bayo Mecentral, and Bayomex, of the Bayo type, Cacahuate-72 of the peanut type, all of them *Phaseolus vulgaris* L.

Methods

Determination of moisture content. The Steinlite equipment was used, using samples of 100 g of beans. The humidity of the samples was 12% at the beginning of the experiment.

Accelerated aging test. Samples of 100 grams of seed were placed in containers at 75% RH, containing a saturated solution of sodium chloride (NaCl). The containers were housed in an incubator at 40 °C. After 28 days the samples were removed and left at room temperature to decrease the moisture level to its initial value of 12%. These conditions allow to observe changes in the grain that contrast the response of the genotypes (Jacinto *et al.*, 2006). A batch of each variety, without storage, was kept as a control in polyethylene bags at 5 °C, until the moment of analysis

Likewise, samples of the same varieties were obtained, coming from a cellar at a temperature of 24 ±4°C and a controlled cycle of 12 h light and 12 darkness, which is

dejaron a temperatura ambiente para disminuir el nivel de humedad hasta su valor inicial de 12%. Estas condiciones permiten observar cambios en el grano que contrastan la respuesta de los genotipos (Jacinto *et al.*, 2006). Un lote de cada variedad, sin almacenarse se conservó como control en bolsas de polietileno a 5 °C, hasta el momento del análisis

Asimismo, se obtuvieron muestras de las mismas variedades, provenientes de una bodega a temperatura de 24 ±4°C y un ciclo controlado de 12 h luz y 12 oscuridad, la cual está ubicada en Texcoco, México. Las variedades estuvieron almacenadas durante dos y cuatro años respectivamente y se contó con datos de calidad en su estado fresco; es decir, recién cosechadas.

En los genotipos sometidos al ensayo de envejecimiento acelerado y el almacenamiento prolongado en la bodega se determinaron los parámetros de calidad del grano.

El peso y volumen de 100 granos, así como la CAA y el tiempo de cocción se determinaron de acuerdo a la metodología descrita por Guzmán *et al.* (1995).

La determinación de color de la testa de los genotipos se realizó con un espectrofotómetro de reflectancia marca Konica-Minolta modelo CM-5. Las lecturas de color se hicieron en dos repeticiones por genotipo, tanto en muestras testigos como en las semillas obtenidas de la prueba de envejecimiento acelerado y en las de dos y cuatro años de almacenamiento prolongado. Se obtuvieron los valores L, a y b.

Donde: L* = representa la claridad relativa de los colores en una escala de 0 a 100; a* = comprende una escala de -100 a 100, donde los números negativos indican tonos verdes y los positivos rojo; b* = se extiende en una escala de -100 a 100, donde los valores negativos indican tonos azules y positivos amarillos.

Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de varianza con base a un diseño factorial de tratamientos, cuyos factores fueron cinco variedades y tres condiciones de almacenamiento. Para la comparación de medias se aplicó una prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) y se generó además una matriz de correlaciones mediante el paquete estadístico SAS (SAS, 2001).

located in Texcoco, Mexico. The varieties were stored for two and four years respectively and quality data were available in their fresh state; that is, freshly harvested.

In the genotypes subjected to the accelerated aging test and the prolonged storage in the cellar, the quality parameters of the grain were determined.

The weight and volume of 100 grains, as well as the CAA and the cooking time were determined according to the methodology described by Guzmán *et al.* (1995).

The color determination of the testa of the genotypes was carried out with a Konica-Minolta reflectance spectrophotometer model CM-5. The color readings were made in two repetitions per genotype, both in control samples and in the seeds obtained from the accelerated aging test and in the two and four years of prolonged storage. The values L, a and b were obtained.

Where: L* = represents the relative clarity of colors on a scale of 0 to 100; a* = comprises a scale of -100 to 100, where the negative numbers indicate green tones and the positive ones red; b* = extends on a scale of -100 to 100, where negative values indicate blue and positive yellow tones.

With the results, an analysis of variance was made based on a factorial design of treatments, whose factors were 5 varieties and three storage conditions. For comparison of means, a Tukey test ($p \leq 0.05$) was applied and a matrix of correlations was also generated by the SAS statistical package (SAS, 2001).

Results and discussion

The grain of the newly harvested genotypes showed varietal differences in quality

The five recently harvested varieties of beans showed significant differences in the variables of color L*, a* and b*, weight and volume of the grain, CAA, the cooking time, the number of open grains and the amount of solids in the broth of cooking ($p \geq 0.01$). These differences in quality between varieties are frequent because genotype-environment interactions are generally present (Kigel, 1999).

Resultados y discusión

El grano de los genotipos recién cosechados mostró diferencias varietales en la calidad

Las cinco variedades de frijol recién cosechadas, mostraron diferencias significativas en las variables de color L^* , a^* y b^* , peso y volumen del grano, CAA, el tiempo de cocción, el número de granos abiertos y la cantidad de sólidos en el caldo de cocción ($p \geq 0.01$). Estas diferencias en calidad entre las variedades son frecuentes debido a que las interacciones genotipo- ambiente están generalmente presentes (Kigel, 1999).

El color de la testa y el endurecimiento del grano fueron los principales cambios en los genotipos por el envejecimiento acelerado

El envejecimiento acelerado indujo cambios ($p < 0.01$) en la claridad de la testa (L^*), los tonos rojos (a^*) y los amarillos (b^*), así como en la CAA y en el tiempo de cocción. También se observaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en la cantidad de sólidos en el caldo de cocción, por efecto de la interacción de variedad*condición de almacenamiento. El contenido de sólidos es un indicador de la densidad del caldo, lo cual se asocia con la palatabilidad del mismo.

En los genotipos envejecidos se observó el oscurecimiento de la testa, lo cual se identificó con la disminución del valor L^* en comparación con su correspondiente testigo recién cosechado. El decremento fue 17.4 unidades en Cacahuete-72 y 10 unidades en Bayo Mecentral. En contraste M-38 y Flor de Durazno únicamente disminuyeron 5.6 unidades y 5.8 respectivamente.

El valor a^* se incrementó entre 1.5 y 6.3 unidades; el mínimo se observó en Flor de Mayo M-38, y el máximo en Bayomex. Mientras que los tonos amarillos (b^*), se incrementaron desde 2.4 en Bayomex, hasta 6.2 en Flor de Durazno. Resulta evidente que los cambios en el color ($L^* a^* b^*$) de la testa están asociados al proceso de envejecimiento de los genotipos (Figura 1). El oscurecimiento en los tipos bayo, además de la disminución en el valor L^* , se acompañó de un incremento en los tonos rojos (a^* mayor en envejecidos que en recién cosechados). A diferencia del comportamiento de los Flor de Mayo, en los que aumentan los tonos amarillos. Aparentemente un incremento en los tonos amarillos oscurece más la testa como es el caso Flor de Durazno en

The color of the testa and the hardening of the grain were the main changes in the genotypes due to accelerated aging

Accelerated aging induced changes ($p < 0.01$) in the clarity of the testa (L^*), the red tones (a^*) and the yellow tones (b^*), as well as in the CAA and in the cooking time. There were also highly significant differences ($p < 0.01$) in the amount of solids in the cooking broth, due to the interaction of variety*storage condition. The solids content is an indicator of the density of the broth, which is associated with the palatability of the broth.

In the aged genotypes the darkening of the testa was observed, which was identified with the decrease of the L^* value in comparison with its corresponding recently harvested control. The decrease was 17.4 units in Cacahuete-72 and 10 units in Bayo Mecentral. In contrast M-38 and Peach Blossom only decreased 5.6 units and 5.8 respectively.

The value a^* was increased between 1.5 and 6.3 units; the minimum was observed in Flor of Mayo M-38, and the maximum in Bayomex. While the yellow tones (b^*), they increased from 2.4 in Bayomex, to 6.2 in Flor of Durazno. It is evident that changes in the color ($L^* a^* b^*$) of the testa are associated with the aging process of the genotypes (Figure 1). The darkening of the bay types, in addition to the decrease in the L^* value, was accompanied by an increase in the red tones (a^* higher in aged than in freshly harvested ones). Unlike the behavior of the Flor of Mayo, in which the yellow tones increase. Apparently, an increase in yellow tones obscures the testa as it is the Flor of Durazno case in contrast to Flor of Mayo M-38. The latter showed lower values of a^* and of b^* and, therefore, greater stability in the color of the seed coat compared with Peach Blossom, which agrees with that reported by Jacinto-Hernández *et al.* (2007) regarding the stability in the color of Flor of Mayo M-38. Also in Figure 1 a correlation ($r = 0.8$) is observed between the increase in red tones with the darkening of the testa (L^*).

The cooking time of the control samples of the genotypes was 50 to 70 min. The change produced by aging was highly significant ($p \leq 0.01$).

The aging of the grain increased the cooking time a minimum of 1.7 times its original value, in the case of Flor of Durazno. While Flor of Mayo M-38 and Cacahuete-72 showed the maximum hardening; both varieties increased their cooking time 2.4 times (Figure 2). This increase in cooking time

contraste con Flor de Mayo M-38. Este último mostró menores valores de a^* y de b^* y por lo tanto mayor estabilidad en el color de la testa en comparación con Flor de Durazno, lo cual concuerda con lo reportado por Jacinto-Hernández *et al.* (2007) respecto a la estabilidad en el color de Flor Mayo M-38. También en la Figura 1 se observa una correlación ($r=0.8$) entre el incremento en las tonalidades rojas con el oscurecimiento de la testa (L^*).

El tiempo de cocción de las muestras control de los genotipos fue de 50 a 70 min. El cambio producido por el envejecimiento fue altamente significativo ($p \leq 0.01$).

El envejecimiento del grano incrementó el tiempo de cocción un mínimo de 1.7 veces su valor original, en el caso de Flor de Durazno. Mientras que Flor de Mayo M-38 y Cacahuete-72 mostraron el máximo endurecimiento, ambas variedades incrementaron su tiempo de cocción 2.4 veces (Figura 2). Este incremento en el tiempo de cocción se presentó sin que hubiese capacidad limitada para absorber agua. A esta condición en la que el grano es capaz de absorber agua, pero no se suaviza durante el remojo y la cocción, se le denomina “dureza a la cocción” (Kigel, 1999).

Se ha reportado que la “dureza a la cocción” desarrollada durante el envejecimiento, ocurre por una asociación entre la desnaturalización de las proteínas de reserva y una limitada hidratación del almidón durante la cocción (Liu *et al.*, 1992). Además, la pared celular no se suaviza debido a una disminución en la solubilización de la pectina (Martínez y Njoroge *et al.*, 2015).

Dado que el cambio en el color de la testa, y el del tiempo de cocción se realizan en una misma condición de almacenamiento, pudieran existir reacciones químicas que influyen en las propiedades fisicoquímicas tanto de la testa como del cotiledón. El incremento en tonos rojos se correlacionó ($r=0.75^{**}$) con un incremento en el tiempo de cocción.

La variedad cacahuete-72, que mostró los valores más altos de a^* (15.6) mostró también el tiempo de cocción prolongado (127 min), mientras que Bayo Mecentral con un valor de a^* de 12.2 mostró el tiempo de cocción corto (113 min). A mayor incremento de las tonos rojos en las muestras envejecidas se cuantificó menor cantidad de sólidos en el caldo de cocción ($r=-0.78^{**}$).

occurred without there being limited capacity to absorb water. To this condition in which the grain is able to absorb water, but does not soften during soaking and cooking, it is called “cooking hardness” (Kigel, 1999).

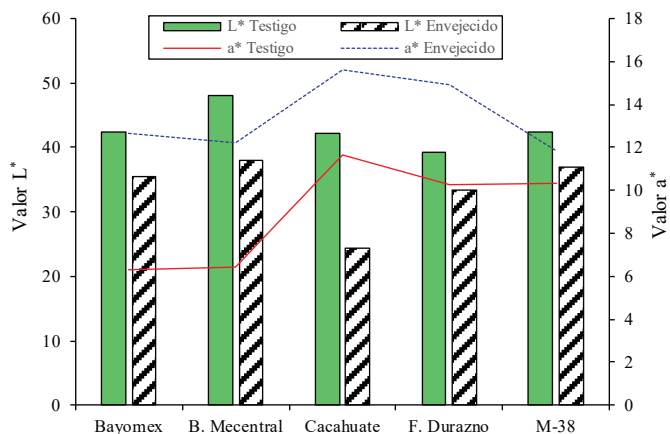


Figura 1. Cambios en claridad de la testa (L^*) y tonos rojos (a^*) por efecto del envejecimiento acelerado.

Figure 1. Changes in head clarity (L^*) and red tones (a^*) due to accelerated aging.

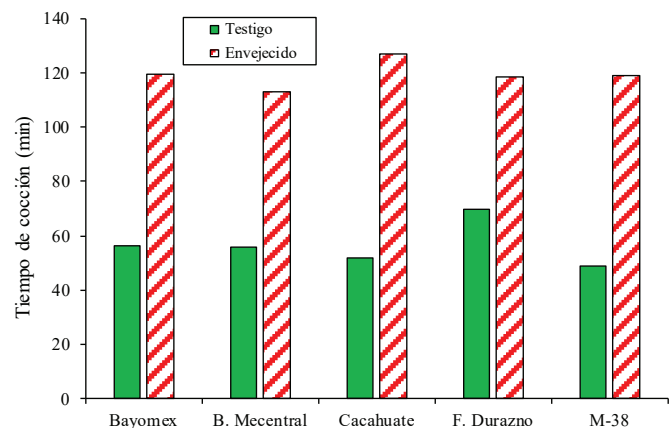


Figura 2. Cambios en el tiempo de cocción por efecto del envejecimiento acelerado.

Figure 2. Changes in cooking time due to accelerated aging.

It has been reported that the “hardness to cooking” developed during aging, occurs by an association between the denaturation of the reserve proteins and limited hydration of the starch during cooking (Liu *et al.*, 1992). In addition, the cell wall is not softened due to a decrease in the solubilization of pectin (Martínez and Njoroge *et al.*, 2015).

Con respecto al peso y volumen de 100 granos no se observó efecto por el envejecimiento acelerado. En cuanto a la CAA, Flor de Durazno disminuyó en 8%; sin embargo, este cambio no fue suficiente para que el grano envejecido presentara “testa dura”. Los demás genotipos aumentaron su CAA entre 5 y 20%. Aun cuando la capacidad de absorción de agua de las muestras envejecidas aumentó, al igual que lo reportaron Hinks *et al.* (1987), esto podría deberse que parte del agua no se absorbe, sino permanece entre la testa y el cotiledón. No existió correlación entre la CAA con el tiempo de cocción.

El almacenamiento prolongado, provocó oscurecimiento de la testa y escaso endurecimiento del cotiledón

Después de dos años de almacenamiento existieron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en L^* en a^* , así como en peso y volumen de 100 granos, tiempo de cocción, tanto entre variedades, como por efecto de la condición de almacenamiento y en la interacción variedad*condición. Mientras que en los tonos amarillos (valor b^*), no se observaron diferencias por efecto de la condición de almacenamiento, pero si por la variedad y por la interacción variedad*condición de almacenamiento ($p < 0.01$), de igual forma en la CAA ($p < 0.05$). Se observaron diferencias altamente significativas en la cantidad de sólidos en el caldo de cocción, por efecto de la variedad ($p < 0.01$), mientras que las diferencias por efecto de la condición de almacenamiento durante dos años y de la interacción variedad*condición de almacenamiento fueron significativas ($p < 0.05$). Después de cuatro años de almacenamiento las diferencias en estas variables fueron altamente significativas ($p < 0.01$) para todas las fuentes de variación.

El oscurecimiento de la testa también se asoció, aunque en menor proporción con aumento en tonos rojos tanto después de dos ($r = -0.62^{**}$), como de cuatro años ($r = 0.67^{**}$).

Conforme se prolongó el tiempo de almacenamiento mayor fue el oscurecimiento del grano. Después de cuatro años de almacenamiento el oscurecimiento de la testa estuvo en un intervalo entre 8.7 y 13.8 unidades de L^* . La testa de Cacahuete-72 fue la que mostró mayor oscurecimiento. No se detectaron diferencias significativas en el valor a^* ; sin embargo, se observó que mientras que los tipo bayo incrementaron entre 4.1 y 4.9 unidades, los Flor de Mayo incrementaron entre 1.5 y 2.2 unidades. Mientras que en los tonos amarillos (b^*) estas mismas variedades incrementaron entre 0.55 y 1.5, en las variedades tipo Bayo no se detectaron diferencias significativas.

Since the change in the color of the testa, and that of the cooking time are carried out in the same storage condition, there could be chemical reactions that influence the physicochemical properties of both the testa and the cotyledon. The increase in red tones was correlated ($r = 0.75^{**}$) with an increase in the cooking time.

The peanut-72 variety, which showed the highest values of a^* (15.6) also showed the extended cooking time (127 min), while the Bayo Mecentral with a value of a^* of 12.2 showed the short cooking time (113 min). The greater the increase of the red tones in the aged samples, the smaller amount of solids was quantified in the cooking broth ($r = -0.78^{**}$).

Regarding the weight and volume of 100 grains, no effect was observed due to accelerated aging. Regarding the CAA, Flor of Durazno decreased by 8%, however, this change was not enough for the aged grain to present “hard test”. The other genotypes increased their CAA between 5 and 20%. Even when the water absorption capacity of the aged samples increased, as reported by Hinks *et al.* (1987), this could be due to the fact that part of the water is not absorbed, but remains between the testa and the cotyledon. There was no correlation between the CAA with the cooking time.

The prolonged storage caused darkening of the head and scarce hardening of the cotyledon

After two years of storage there were highly significant differences ($p < 0.01$) in L^* in a^* , as well as in weight and volume of 100 grains, cooking time, both between varieties, as a result of the storage condition and in the interaction variety*condition. While in the yellow tones (b^* value), no differences were observed due to the effect of the storage condition, but due to the variety and the interaction variety*storage condition ($p < 0.01$), likewise in the CAA ($p < 0.05$). There were highly significant differences in the amount of solids in the cooking broth, due to the effect of the variety ($p < 0.01$), while the differences due to the effect of the storage condition during two years and the variety interaction storage condition were significant ($p < 0.05$). After four years of storage, the differences in these variables were highly significant ($p < 0.01$) for all sources of variation.

The darkening of the testa was also associated, although in a lesser proportion with an increase in red tones both after two ($r = -0.62^{**}$) and four years ($r = 0.67^{**}$).

Las variedades Flor de Mayo después de cuatro años de almacenamiento mostraron una disminución entre 20 y 55%, en la CAA, lo cual se identifica como un problema de “testa dura”. Kigel (1999), describe que este comportamiento puede deberse a una baja permeabilidad de la testa, lo cual según explican Agbo *et al.* (1987) puede estar relacionado con el tamaño del micropilo, además de otras diferencias en la microestructura, que se relacionan con cambios en la permeabilidad de la testa. La CAA de las variedades se correlacionó con el tiempo de cocción ($r=-0.65$).

Flor de Mayo M-38 y Bayomex fueron los genotipos que mostraron mayor incremento en el tiempo de cocción (14%) después de cuatro años de almacenamiento. Bayo Mecentral, aunque no mostró diferencia significativa en el tiempo de cocción en comparación con el frijol recién cosechado, fue la variedad que mostró mayor disminución en los sólidos en el caldo de cocción. Mientras que Flor de Durazno fue la que mostró menor cambio. Lo anterior, confirma que la calidad culinaria y su velocidad de deterioro durante el almacenamiento son características relacionadas con los cultivares (Proctor y Watts 1987; Kigel, 1999). Es entonces posible aprovechar la variabilidad genética en la propensión al deterioro de la calidad durante el almacenamiento entre los genotipos para obtener variedades relativamente estables.

Comparación de los cambios en inducidos por el envejecimiento acelerado y los ocurridos durante el almacenamiento prolongado

Ocurrieron cambios similares en el color de la testa cuando los genotipos se sometieron a condiciones de envejecimiento acelerado y cuando permanecieron por tiempo prolongado en almacenamiento. Se detectó una correlación ($r= -0.75^*$) entre el oscurecimiento del grano (disminución L^*) por efecto del envejecimiento acelerado y el incremento de tonos rojos después de cuatro años de almacenamiento (Figura 3).

El valor de b^* , que se incrementó por efecto del envejecimiento acelerado, se correlacionó con el valor de b^* después de dos ($r= 0.95^{**}$) y cuatro años ($r= 0.87^{**}$) de almacenamiento (Figura 4). También se observó que el oscurecimiento de la testa valor de L^* después de dos años de almacenamiento ($r= 0.8^{**}$).

As the storage time was prolonged, the darkening of the grain was greater. After four years of storage the darkening of the testa was in a range between 8.7 and 13.8 units of L^* . The testa of Cacahuete-72 was the one that showed the greatest darkening. No significant differences were detected in the a^* value; however, it was observed that while bay types increased between 4.1 and 4.9 units, Flor of Mayo increased between 1.5 and 2.2 units. While in the yellow tones (b^*) these same varieties increased between 0.55 and 1.5, in the Bayo varieties no significant differences were detected.

The Flor of Mayo varieties after four years of storage showed a decrease between 20 and 55% in the CAA, which is identified as a “hard test” problem. Kigel (1999), describes that this behavior can be due to a low permeability of the testa, which according to Agbo *et al.* (1987) may be related to the size of the micropyle, in addition to other differences in the microstructure, which are related to changes in the permeability of the testa. The CAA of the varieties was correlated with the cooking time ($r= -0.65$).

Flor of Mayo M-38 and Bayomex were the genotypes that showed the greatest increase in cooking time (14%) after four years of storage. Bayo Mecentral, although it did not show significant difference in the cooking time compared to the recently harvested beans, was the variety that showed the greatest decrease in the solids in the cooking broth. While Flor of Durazno was the one that showed the least change. This confirms that the culinary quality and its speed of deterioration during storage are characteristics related to the cultivars (Proctor and Watts 1987; Kigel, 1999). It is then possible to take advantage of genetic variability in the propensity to deteriorate quality during storage between genotypes to obtain relatively stable varieties.

Comparison of changes in induced by accelerated aging and those occurring during prolonged storage

Similar changes occurred in the color of the seed coat when the genotypes were subjected to accelerated aging conditions and when they remained for a long time in storage. A correlation was detected ($r= -0.75^*$) between grain darkening (decrease L^*) due to the effect of accelerated aging and the increase of red tones after four years of storage (Figure 3).

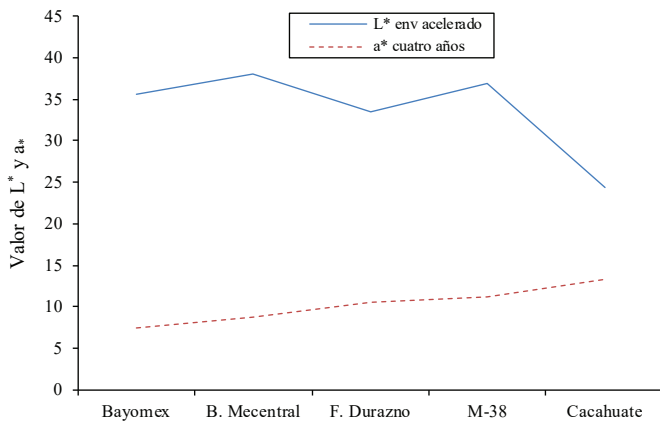


Figura 3. Asociación de la disminución del valor L^* por el envejecimiento acelerado con el incremento de los tonos rojos (valor a^*) durante el almacenamiento prolongado.

Figure 3. Association of the decrease in the L^* value due to accelerated aging with the increase in red tones (value a^*) during prolonged storage.

En el envejecimiento acelerado no se observó cambio significativo en la CAA de las variedades, ni tampoco después de dos años de almacenamiento. Únicamente Bayo Mecentral mostró disminución en su capacidad para absorber agua durante el remojo, después de dos años de almacenamiento absorbió 31% menos que el testigo y también por efecto del envejecimiento acelerado disminuyó en 29% su CAA. Después de cuatro años se observaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) en la CAA de las variedades.

Durante el envejecimiento acelerado el tiempo de cocción se incrementó en promedio de 114% mientras que después del almacenamiento durante cuatro años el incremento promedio fue de sólo 14%. El almacenamiento prolongado, bajo condiciones de alta T y alta HR, promovió el defecto dureza a la cocción, que puede repercutir en la pérdida de nutrientes por el exceso de calentamiento que se requiere para completar la cocción. Mientras que durante el almacenamiento prolongado no se observó.

El tiempo de cocción después del envejecimiento acelerado se correlacionó con un mayor nivel de tonos rojos ($r = 0.66^*$) después de cuatro años, y también se asoció con mayor contenido de sólidos en el caldo. El contenido de sólidos después del tratamiento de envejecimiento se correlacionó ($r = 0.84^{**}$) con el detectado después de cuatro años de almacenamiento. Como era de esperarse existieron

The value of b^* , which was increased by the effect of accelerated aging, was correlated with the value of b^* after two ($r = 0.95^{**}$) and four years ($r = 0.87^{**}$) of storage (Figure 4). It was also observed that the darkening of the testa value of L^* after two years of storage ($r = 0.8^{**}$).

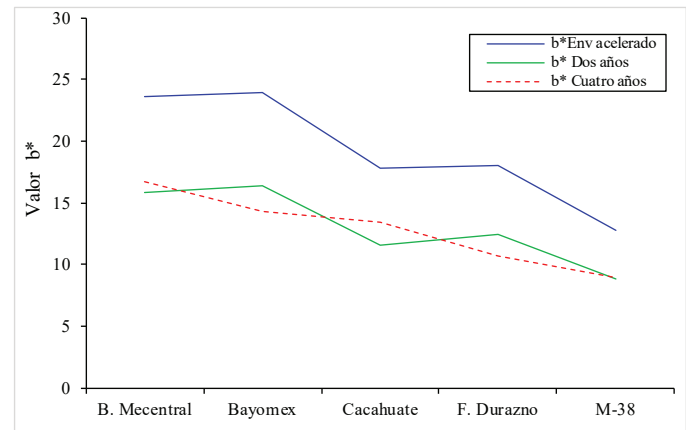


Figura 4. Cambios en los tonos amarillos (b^*) promovidos por el envejecimiento acelerado que también se observan durante el almacenamiento prolongado.

Figure 4. Changes in yellow tones (b^*) promoted by accelerated aging that are also observed during prolonged storage.

In accelerated aging, there was no significant change in the CAA of the varieties, nor after two years of storage. Only Bayo Mecentral showed a decrease in its capacity to absorb water during the soak, after two years of storage it absorbed 31% less than the control and also due to the effect of accelerated aging, it decreased its CAA by 29%. After four years, highly significant differences ($p < 0.01$) were observed in the CAA of the varieties.

During accelerated aging the cooking time increased on average by 114% while after storage for four years the average increase was only 14%. Prolonged storage, under conditions of high T and high HR, promoted the cooking hardness defect, which may affect the loss of nutrients due to the excessive heating required to complete the cooking. While during prolonged storage was not observed.

The cooking time after accelerated aging correlated with a higher level of red tones ($r = 0.66^*$) after four years, and was also associated with a higher solids content in the broth. The solids content after aging treatment was correlated ($r = 0.84^{**}$) with that detected after four years of storage.

correlaciones entre las características de calidad después de dos y cuatro años de almacenamiento. Conforme más se oscureció en grano después de dos años (disminución L^*) mayor fue el tiempo de cocción después de cuatro años ($r = -0.92^{**}$); Cuando el valor a^* (tonos rojos) fue mayor después de dos años de almacenamiento, se observó menor CAA en los genotipos después de cuatro años ($r = -0.82^{**}$).

Conclusiones

Las variedades estudiadas presentaron diferencias en su respuesta al envejecimiento acelerado o al almacenamiento prolongado.

Los cambios evidentes por envejecimiento acelerado fueron el oscurecimiento de la testa (variables “L”, “a” y “b”) y el endurecimiento del grano, medido en términos de tiempo de cocción.

El cambio de color inducido por el envejecimiento acelerado se correlacionó con el ocurrido después de cuatro años de almacenamiento. Pero no con el tiempo de cocción.

La alta T y HR del método utilizado provocó cambios en la calidad de cocción que no son equiparables con los ocurridos bajo condiciones de almacenamiento a T y HR del ambiente.

La variedad que presentó mayores cambios por el envejecimiento acelerado fué Cacahuete-72.

Flor de Mayo M-38, mostró mayor estabilidad en color y Bayo Mecentral en tiempo de cocción durante el almacenamiento prolongado.

Literatura citada

- Agbo, G. N.; Hosfield, G. L.; Uebersax, M. A. and Klomparens, K. 1987. Seed microstructure and its relationship to water uptake in isogenic lines and a cultivar of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Food Microstr. 6(1):91-102.
- Asiedu, E. A.; Powell A. A. and T. Stuchbury. 2000. Cowpea seed coat chemical analysis in relation to storage seed quality Afr. Crop Sci. J. 8(3):283-294.
- Bressani R. 1989. Revisión sobre la calidad del grano de frijol. Arch. Lat. Nutr. 39(1):419-438.

As expected, there were correlations between the quality characteristics after two and four years of storage. As more was darkened in grain after two years (decrease L^*), the cooking time was longer after four years ($r = -0.92^{**}$); When the value a^* (red tones) was higher after two years of storage, lower CAA was observed in the genotypes after four years ($r = -0.82^{**}$).

Conclusions

The varieties studied showed differences in their response to accelerated aging or prolonged storage.

The evident changes due to accelerated aging were in the darkening of the testa (variables “L”, “a” and “b”) and the hardening of the grain, measured in terms of cooking time.

The color change induced by accelerated aging correlated with that which occurred after four years of storage. But not with the cooking time.

The high T and HR of the method used caused changes in the cooking quality that are not comparable with those that occurred under storage conditions at T and HR of the environment.

The variety that showed the greatest changes due to accelerated aging was Cacahuete-72.

Flor of Mayo M-38, showed greater stability in color and Bayo Mecentral at cooking time during prolonged storage.

End of the English version



- Carmona, A.; Seidl, D. S. and Jaffe, W. G. 1991. Comparison of extraction methods and assay procedures for the determination of the apparent tannin content of common beans. J. Sci. Food. Agric. 56(3):291-301.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). 2016. Panorama Agroalimentario. Dirección de Investigación Evaluación Económica y Sectorial. Frijol. 36 p.
- Guzmán, M. H.; Jacinto, H. C. y Castellanos, Z. J. 1995. Manual de metodologías para evaluar calidad de grano de frijol. SAGAR-INIFAP-Centro de Investigación Región Centro (CIRCE). Tema didáctico núm. 2. 75 p.

- Hincks, M. J.; McCannel, A. and Stanley, D. W. 1987. Hard to cook defect in black beans. Soaking and cooking processes. *J. Agric. Food Chem.* 35(4):576-588.
- Jacinto, H. C.; Mendoza, B. L.; Bernal, L. I. and Garza, G. R. 2006. Interaction of storage conditions for the loss of bean quality. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative BIC. Michigan State University. East Lansing, MI 48824. 49(1): 161-162.
- Jacinto, H. C.; Garza, G. R.; Campos, E. A. and Bernal, L. I. 2007. Polyphenol oxidase in bean cultivars with different proneness to age. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative BIC. Michigan State University. East Lansing, MI 48824. 50(1):51-52.
- Kigel, J. 1999. Culinary and nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* seeds as affected by environmental factors. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 3(4):205-209.
- Kikuchi, K.; Koizumi, M.; Ishida, N. and Kano, H. 2006. Water Uptake by dry beans observed by micro-magnetic resonance imaging. *Ann. Bot.* 98(3):545-553.
- Liu, K.; Mc Watters, K. H. and Phillips, R. D. 1992. Protein insolubilization and thermal destabilization during storage as related to hard to cook defect in cowpeas. *J. Agric. Food Chem.* 40(12):2483-2497.
- Liu, k. 1995. Cellular, biological and physicochemical basis for the hard-to-cook defect in legume seeds. *Crit. Rev Food Sci. Nutr.* 35(4):263-298.
- Martin, C. M. A.; Esteban, R. M.; Perez, P.; Maina, G. and Waldron, K. W. 1997. Changes in physicochemical properties of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) during long-term storage. *J. Agric. Food Chem.* 45(8):3223-3227.
- Martínez, M. E.; Jacinto, H. C.; Garza, G. R.; Campos, E. A.; Moreno, I. and Bernal, L. 2011. Enzymatic changes in pectic polysaccharides related to the beneficial effect of soaking on bean cooking time. *J. Sci. Food Agric.* 91(13):2394-8. doi:,10.1002/jsfa.4474.
- Njoroge, D. M.; Kinyanjui, P. K.; Christiaens, S.; Shpigelman, A.; Makokha, A. O.; Sila, D. N. and Hendrickx, M. E. 2015. Effect of storage conditions on pectic polysaccharides in common beans (*Phaseolus vulgaris*) in relation to the hard-to-cook defect, *Food Res. Int.* 76(1):105-113.
- Proctor, J. R. and Watts' B. M. 1987. Development of a modified Mattson bean cooker procedure based on sensory panel cookability evaluation. *Can. Inst. of Food Sci. Tech.* 1.20:9-74.
- SIAP. 2017. México. <https://www.gob.mx/siap>.
- SAS (Statistical Analysis System). 2001. SAS/STAT Users' guide. SAS Institute, Inc. Release 8.02. SAS Inc. Cary, NC. USA.